



INSTITUTO POLITÉCNICO  
DE VIANA DO CASTELO

ESTG

Estudo Comparativo da Sustentabilidade de Caixilharia de Alumínio e PVC – Apoio à Decisão  
Cátia Daniela Lopes Campos

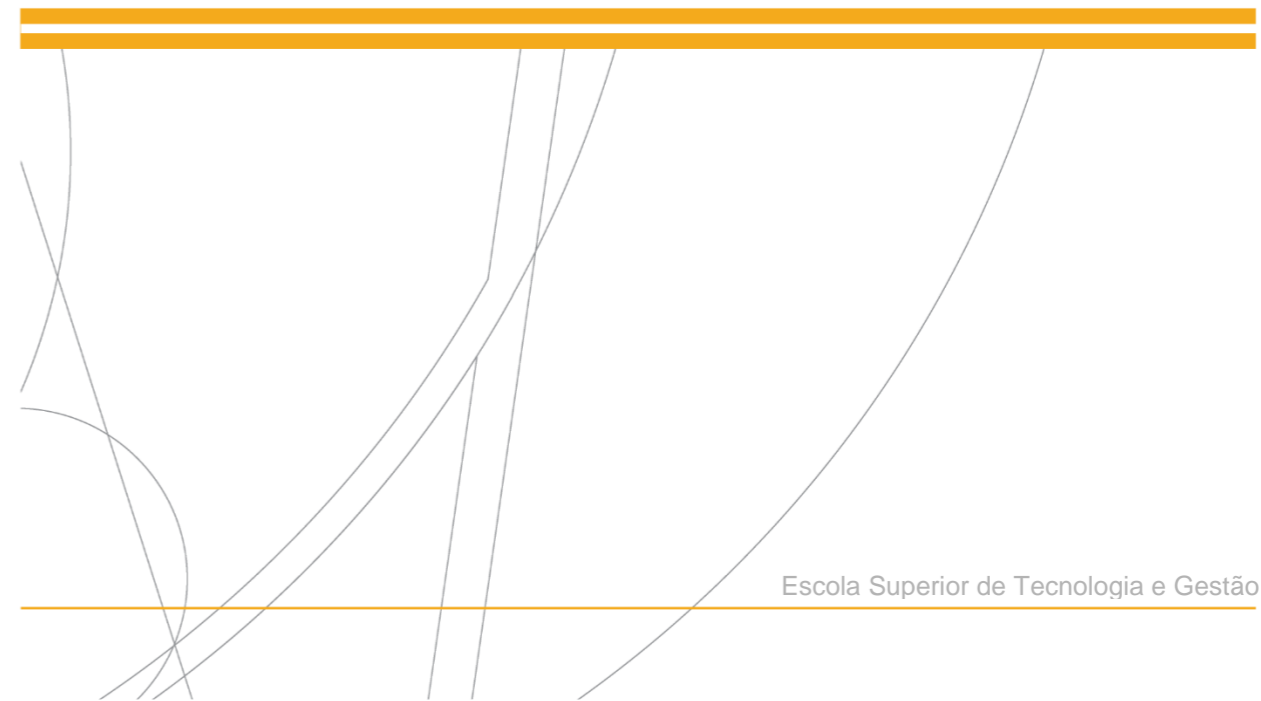
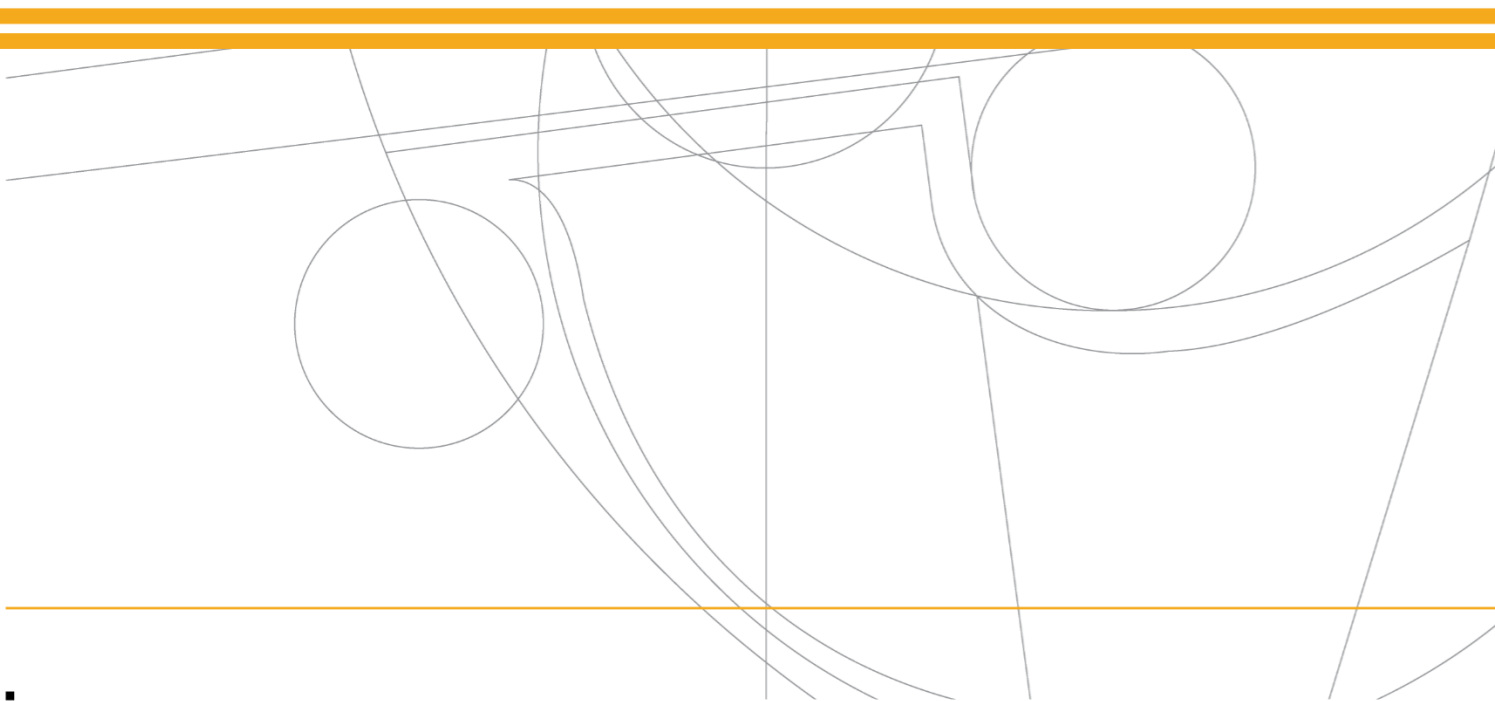
2022



INSTITUTO POLITÉCNICO  
DE VIANA DO CASTELO

# Estudo Comparativo da Sustentabilidade de Caixilharia de Alumínio e PVC – Apoio à Decisão

Cátia Daniela Lopes Campos



Escola Superior de Tecnologia e Gestão



**Instituto Politécnico  
de Viana do Castelo**

**Cátia Daniela Lopes Campos**

**Estudo Comparativo da Sustentabilidade de  
Caixilharia de Alumínio e PVC – Apoio à Decisão**

**Nome do Curso de Mestrado**  
Engenharia Civil e do Ambiente

**Trabalho efetuado sobre orientação de**  
Professora Doutora Joana Maria Martins Rosa Maia de Oliveira Almeida

fevereiro de 2022







## MEMBROS DO JÚRI

### **Presidente:**

Professor Doutor José Manuel Ferreira da Silva

Professor Adjunto da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Viana do Castelo

### **Vogal:**

Professor Doutor Domingos António Garcia Ribas

Professor Adjunto da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Viana do Castelo

### **Vogal:**

Doutora Joana Maria Martins Rosa Maia de Oliveira Almeida

Professora Adjunta da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Viana do Castelo

Orientadora



## Índice

Resumo.....	i
Abstract .....	ii
Agradecimentos .....	iii
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento e motivação.....	1
1.2. Objetivos .....	3
1.3. Estrutura da dissertação .....	5
1.4. Descrição geral das caixilharias – tipologias, materiais e componentes .....	5
1.4.1. Tipologia de movimento .....	5
1.4.2. Materiais e acabamentos.....	7
1.4.3. Vidro.....	10
1.4.4. Acessórios.....	13
2. Requisitos funcionais das caixilharias .....	15
2.1. Resistência à ação do vento .....	16
2.2. Permeabilidade ao ar .....	22
2.3. Estanquidade à água .....	24
2.4. Eficiência térmica .....	29
2.5. Isolamento acústico .....	30
2.6. Resistência à ação do utilizador e força de manobra .....	30
2.7. Durabilidade mecânica.....	34
2.8. Segurança contra incêndios – reação ao fogo .....	35
2.9. Resistência à intrusão.....	37
3. Ciclo de vida de caixilhos de Alumínio e PVC.....	38
3.1. Caixilharia de Alumínio.....	38
3.1.1. Ciclo de vida do alumínio .....	38
3.1.2. Produção de perfis para caixilharia .....	43
3.1.3. Tratamentos de superfície para perfis extrudidos.....	44
3.1.4. Montagem do caixilho.....	46
3.1.5. Instalação de caixilharia .....	47
3.1.6. Reciclagem .....	49
3.2. Caixilharia de PVC.....	49
3.2.1. Ciclo de vida do PVC .....	49
3.2.2. Produção de perfis para caixilharia .....	53
3.2.3. Tratamentos de superfície para perfis extrudidos.....	53
3.2.4. Montagem do caixilho.....	54
3.2.5. Reciclagem .....	56
3.2.6. Alienação.....	57

4.	Análise comparativa .....	57
4.1.	Materiais .....	59
4.2.	Caraterísticas técnicas.....	61
4.2.1.	Resistência Mecânica .....	61
4.2.2.	Resistência anti-intrusão .....	62
4.2.3.	Resistência ao fogo.....	64
4.2.4.	Isolamento acústico .....	65
4.2.5.	Isolamento térmico e eficiência energética .....	65
4.3.	Versatilidade .....	70
4.3.1.	Tipologia de abertura .....	70
4.3.2.	Gama de cores.....	75
4.3.3.	Dimensões .....	77
4.3.4.	Gama especiais.....	78
4.4.	Manutenção .....	80
4.4.1.	Inspeção de caixilharias.....	83
4.4.2.	Limpeza e medidas pró-ativas em caixilharias .....	83
4.4.3.	Medidas de correção em caixilharias .....	84
4.4.4.	Medidas de substituição .....	85
4.4.5.	Manutenção do vidro .....	85
4.4.6.	Manutenção de caixilharia de Alumínio.....	86
4.4.7.	Manutenção de caixilharia de PVC.....	87
4.5.	Durabilidade .....	88
4.5.1.	Agentes de degradação.....	91
4.5.2.	Durabilidade da caixilharia de Alumínio.....	93
4.5.3.	Durabilidade da caixilharia em PVC.....	96
4.6.	Impacto ambiental .....	98
4.6.1.	Potencial de Reutilização e Reciclagem .....	102
4.6.2.	Emissões de poluentes, toxicidade, consumo de energia e de recursos ...	102
4.6.3.	Síntese da análise comparativa do impacto ambiental Alumínio – PVC....	110
4.7.	Estimativa de custos.....	115
4.7.1.	Custos iniciais de fornecimento e instalação .....	116
4.7.2.	Custos de Manutenção.....	120
4.7.3.	Custo do ciclo de vida.....	126
5.	Inquéritos .....	138
6.	Metodologia de apoio à decisão e aplicação a casos de estudo.....	146
6.1.	Critérios de apoio à decisão considerados.....	146
6.2.	Metodologia de apoio à decisão .....	150
6.3.	Caso de estudo 1 .....	151

6.4. Caso de estudo 2 .....	155
6.5. Caso de estudo 3 .....	158
6.6. Caso de estudo 4 .....	159
7. Conclusões.....	163
7.1. Principais conclusões.....	163
7.2. Possíveis desenvolvimentos futuros .....	168
Bibliografia .....	169

## Índice de figuras

Figura 1_ Fatores de competitividade na construção tradicional (Pires, 2013) .....	2
Figura 2_ Evolução das preocupações na construção (Pires, 2013) .....	2
Figura 3_ Materiais utilizados nos perfis de caixilharia no mercado Português (LNEC, 2011) .....	3
Figura 4_ Vidro simples .....	10
Figura 5_ Vidro duplo .....	10
Figura 6_ Vidro texturado .....	10
Figura 7_ Vidro fosco .....	10
Figura 8_ Vidro delta maple .....	10
Figura 9_ Vidro crepe mate.....	10
Figura 10_ Vidro laminado (COSTA, 2013).....	11
Figura 11_ Vidro com baixa emissividade (COSTA, 2013).....	12
Figura 12_ Localização de vedantes nos perfis de caixilharia (COSTA, 2013).....	13
Figura 13_ Vedantes.....	14
Figura 14_ Exemplos de puxadores .....	14
Figura 15_ Exemplo de esquadro.....	14
Figura 16_ Exemplos de dobradiças (COSTA, 2013) .....	15
Figura 17_ Nível de referência em terrenos de inclinação superior a 60º (Viegas, 2012)...17	
Figura 18_ Nível de referência em terrenos de inclinação superior a 15º e inferior a 60º (Viegas, 2012).....	17
Figura 19_ Proteção contra vento em edifícios a menos de 15m (Viegas, 2012).....	17
Figura 20_ Proteção contra vento em edifícios entre 15m e 30m de distância (Viegas, 2012) .....	18
Figura 21_ Tipos de concordâncias entre peças fixas e móveis de janelas de abrir (Verdelho, 2005) .....	25
Figura 22_ – Corte de um perfil em zona de peitoril (Verdelho, 2005) .....	26
Figura 23_ Requisitos energéticos obrigatórios para os vãos envidraçados (ANFAGE, 2015) .....	30
Figura 24_ – Degradação de dobradiças e dos mecanismos de abertura e fecho .....	33
Figura 25_ Critérios de classificação de resistência ao fogo (SERC) .....	35
Figura 26_ Ciclo de vida de caixilharia (Gomes & Rodrigues) .....	38
Figura 27_ Ciclo de Vida do Alumínio (Hydro, 2019) .....	39
Figura 28_ Remoção da camada superficial (Rodrigues, 2008) .....	40
Figura 29_ Stracker ou empilhadora automática (Rodrigues, 2008) .....	40
Figura 30_ Mineroduto de 244 km que atravessa cinco municípios da mineradora da Hydro em Paragominas até a refinaria Hydro Alunorte, em Barcarena (Hydro, 2019).....	41
Figura 31_ Esquema Representativo do Processo Bayer (SCIELO, 2020).....	41
Figura 32_ Alumina .....	42
Figura 33_ Cubas eletrolíticas (Rodrigues, 2008).....	42

Figura 34_ Representação do funcionamento de extrusora de Alumínio (Faria, s.d.) .....	43
Figura 35_ Saída de perfis extrudidos da extrusora.....	43
Figura 36_ Caixilharia no Mercado Bom Sucesso do Porto.....	44
Figura 37_ Representação do processo de lacagem.....	45
Figura 38_ Anodização de perfis de Alumínio (APAL, 2020) .....	45
Figura 39_ Gama de cores efeito madeira.....	46
Figura 40_ Representação em corte de um perfil com corte térmico (Caixifácil, 2020) .....	46
Figura 41_ Ligação em corte reto e em T ou cruz (Verdelho, 2005).....	48
Figura 42_ Esquema do ciclo de vida de produtos de PVC (Instituto Brasileiro do PVC, s.d.) .....	49
Figura 43_ Representação esquemática do processo de polimerização em suspensão. Fonte (Rodolfo, Nunes, & Ormanji, 2006).....	50
Figura 44_ Silos de armazenamento de PVC - Shin Etsu, Cires (Cimave Construções, 2014) .....	51
Figura 45_ Representação esquemática de um misturador intensivo utilizado na preparação de compostos de PVC (Junior, Nunes, & Ormanji, 2006) .....	52
Figura 46_ Representação esquemática de uma extrusora (Rodolfo, Nunes, & Ormanji, 2006) .....	53
Figura 47_ Esquema representativo de corte de caixilho de PVC. (KBE Sistemas de Ventanas, s.d.).....	55
Figura 48_ Relação entre Densidade e Módulo de Young .....	60
Figura 49_ Relação entre a Densidade e Dureza.....	60
Figura 50_ Relação entre a Condutividade térmica e o Módulo de Young .....	60
Figura 51_ Ferramentas necessárias segundo a classe de resistência RC1, RC2 e RC3 (Technal, 2018).....	63
Figura 52_ Corte de um sistema de Alumínio (Reyners Aluminium, s.d.).....	64
Figura 53_ Corte de sistema de Alumínio à esquerda e à direita teste ao fogo do caixilho composto por 2 folhas de abrir com 5 fixos (Reyners Aluminium, s.d.) .....	64
Figura 54_ Atenuação acústica máxima em caixilharia de Alumínio com corte térmico e PVC com reforço (Cortizo, 2017).....	65
Figura 55_ Redução de energia associado à substituição de janelas (ADENE, 2013).....	67
Figura 56_ Simulação de batente para caixilharia de Alumínio com corte térmico .....	68
Figura 57_ Simulação de batente para caixilharia de PVC com reforço .....	68
Figura 58_ Simulação de correr para caixilharia em Alumínio com corte térmico.....	69
Figura 59_ Simulação de correr para caixilharia de PVC com reforço .....	69
Figura 60_ Sistema de harmónio (Cortizo, 2017).....	71
Figura 61_ Sistema de Guilhotina (Sosoares).....	71
Figura 62_ Sistema de correr 4700 RPT (Cortizo, 2017) .....	71
Figura 63_ Porta mediterrânea de correr (Cortizo, 2017) .....	71
Figura 64_ Sistemas de batente n14100 em Escola Secundária Aurélia de Sousa (navarra, 2012) .....	72
Figura 65_ Sistema OS Pivotante (Sosoares) .....	72
Figura 66_ Sistema de fachada n15200 (navarra, 2012).....	72
Figura 67_ Sistema de fachada de vidro exterior colado n15000 VEC (navarra, 2012).....	72
Figura 68_ Sistema de Portada de correr A.017 (Extrusal, 2011) .....	73
Figura 69_ Grelhas de revestimento n31000 (navarra, 2012) .....	73
Figura 70_ Sistemas de Quebra Sol fixo (direita) e móvel (esquerda).....	74
Figura 71_ Sistema de basculante e fixa (Portnorma, 2015) .....	74
Figura 72_ Sistema de correr (Cortizo, 2017) .....	74
Figura 73_ Sistema de correr (Cortizo, 2017) .....	75
Figura 74_ Sistemas de estores de PVC (Windoor, 2021).....	75
Figura 75_ Exemplos de cores lacadas para perfis de Alumínio (Cortizo, 2017) .....	76

Figura 76_ Exemplo de cores acetinadas para perfis de Alumínio (Cortizo, 2017) .....	76
Figura 77_ Exemplo de cores para perfis de PVC (Cortizo, 2017) .....	77
Figura 78_ Sistema de Alumínio Cor Vision Plus de Correr com RPT (Cortizo, 2017).....	79
Figura 79_ Sistema de Alumínio COR 80 Folha Oculta RPT (Cortizo, 2017).....	79
Figura 80_ Sistema de PVC A 84 Folha oculta Passivhaus (Cortizo, 2017).....	79
Figura 81_ Sistema de Alumínio Porta Millennium Plus 80 RPT .....	80
Figura 82_ Tipos de Manutenção (Cabral, 2016) .....	81
Figura 83_ Funções e manipulação de caixilharia (REHAU, 2008) .....	82
Figura 84_ Exemplo de utilização incorreta de uma janela oscilo batente (REHAU, 2008)..	82
Figura 85_ Imagem ilustrativa de limpeza de janela.....	84
Figura 86_ Lubrificação de janela (REHAU, 2008).....	85
Figura 87_ Metodologia para a previsão do tempo de vida útil (Santos M. R., 2010) .....	89
Figura 88_ Relação entre o desempenho das propriedades de um elemento e os níveis mínimos aceitáveis (Raposo, 2009).....	90
Figura 89_ Representação do ciclo de vida e das entradas e saídas dos materiais e energia associados a um produto composto por sistemas compósitos (Machado, 2014).....	99
Figura 90_ Etapas da metodologia de avaliação do ciclo de vida (Machado, 2014) .....	100
Figura 91_ Exemplo de definição das fronteiras do sistema (Machado, 2014).....	101
Figura 92_ Etapas obrigatórias e opcionais para a etapa de avaliação dos impactos ambientais (Machado, 2014) .....	101
Figura 93_ Fases consideradas numa nova construção (Pires, 2013).....	103
Figura 94_ Processo para a produção de gases com efeito de estufa (Florestas-PT, 2019) .....	103
Figura 95_ Impactos ambientais na etapa da reciclagem e do fim de vida para caixilharia de Alumínio, madeira, madeira folheada com Alumínio e PVC (Carlisle & Friedlander, 2016) .....	107
Figura 96_ Esquema representativo do Ciclo de Vida de um perfil de PVC (Fonseca, 2004) .....	109
Figura 97_ Avaliação de riscos dos 16 impactos do ciclo de vida do PVC. (BAH e Amanco) .....	110
Figura 98_ Gráfico da relação entre Energia incorporada e a pegada de CO <sub>2</sub> na fase de produção primária do Alumínio e de PVC.....	111
Figura 99_ Gráfico da relação entre Energia incorporada e a utilização de água na fase de produção primária do Alumínio e de PVC.....	111
Figura 100_ Processos possíveis no fim de vida útil de um material (CES EduPack, 2019)	114
Figura 101_ Custo de fornecimento e instalação de caixilharia de Alumínio e PVC para oscilobatente.....	118
Figura 102_ Custo de fornecimento e instalação de caixilharia de Alumínio e PVC para fixos .....	118
Figura 103_ Custo de fornecimento e instalação de caixilharia de Alumínio e PVC para basculantes.....	119
Figura 104_ Custo de fornecimento e instalação de caixilharia de Alumínio e PVC para correr.....	119
Figura 105_ Custo de fornecimento e instalação de caixilharia de Alumínio e PVC para abrir (janelas) .....	119
Figura 106_ Custo de fornecimento e instalação de caixilharia de Alumínio e PVC para abrir (portas) .....	120
Figura 107_ Quantificação de Manutenção decenal de elementos de caixilharia de um edifício multifamiliar isolado. (CYPE, 2008) .....	121
Figura 108_ Custo de manutenção decenal de caixilharia oscilobatente de Alumínio e de PVC .....	123
Figura 109_ Custo de manutenção decenal de caixilharia fixa de Alumínio e de PVC .....	124

Figura 110_ Custo de manutenção decenal de caixilharia basculante de Alumínio e de PVC .....	124
Figura 111_ Custo de manutenção decenal de caixilharia correr de Alumínio e de PVC ..	124
Figura 112_ Custo de manutenção decenal de caixilharia correr de Alumínio e de PVC ..	125
Figura 113_ Custo de manutenção decenal de caixilharia correr de Alumínio e de PVC ..	125
Figura 114_ Diagrama de custo direto de ciclo de vida de caixilharia de Alumínio e PVC a imputar ao cliente final .....	127
Figura 115_ Fator de correção monetário em função do tempo e da taxa de atualização monetária anual (Almeida, 2013) .....	128
Figura 116_ Custo total de caixilharia em Alumínio com corte térmico e PVC com reforço para as diferentes tipologias e taxas de atualização.....	135
Figura 117_ Gráfico que relaciona as taxas de atualização de 0, 2 e 4% com os custos totais da tipologia em estudo .....	136
Figura 118_ Gráfico que relaciona as taxas de atualização de 0, 2 e 4% com os custos totais da tipologia em estudo .....	137
Figura 119_ Gráfico que relaciona as taxas de atualização de 0, 2 e 4% com os custos totais da tipologia em estudo .....	137
Figura 120_ Área a que pertencem os inquiridos .....	138
Figura 121_ Tempo médio de vida útil de um caixilho de Alumínio .....	139
Figura 122_ Tempo médio de vida útil de um caixilho de PVC.....	139
Figura 123_ Material de caixilharia mais fácil de manusear em serralharia .....	140
Figura 124_ Material de caixilharia menos poluente.....	140
Figura 125_ Melhor material de caixilharia a aplicar em zona marítima .....	141
Figura 126_ Material de caixilharia mais fácil de reparar .....	142
Figura 127_ Material de caixilharia que tem melhor resistência mecânica .....	142
Figura 128_ Material de caixilharia que dispõe de maior variedade de soluções (portadas, fachadas, tipologias...).....	143
Figura 129_ Material de caixilharia com melhor estética .....	143
Figura 130_ Material de caixilharia que precisa de menos manutenção .....	143
Figura 131_ Material de caixilharia que é mais eficiente a nível térmico .....	144
Figura 132_ Material de caixilharia possui melhores prestações a nível acústico .....	144
Figura 133_ Material de caixilharia mais económico.....	145
Figura 134_ Informação com a classificação relativa à envolvente do edifício .....	148
Figura 135_ Classificação das opções conforme as características técnicas .....	148
Figura 136_ Classificação das opções conforme a versatilidade .....	148
Figura 137_ Classificação das opções, relativamente a diversos tipos de impactos ambientais.....	149
Figura 138_ Página inicial da folha de cálculo de apoio à escolha de caixilharia .....	150
Figura 139_ Caso fictício de estudo de moradia unifamiliar - Modelado com KazaPLAN (KAZAPLAN, 2019) .....	151
Figura 140_ Mapa aéreo de localização Viana do Castelo.....	152
Figura 141_ Cor lacado Noir 200 Sable.....	153
Figura 142_ Página de dados de preenchimento da folha de cálculo de apoio à escolha de caixilharia .....	153
Figura 143_ Página de custos diretos da folha de cálculo de apoio à escolha de caixilharia .....	154
Figura 144_ Página de conclusões da folha de cálculo de apoio à escolha de caixilharia ..	155
Figura 145_ Caso fictício de estudo de moradia unifamiliar - Modelado com KazaPLAN (KAZAPLAN, 2019) .....	155
Figura 146_ Mapa aéreo de localização Beja.....	156
Figura 147_ Página de dados de preenchimento da folha de cálculo de apoio à escolha de caixilharia .....	157



Figura 148_ Página de custos diretos da folha de cálculo de apoio à escolha de caixilharia .....	157
Figura 149_ Página de conclusões da folha de cálculo de apoio à escolha de caixilharia .....	158
Figura 150_ Página de conclusões da folha de cálculo de apoio à escolha de caixilharia para simulação extra da tipologia do caso de estudo 3.....	158
Figura 151_ Caso fictício de estudo de moradia unifamiliar - Modelado com KazaPLan (KAZAPLAN, 2019) .....	159
Figura 152_ Mapa aéreo de localização Covilhã .....	160
Figura 153_ Cor lacado Noir 200 Sable .....	160
Figura 154_ Página de dados de preenchimento da folha de cálculo de apoio à escolha de caixilharia .....	161
Figura 155_ Página de custos diretos da folha de cálculo de apoio à escolha de caixilharia .....	162
Figura 156_ Página de conclusões da folha de cálculo de apoio à escolha de caixilharia .....	162

## Índice de tabelas

Tabela 1_ Tipologias de caixilharia (Resende, 2020) .....	6
Tabela 2_ Materiais de caixilharia (ferfer, 2021) (SCHUSS, 2021) .....	8
Tabela 3_ Normas do vidro (Pinto & Fernandes, 2011).....	12
Tabela 4_ Estado limite último. Valor de cálculo da pressão do vento atuante em janelas e portas exteriores [Pa] (Viegas, 2012) .....	19
Tabela 5_ Estado limite último. Valor de cálculo da pressão do vento atuante em fachadas leves [Pa] (Viegas, 2012) .....	19
Tabela 6_ Estado limite utilização. Valor de cálculo da pressão do vento atuante em janelas e portas exteriores [Pa] (Viegas, 2012).....	20
Tabela 7_ Estado limite utilização. Valor de cálculo da pressão do vento atuante em fachadas leves [Pa] (Viegas, 2012) .....	20
Tabela 8_ Deformação relativa e absoluta máximas admissíveis em função do tipo de envidraçado (MARTINS, 2010) .....	21
Tabela 9_ Seleção da classe de resistência ao vento de janelas e portas exteriores (Viegas, 2012) .....	22
Tabela 10_ Seleção da classe de permeabilidade ao ar (Viegas, 2012) .....	23
Tabela 11_ Seleção da classe de permeabilidade ao ar de folhas fixas de fachadas leves (Viegas, 2012).....	24
Tabela 12_ Seleção da classe de estanquidade à água de janelas e portas exteriores (Viegas, 2012).....	27
Tabela 13_ Seleção da classe de estanquidade à água de folhas fixas de fachadas leves (Viegas, 2012).....	28
Tabela 14_ Classes mínimas a adotar para esforços de manobra de folhas móveis de janela (Viegas, 2012).....	31
Tabela 15_ Classes mínimas a adotar para forças estáticas em janelas (Viegas, 2012) .....	32
Tabela 16_ Classes mínimas a adotar para esforços de manobra de folhas móveis de portas (Viegas, 2012).....	32
Tabela 17_ Classes mínimas a adotar para a resistência mecânica das folhas de portas exteriores (Viegas, 2012).....	33
Tabela 18_ Níveis de qualidade do coeficiente de transmissão térmica para cada zona climática (Viegas, 2012) .....	34
Tabela 19_ Definição das classes de fumos e de classes de gotas ou partículas inflamadas (COSTA, 2013) .....	36

Tabela 20_ Euroclasses de reação ao fogo com métodos de ensaio, critérios de classificação e classificação (MARTINS, 2010) .....	36
Tabela 21_ Exigências de resistência mecânica (Verdelho, 2005).....	47
Tabela 22_ Exigências de resistência para peças de corte térmico (Verdelho, 2005).....	48
Tabela 23_ Principais aditivos, tipo de polimerização e efeitos (Teixeira, 2013) .....	52
Tabela 24_ Características técnicas de soluções de caixilharia de Alumínio corte térmico e de PVC com reforço.....	58
Tabela 25_ Propriedades do Alumínio e PVC (CES EduPack, 2019).....	59
Tabela 26_ Classes de resistência à intrusão (Technal, 2018) .....	62
Tabela 27_ Coeficiente de transmissão térmico (Uw) e envidraçamento máximo de caixilharias.....	66
Tabela 28_ Tipologias de Caixilharia de Alumínio e PVC .....	70
Tabela 29_ Capacidade máxima por folha de caixilharia de Alumínio com corte térmico e PVC com reforço.....	78
Tabela 30_ Periodicidade de Manutenção. Adaptado de CYPE (2008) .....	86
Tabela 31_ Periodicidade de Manutenção. Adaptado de (CYPE, 2008) .....	87
Tabela 32_ Agentes de degradação (COSTA, 2013).....	92
Tabela 33_ Características a controlar para revestimentos termolacados da Classe 1 (Barbosa, 2010) .....	94
Tabela 34_ Normas e certificação aplicáveis ao Alumínio (COSTA, 2013).....	95
Tabela 35_ Anomalias mais comuns em caixilharias de Alumínio e as suas possíveis causas (Santos A. J., 2012) .....	95
Tabela 36_ Normas e certificação aplicáveis ao PVC (COSTA, 2013).....	97
Tabela 37_ Anomalias mais comuns em caixilharias de PVC e as suas possíveis causas (Gomes J. , 2011 ) .....	97
Tabela 38_ Resultados por categoria de impacto adaptado (Espitia, Gondak, & Silva, 2015) .....	104
Tabela 39_ Valores de consumo de Energia, Recursos Renováveis e Recursos Não Renováveis de um perfil de Alumínio adaptado (Espitia, Gondak, & Silva, 2015).....	105
Tabela 40_ Valores de consumo de Energia, Recursos Renováveis e Recursos Não Renováveis de um perfil de PVC adaptado (Espitia, Gondak, & Silva, 2015).....	105
Tabela 41_ Consumo de energia e emissões de CO <sub>2</sub> de caixilharia de Alumínio e PVC (Gomes & Rodrigues) .....	106
Tabela 42_ Consumo de energia, água e emissões de CO <sub>2</sub> na fase de produção de Alumínio e PVC .....	112
Tabela 43_ Emissões de CO <sub>2</sub> , energia incorporada e taxa de reciclagem do Alumínio e PVC .....	114
Tabela 44_ Características de caixilharia de Alumínio com corte térmico e PVC com reforço .....	116
Tabela 45_ Orçamento de fornecimento e instalação de caixilharia em Alumínio e em PVC de oscilobatentes .....	117
Tabela 46_ Orçamento de fornecimento e instalação de caixilharia em Alumínio e em PVC de fixos .....	117
Tabela 47_ Orçamento de fornecimento e instalação de caixilharia em Alumínio e em PVC de basculantes.....	117
Tabela 48_ Orçamento de fornecimento e instalação de caixilharia em Alumínio e em PVC de correr.....	117
Tabela 49_ Orçamento de fornecimento e instalação de caixilharia em Alumínio e em PVC de abrir (janelas) .....	117
Tabela 50_ Orçamento de fornecimento e instalação de caixilharia em Alumínio e em PVC de abrir (portas) .....	118
Tabela 51_ Custo de manutenção decenal de caixilharia de Alumínio e PVC .....	122

Tabela 52_ Custo de manutenção decenal de caixilharia de Alumínio e PVC .....	122
Tabela 53_ Custo de manutenção decenal de caixilharia de Alumínio e PVC .....	122
Tabela 54_ Custo de manutenção decenal de caixilharia de Alumínio e PVC .....	123
Tabela 55_ Custo de manutenção decenal de caixilharia de Alumínio e PVC .....	123
Tabela 56_ Custo de manutenção decenal de caixilharia de Alumínio e PVC .....	123
Tabela 57_ Cenário 1: Custo do ciclo de vida útil a imputar ao cliente final de caixilharia de Alumínio com taxa de 0%.....	130
Tabela 58_ Cenário 1: Custo do ciclo de vida útil a imputar ao cliente final de caixilharia de PVC com taxa de 0%.....	130
Tabela 59_ Cenário 2: Custo do ciclo de vida útil a imputar ao cliente final de caixilharia de Alumínio com taxa de 2%.....	131
Tabela 60_ Cenário 2: Custo do ciclo de vida útil a imputar ao cliente final de caixilharia de PVC com taxa de 2%.....	131
Tabela 61_ Cenário 3: Custo do ciclo de vida útil a imputar ao cliente final de caixilharia de Alumínio com taxa de 4%.....	132
Tabela 62_ Cenário 3: Custo do ciclo de vida útil a imputar ao cliente final de caixilharia de PVC com taxa de 4%.....	132
Tabela 63_ Custo total para período de 50 anos de caixilharia de Alumínio e PVC considerando taxa de atualização de 0, 2 e 4% para oscilobatentes.....	133
Tabela 64_ Custo total para período de 50 anos de caixilharia de Alumínio e PVC considerando taxa de atualização de 0, 2 e 4% para fixos.....	133
Tabela 65_ Custo total para período de 50 anos de caixilharia de Alumínio e PVC considerando taxa de atualização de 0, 2 e 4% para basculantes .....	133
Tabela 66_ Custo total para período de 50 anos de caixilharia de Alumínio e PVC considerando taxa de atualização de 0, 2 e 4% para correr .....	133
Tabela 67_ Custo total para período de 50 anos de caixilharia de Alumínio e PVC considerando taxa de atualização de 0, 2 e 4% para abrir (janelas).....	133
Tabela 68_ Custo total para período de 50 anos de caixilharia de Alumínio e PVC considerando taxa de atualização de 0, 2 e 4% para abrir (portas).....	134
Tabela 69_ Resumo da média, mediana, valor mínimo e máximo do rácio PVC /Alumínio por tipologia e cenários (taxas de atualização).....	134
Tabela 70_ Resumo das opções mais votadas em cada pergunta.....	146



## Resumo

A caixilharia é uma componente dos edifícios com um impacto significativo na sua sustentabilidade, quer pelos impactos ambientais associados aos ciclos de vida dos materiais aplicados, quer pela sua influência no conforto dos seus utilizadores e nas questões económicas. A introdução de luz natural num edifício através dos vãos reduz as necessidades de aquecimento e luz, mas conduz também a um aumento de energia para arrefecimento nos meses de verão. Nos últimos anos tem-se verificado uma evolução significativa das soluções de caixilharia, nomeadamente com o intuito de melhorar o seu desempenho térmico e a sua resistência à intrusão.

A dissertação apresenta um estudo comparativo e uma metodologia de apoio aos decisores na escolha da solução de caixilharia mais sustentável para um determinado edifício, através de uma análise multicritério. A análise parte de uma comparação de soluções dos dois materiais mais usualmente usados no fabrico das caixilhariças – o Alumínio e PVC – relativamente a diferentes aspetos, como os requisitos de funcionamento, os impactos ambientais do ciclo de vida dos materiais empregues, a durabilidade e os custos a curto e longo prazo.

O apoio aos decisores na escolha da solução de caixilharia mais sustentável é feito tendo em conta as características dimensionais pretendidas e as exigências ambientais a que irá estar exposta, considerando a respetiva classificação em termos de um conjunto de indicadores de sustentabilidade que são ponderados tendo em conta a sua importância relativa para o decisor e que ajudam depois a selecionar a melhor solução em termos da maximização da qualidade da vida, da minimização do impacto ambiental e da otimização dos seus custos de ciclo de vida.

**Palavras chave:** Sustentabilidade, impacto ambiental, caixilharia, custo, Alumínio, PVC.

## Abstract

Window frames are one of the components with a significant impact on sustainability of buildings, either by the environmental impacts associated with the life cycles of the materials applied or their influence on the comfort of their users and on economic issues. The introduction of natural light into a building through the openings reduces heating and light needs, but also leads to an increase in cooling energy in the summer months. In recent years there has been a significant evolution of window management solutions, with a view to improve their thermal performance and resistance to intrusion.

The dissertation presents a comparative study and a methodology to support decision-makers in choosing the most sustainable frame solution for a certain building, through a multicriteria analysis. The analysis is based on a comparison of solutions of the two most used materials in the manufacture of frames – Aluminum and PVC – regarding different aspects, such as the operating requirements, environmental impacts of materials life cycle, durability as well as short and long term costs.

Supporting decision makers in choosing the most sustainable window and door frame solution is done by taking into account their dimensional characteristics and the environmental requirements to which it will be exposed, considering the respective classification in terms of a set of sustainability indicators that are weighted according to their relative importance to the decision maker and then help select the best solution in terms of maximizing the quality of life, minimizing environmental impact and optimizing their life cycle costs.

**Key words:** Sustainability, environmental impact, window frames, cost, Aluminum, PVC.

## Agradecimentos

Em primeiro lugar, um agradecimento muito especial à minha família, mais especificamente à minha mãe, por todo o seu suporte emocional e incentivo incondicional, na elaboração deste documento e durante todo o meu percurso académico.

À minha orientadora, Doutora Joana Almeida, por toda a paciência, disponibilidade, pelo exemplo da capacidade de trabalho, competência e também dinamismo e ideias transmitidas para a resolução das diversas dificuldades, que constituíram uma contribuição indispensável para a realização da presente dissertação.

A todos os amigos e colegas que de uma forma direta ou indireta, contribuíram, ou auxiliaram na elaboração do presente estudo, pela paciência e atenção.

Agradeço também a todos os profissionais e colegas de trabalho que se disponibilizaram a responder às mais diversas questões técnicas, assim como a todos os representantes das empresas contactadas, por facilitarem todos os esclarecimentos solicitados.

# 1. Introdução

## 1.1. Enquadramento e motivação

A evolução da arquitetura ao longo do tempo tem vindo a evidenciar uma tendência de redução da parte maciça das paredes e um aumento da área dos vãos envidraçados. Dessa forma é possível potenciar a luminosidade natural, a ventilação natural e o aproveitamento da relação entre o interior e o exterior do edifício. Por outro lado, com essa evolução, a questão da proteção à envolvente tem vindo também a ficar mais complexa.

Segundo Santos (2012), as caixilharias são elementos de fachada que permitem fazer a transição entre áreas opacas e áreas envidraçadas. As caixilharias englobam toda a armação necessária ao encaixe de vidros ou outros materiais, fixos ou móveis, que formam a estrutura de uma janela ou porta. Deste modo, os vãos devem respeitar um conjunto diversificado de exigências específicas e, por vezes, difíceis de compatibilizar.

A escolha das caixilharias deve ser feita tendo em conta as exigências específicas relativas à sua função, às exigências inerentes à sua envolvente e ainda vários outros critérios que podem ser relevantes para o decisor, como os impactos ambientais e os custos a curto e longo prazo. Na verdade, a escolha entre diversas alternativas deve ser feita de forma a maximizar a sustentabilidade da caixilharia ao longo de todo o seu ciclo de vida, contemplando uma análise das suas diferentes etapas - desde a produção dos materiais que a constituem, passando pela execução e montagem, englobando todo o período de utilização e só terminando nas questões associadas à sua fase de alienação e potencial de reutilização e reciclagem.

Na indústria da construção é cada vez mais imperativo ter em conta os objetivos do desenvolvimento sustentável das edificações. Pires (2013) refere que o conceito da sustentabilidade mostra uma nova forma de analisar a conceção, a construção, a operação e a demolição. Tradicionalmente as preocupações estavam focadas na qualidade do produto, no tempo despendido e nos custos associados, conforme se ilustra na Figura 1.



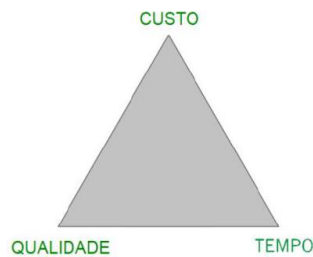
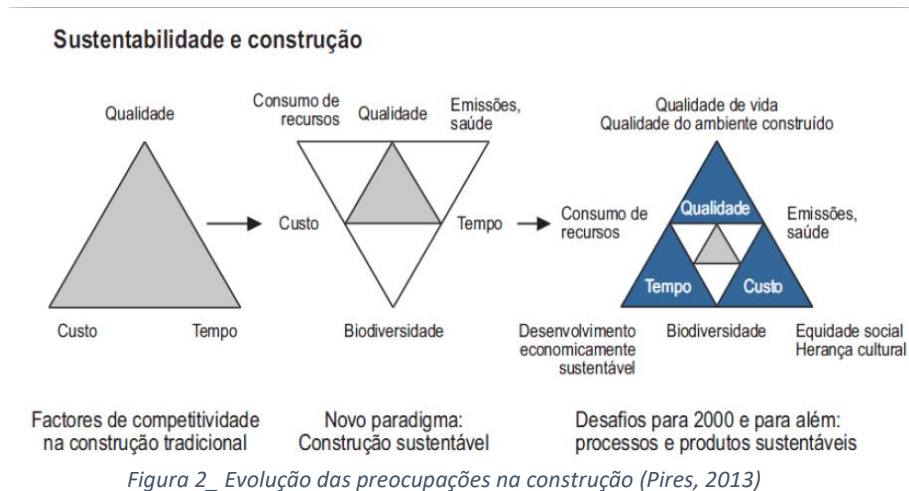


Figura 1\_Fatores de competitividade na construção tradicional (Pires, 2013)

Às temáticas tradicionais, a construção sustentável adicionou as preocupações socioambientais, como as relacionadas com o consumo de recursos, com a emissões de poluentes, a saúde e a biodiversidade, tal como representado na Figura 2.



Pires (2013) destaca os seguintes princípios e prioridades no conceito de construção sustentável:

- Minimizar a produção de resíduos;
- Economizar água e energia;
- Assegurar a salubridade dos edifícios;
- Maximizar a durabilidade dos edifícios;
- Planear a conservação e a manutenção dos edifícios;
- Utilizar materiais ecoeficientes.

As decisões de escolha de uma caixilharia devem ter então em consideração a maximização da sustentabilidade da solução adotada, nas suas múltiplas vertentes – social, ambiental e económica. Dada a complexidade que esse tipo de análise pode

assumir, o presente trabalho procura encontrar uma metodologia que permita apoiar os decisores na escolha entre diferentes alternativas com um desempenho funcional que seja o mais próximo possível. Para essa análise comparativa foram considerados os dois materiais mais utilizados nas caixilharias em Portugal - o Alumínio e o PVC. Em 2011, o LNEC realizou um inquérito de sondagem de mercado no âmbito da marcação CE a nível nacional. Os dados recolhidos nesse inquérito apontam, como se pode verificar através da análise da Figura 3, que o material mais utilizado na altura, segundo os fabricantes de janelas, era o Alumínio, com 35% de perfis de Alumínio monolítico e 41% de perfis de Alumínio com corte térmico, e que a esse material se seguia o PVC, com 15% de cota de mercado. Os caixilhos em madeira, noutros materiais e com soluções mistas tinham em conjunto uma representatividade inferior a 10%, razão pela qual não foram considerados no estudo efetuado.

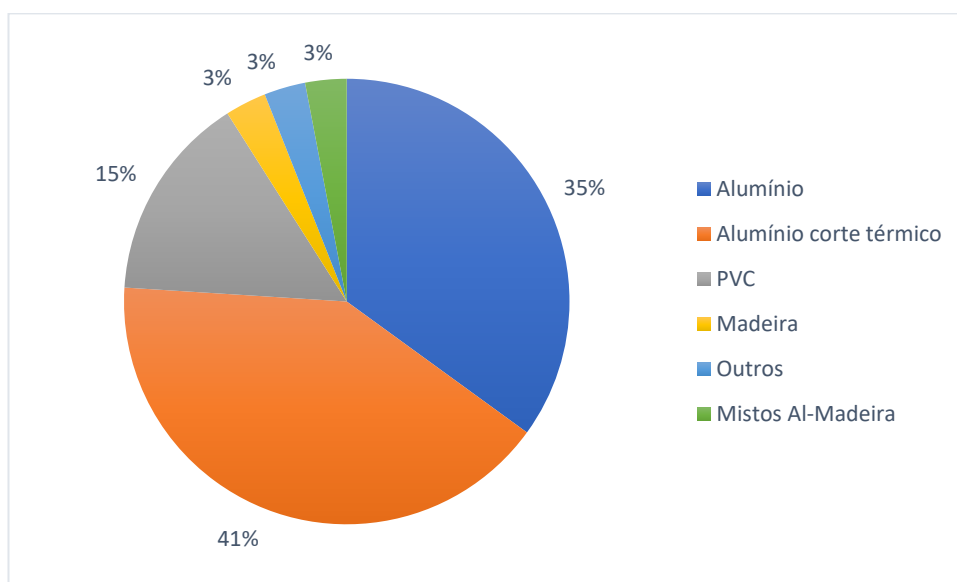


Figura 3\_ Materiais utilizados nos perfis de caixilharia no mercado Português (LNEC, 2011)

## 1.2. Objetivos

A presente dissertação apresenta uma análise comparativa da sustentabilidade de soluções de caixilharia com os materiais que habitualmente são mais usados com essa finalidade - o PVC e o Alumínio.

A análise parte do estudo dos ciclos de vida de cada um desses materiais, com uma avaliação dos impactos ambientais correspondentes a diferentes fases, desde a extração da matéria-prima até ao fim da sua vida útil. Os principais requisitos que os caixilhos devem respeitar são também estudados, com vista a permitir fazer uma análise crítica comparativa da utilização de diferentes materiais em elementos de caixilharia

com desempenhos funcionais o mais próximos possível, tendo em conta uma análise de ciclo de vida e vários indicadores de sustentabilidade. O estudo comparativo terá como propósito analisar somente os perfis de caixilharia em Alumínio e PVC e não terá em consideração os vidros nem os elementos acessórios, como vedantes, dobradiças, puxadores, entre outros componentes secundários existentes nas janelas e portas.

O trabalho engloba também uma estimativa do valor de implantação dos caixilhos, bem como os encargos com a sua manutenção, de forma a fazer uma avaliação dos custos associados ao período de vida útil de um edifício. Os custos associados a investimentos previstos para instantes futuros do período de vida útil de um edifício, são atualizados ao momento presente através do recurso a uma taxa de atualização monetária.

A análise comparativa é feita depois tendo em conta vários fatores, como as características técnicas, a versatilidade, os impactos ambientais e os custos. Esse estudo é realizado do ponto de vista do cliente final, que precisa ainda de saber a qual dos materiais corresponde o melhor investimento a curto e a longo prazo, bem como o material que melhor se adequa às características do edifício e da sua envolvente e aos critérios que considera mais relevantes na sua decisão.

O estudo analisa assim as fases de exploração da matéria-prima, de produção do caixilho, de conceção e instalação do mesmo em obra, bem como de manutenção ao longo da sua vida útil. O estudo é feito com base em dados recolhidos em consultas de mercado, em consultas de elementos bibliográficos e nas respostas a inquéritos que foram feitos a profissionais da área e a utilizadores comuns, procurando caracterizar múltiplos fatores de decisão, como o desempenho, os custos, a durabilidade perante diferentes tipos de agressividade ambiental e os impactos para o meio ambiente de cada uma das soluções comparadas.

A análise apresentada tem como principal objetivo a apoio aos decisores na escolha da solução mais sustentável, através de uma análise comparativa de ciclo de vida de caixilhos em Alumínio e PVC, sobre múltiplos pontos de vista, conjugando critérios económicos, como os de custo a curto e longo prazo, com outros relativos a questões socioambientais, como a utilização de materiais menos tóxicos e poluentes e ainda que envolvam uma economia circular.

### 1.3. Estrutura da dissertação

Depois de feito o enquadramento relativo à motivação para o presente trabalho e de apresentados os seus principais objetivos, neste capítulo é ainda feita uma descrição introdutória geral sobre caixilharias, no que respeita às diferentes tipologias de movimentação e abertura, aos materiais e aos seus principais constituintes.

Posteriormente, no capítulo 2, são elencados os principais requisitos de uma caixilharia e no capítulo 3 são analisados os ciclos de vida dos caixilhos de Alumínio e PVC, desde a extração e produção do material até à implantação das janelas e/ou portas no edifício.

Em seguida, no capítulo 4 são apresentados os resultados de um inquérito dirigido a profissionais de construção civil e utilizadores comuns sobre caixilharia de Alumínio e PVC.

No quinto capítulo é elaborada análise comparativa para os diferentes parâmetros, como as características técnicas, a versatilidade, a manutenção, a durabilidade, os impactos ambientais e a estimativa de custos para o cliente final.

No capítulo 6, é feita a apresentação de metodologia de apoio à decisão e a sua aplicação a vários casos práticos.

A terminar, no capítulo 7, são apresentadas as principais conclusões, destacando os pontos de mais relevo relacionados com o tema em estudo, bem como as perspetivas de desenvolvimento futuro, de modo a que não se perca o interesse no assunto.


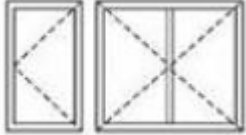
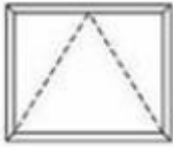
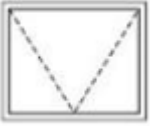

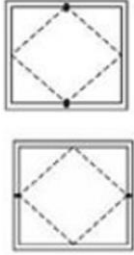
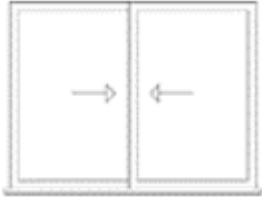

As referências bibliográficas são apresentadas no final e indicam as principais fontes de informação consultadas no âmbito do presente estudo.



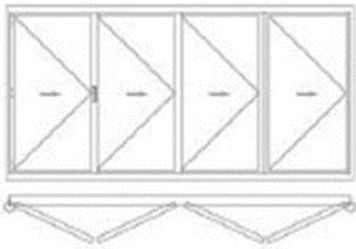
### 1.4. Descrição geral das caixilharias – tipologias, materiais e componentes

#### 1.4.1. Tipologia de movimento

Geralmente os sistemas de caixilharias são formados pelo aro que fixa o vão à parede e pelas folhas nos casos em que há aberturas. A tipologia das janelas e das portas pode ser definida a partir do tipo de movimento das suas folhas, de acordo com o que se passa a apresentar na Tabela 1.

Tabela 1\_Tipologias de caixilharia (Resende, 2020)

Tipologia	Esquema Representativo	Descrição
Fixo		A caixilharia fixa não permite qualquer tipo de movimento de abertura, limitando sua função, quase que exclusivamente, à iluminação.
Batente		Caixilharia formada por uma ou mais folhas que se movimentam em rotações em torno de um eixo vertical, com dobradiças ou articulações, situado num dos lados do aro fixo. A caixilharia tem abertura total do vão, facilitando assim algumas operações, como por exemplo a limpeza. Porém, quando a abertura é efetuada para o interior, o movimento da folha invade o espaço habitável, sendo por isso de evitar em vãos de maior dimensão.
Basculante		Com uma ou mais folhas que podem ser movimentadas por rotação em torno de um eixo horizontal fixo. Em geral, quando a abertura é para o interior o eixo fixo está situado na extremidade inferior.
Projetantes		Semelhantes à tipologia anterior, diferindo apenas na abertura que é feita para o exterior, com o eixo na extremidade superior do caixilho.
Oscilobatente		Com uma ou mais folhas que podem ser movimentadas em torno do eixo vertical e do eixo horizontal, correspondendo assim à união das duas formas de abertura: batente e basculante.
Pivotantes		O caixilho pivotante detém uma ou mais folhas que podem ser movimentadas por rotação em torno de um eixo horizontal ou vertical. O ponto fixo pode ser a meio dos perfis ou no caso de portas, o mais próximo possível de uma das extremidades.
Correr		Pode ser formada por várias folhas que deslizam de forma horizontal sobre os carris através de roldanas fixas nas folhas da janela.
Guilhotina		As portas ou janelas de guilhotina, com duas ou mais folhas, abrem manualmente num movimento de deslizamento vertical.

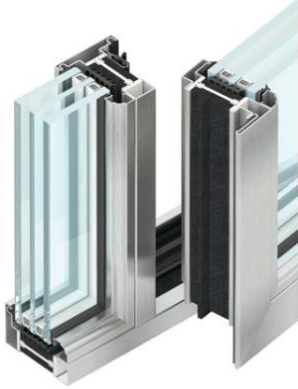
Correr elevável		Os caixilhos de correr eleváveis possuem uma ou mais folhas que realizam dois movimentos, um primeiro de subida e um segundo de deslizamento horizontal no plano da folha.
Osciloparalela		É uma janela que bascula para efeitos de ventilação, funcionando como janela de correr paralela ao plano do vidro.
Harmónio		Com duas ou mais folhas que se dobram uma sobre as outras enquanto também deslizam horizontalmente no plano da folha. Estas portas são encartadas criando uma abertura sequencial permitindo uma abertura total do vão. Neste sistema os elementos envidraçados são dobrados para o interior ou exterior e suportados através de dois carris, um superior e outro inferior.



Do leque de tipologias de movimentação apresentadas na tabela, as mais usuais podem ser agrupadas em três grandes grupos: fixas, de correr e de batente, podendo englobar nestas últimas basculantes, projetantes e oscilobatentes.

#### 1.4.2. Materiais e acabamentos

No mercado atual, existe uma grande variedade de materiais que podem ser usados nos perfis das caixilharias entre eles, nomeadamente a caixilharia em Madeira, em Aço, em Alumínio e em PVC. Cada um desses materiais permite diferentes tipos de acabamentos, possibilitando a opção por variadas aparências exteriores e interiores, de acordo com as exigências estéticas pretendidas. Na Tabela 2 apresentam-se imagens e uma breve descrição relativas a cada um dos materiais mais usados para as caixilharias e respetivos tipos de acabamento.

Tabela 2\_Materiais de caixilharia (ferfer, 2021) (SCHUSS, 2021)

Material	Representação	Descrição
Aço		<p>Os perfis de aço em caixilharia são constituídos por chapa dobrada e devem ser alvo de cuidados especiais, nomeadamente nas regiões de corte e soldadura. A pintura do aço pode ser uma boa medida preventiva face à possibilidade de corrosão, desde que seja uniforme, tenha baixa porosidade, uma espessura adequada, uma boa resistência relativamente às condições de exposição e uma boa aderência à base. Os perfis podem ser utilizados com ou sem pintura de acabamento. A pintura do aço pode ser por termolacagem ou pintura líquida com secagem ao ar. Nas situações em que os perfis sejam sem acabamentos podem ser aplicados processos como a metalização à pistola ou a imersão em zinco fundido a quente.</p>
Alumínio		<p>A caixilharia de Alumínio destaca-se devido à sua versatilidade estética e à vasta gama de cores, acabamentos e formas. São produtos leves, resistentes, não inflamáveis, recicláveis, fáceis de conservar e de longa durabilidade. As desvantagens deste tipo de material são os desempenhos medíocres a nível acústico e uma elevada condutibilidade de calor, o que, não sendo compensado, pode prejudicar as condições de conforto. Para reduzir os maus desempenhos térmicos e acústicos, podem ser incorporados perfis de poliamida (polímero termoplástico que impede a transferência de calor) a fazer a separação do perfil exterior e interior, melhorando significativamente a sua performance. Os perfis com essa incorporação correspondem ao que se designa por caixilharia de Alumínio com corte térmico. A rotura térmica da poliamida é unida mecanicamente às duas secções do perfil, permitindo manter a rigidez do perfil. Este sistema permite também a criação de perfis bicolors (com cores diferentes no interior e exterior da janela), uma vez que o perfil passa a ser composto por duas partes que podem ser lacadas ou anodizadas separadamente. Os perfis de caixilharia</p>

		podem ser anodizados, lacagem de diversas cores e texturas e podem passar pelo processo de sublimação que permite soluções de imitação de madeira.
PVC		<p>No que respeita às características térmicas e acústicas este material manifesta bom desempenho. Do ponto de vista da resistência ao fogo, o PVC não só é autoextinguível, como é dificilmente inflamável; porém, liberta cloro quando exposto ao fogo, formando ácido clorídrico juntamente com a água. É muitas vezes por essa razão que o PVC é preterido em relação a outros materiais.</p> <p>As características especiais do PVC permitem-lhe ser formulado com diversos aditivos que melhoram, consideravelmente, as propriedades físicas e químicas da matéria-prima. O grande teor em cloro presente na estrutura molecular do PVC confere-lhe elevada polaridade, o que aumenta a sua afinidade e permite a sua mistura com uma grande gama de aditivos. A aplicação de alguns aditivos pode conferir ao PVC propriedades especiais, nomeadamente alta resistência ao impacto, transparência, brilho e impermeabilidade, entre outras (Torres, 2009). Para além da cor branco, que é a cor base do PVC, este pode ter outras cores e texturas, como o efeito madeira.</p>
Madeira		<p>Este material é um clássico na criação de caixilharia, apresentando-se como um produto robusto, sólido e durável, embora possa ser sensível à ação de fungos, bactérias e insetos. A madeira encontra-se abundantemente na Natureza. Para que este material seja facilmente trabalhável é preciso que o teor de humidade se situe entre 12% e 14%, não possua quaisquer nós (inserção dos ramos no tronco da árvore), que seja cortada da forma correta e não apresente manchas de bolores nem defeitos como fissuras e apodrecimentos.</p> <p>Os principais acabamentos da madeira em obra são o enceramento, o envernizamento e a pintura (Torres, 2009).</p>



### 1.4.3. Vidro

O vidro caracteriza-se pela sua transparência, durabilidade e pela capacidade de transmitir radiação e luz para o interior dos edifícios, sendo por isso muito utilizado nas construções (COSTA, 2013). É um material inorgânico, amorfo e fisicamente homogêneo, constituído por areia, sílica, soda e cal. Estes elementos formam uma massa em fusão que endurece através do aumento contínuo de viscosidade até atingir a condição de rigidez, obtendo assim o vidro (COSTA, 2013).

Aquando a escolha da caixilharia deve ter se em atenção o tipo de vidro, pois este é escolhido a partir da orientação do vão envidraçado e os níveis de conforto térmico e acústico que se pretendem, tendo em conta a localização do edifício.

Os três tipos de vidros mais comumente utilizados são o simples, o duplo e o texturado. O vidro simples (Figura 4) é um vidro sem qualquer tratamento e atualmente pouco utilizado em construções, visto que acarreta perdas térmicas muito significativas. O vidro duplo (Figura 5) é constituído por duas folhas de vidro com um espaço no interior preenchido com um gás inerte. O vidro texturado (Figura 6) engloba diferentes tipos de acabamentos, tendo por isso algumas variantes, como o vidro crepe, o vidro fosco e o vidro delta maple (Figura 8) (COSTA, 2013).

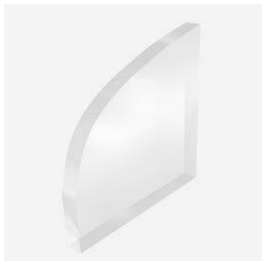


Figura 4\_Vidro simples



Figura 5\_Vidro duplo



Figura 6\_Vidro texturado



Figura 7\_Vidro fosco



Figura 8\_Vidro delta maple

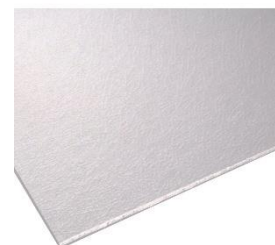
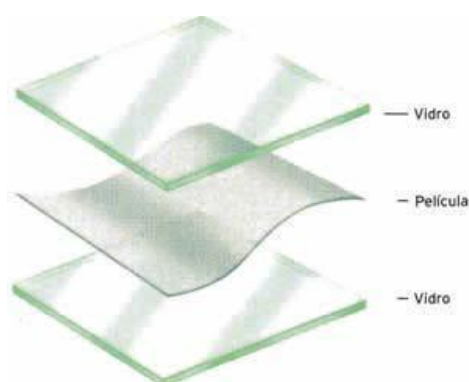


Figura 9\_Vidro crepe mate

As características do vidro são definidas a partir do tratamento a que cada um deles é submetido após a sua fundição. Segundo Costa (2013) “os tratamentos mais

utilizados são o temperado, o laminado e o de auto-limpeza. O vidro temperado é um vidro muito resistente devido ao seu processo de endurecimento, sendo por isso adequado para a folha exterior de vidros duplos.” O vidro laminado, representado na Figura 10, advém da união de duas folhas de vidro através de uma camada intermédia de PVB (polivinil butiral) ou resina, que concede uma maior resistência. Os vidros de auto-limpeza, permitem através da aplicação de uma película transparente de um material hidrofóbico e fotossensível, a decomposição de sujidades orgânicas, que serão removidas quando chove não necessitando de intervenção humana (COSTA, 2013).



*Figura 10\_Vidro laminado (COSTA, 2013)*

Outro tipo de vidro procurado no mercado atual, o vidro de baixa emissividade (Figura 11). Nestes vidros, quanto mais baixa for a emissividade, menor é a transferência de calor por radiação, acabando por aumentar o conforto térmico no Verão e no Inverno. Estes produtos partem dum vidro incolor sobre o qual é depositada uma capa fina e transparente composta por materiais de origem metálica. Esta capa é que confere a propriedade de baixa emissividade: reflete os raios infravermelhos de longo comprimento de onda (os que transportam calor e são responsáveis pelo aquecimento) (Saint Gobain, 2021). Esta capa retém o calor no interior da casa no período de inverno (aquecimento) e no verão evita que o calor excessivo da radiação solar externa entre no interior do edifício, proporcionando sempre o maior grau de iluminação natural possível.

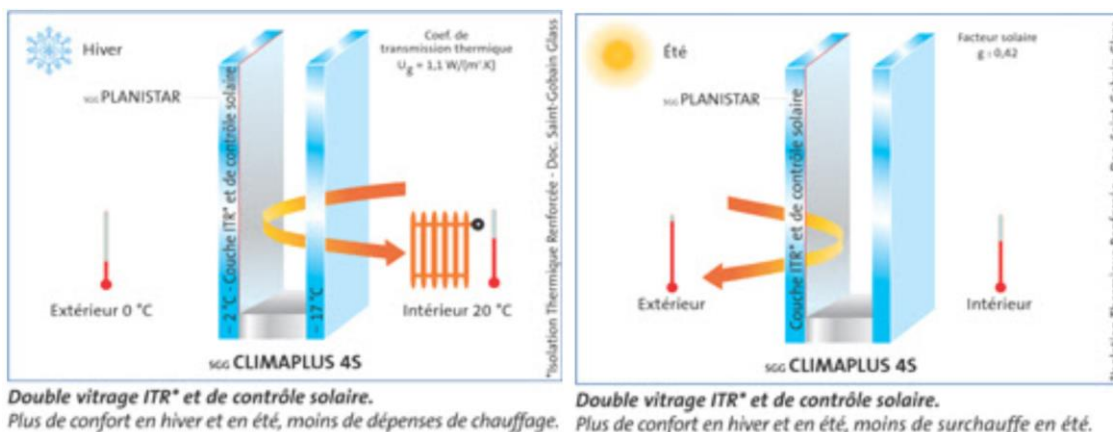


Figura 11\_ Vidro com baixa emissividade (COSTA, 2013)

No Tabela 3 são referidas as principais normas europeias relativas a vidros para edifícios.

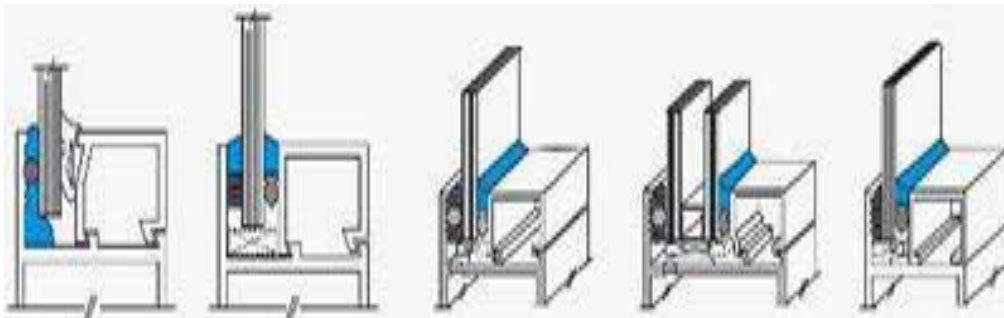
Tabela 3\_Normas do vidro (Pinto & Fernandes, 2011)

Norma Europeia	Designação
EN 572-9:2004	Glass in building - Basic soda lime silicate glass products - Part 9: Evaluation of conformity/Product standard
EN 1096-4:2004	Glass in building - Coated glass - Part 4: Evaluation of conformity/Product standard
EN 1279-5:2005	Glass in building - Insulating glass units - Part 5: Evaluation of conformity
EN 1748-1-2:2004	Glass in building - Special basic products - Borosilicate glasses - Part 1-2: Evaluation of conformity/Product standard
EN 1748-2-2:2004	Glass in building - Special basic products - Glass ceramics - Part 2-2: Evaluation of conformity/Product standard
EN 1863-2:2004	Glass in building - Heat strengthened soda lime silicate glass - Part 3: Evaluation of conformity/Product standard
EN 12150-2:2004	Glass in building - Thermally toughened soda lime silicate safety glass - Part 2: Evaluation of conformity/Product standard
EN 12337-2:2004	Glass in building - Chemically strengthened soda lime silicate glass - Part 2: Evaluation of conformity/Product
EN ISO 12543-2	Glass in building - Laminated glass and laminated safety glass - Part 2: Laminated safety glass (ISSO 12543-2:1998)
EN 13024-2:2004	Glass in building - Thermally toughened borosilicate safety glass - Part 2: Evaluation of conformity/Product standard
EN 14178-2:2004	Glass in building - Basic alkaline earth silicate glass products - Part 2: Evaluation of conformity/Product standard

EN 14179-2:2005	Glass in building - Heat soaked thermally toughened soda lime silicate safety glass - Part 2: Evaluation of conformity/Product standard
EN 14321-2:2005	Glass in building - Thermally toughened alkaline earth silicate safety glass - Part 2: Evaluation of conformity/Product standard

#### 1.4.4. Acessórios

Os vedantes, são um dos acessórios mais importantes na caixilharia, uma vez que são os principais responsáveis pela sua estanquidade. Os vedantes devem ser aplicados nas juntas móveis e fixas entre a estrutura principal e os vidros, conforme indicado nas imagens da Figura 12.



*Figura 12\_Localização de vedantes nos perfis de caixilharia (COSTA, 2013)*

Os vedantes (Figura 13) podem ser de borracha, mastique de silicone, mastique de acrílico ou betume, conforme o tipo de utilização. Nas juntas móveis são mais utilizados os vedantes de mastique de silicone, fitas de escovas, borracha e mastique acrílico. O material mais utilizado é a borracha sintética EPDM (polímero sintético constituído por Etileno, Propileno, Dieno e Monómero), pois apresenta boa resistência à ação das intempéries, um bom comportamento a altas e baixas temperaturas, bom envelhecimento aceitável à luz solar, bem como boa elasticidade, bom poder isolante e boa resistência à deformação por compressão (COSTA, 2013).



*Figura 13\_Vedantes*

Para além dos vedantes, como acessórios de caixilharias podem ainda considerar-se outros componentes como puxadores (Figura 14), fechos, fechaduras, roldanas, esquadros (Figura 15), dobradiças (Figura 16), roletes, calços e cunhas. Estes permitem a fixação ou movimento dos diversos componentes da caixilharia, o que permite a abertura e fecho da parte móvel da mesma de maneira segura e eficaz. Uma grande parte das anomalias detetadas nas caixilharias deve-se à má escolha e deficiente manutenção dos seus acessórios. Os acessórios podem ser fabricados em aço inox, latão, Alumínio extrudido, nylon, e em materiais lacados ou zincados como o Alumínio fundido (COSTA, 2013).



*Figura 14\_Exemplos de puxadores*



*Figura 15\_Exemplo de esquadro*



Figura 16\_Exemplos de dobradiças (COSTA, 2013)

Para que a durabilidade da solução não seja comprometida é preciso ter em atenção a compatibilidade dos materiais usados nos acessórios escolhidos com o principal material do caixilho.

## 2. Requisitos funcionais das caixilharias

A caixilharia é “o elemento que faz a transição entre as áreas opacas e as áreas envidraçadas e tem como principal função garantir a estanquidade e a operacionalidade dos vãos, contribuindo para a otimização do desempenho energético do edifício. Apesar de representar uma proporção aparentemente pequena na envolvente, as funções da caixilharia são extremamente importantes para o edifício” (Roxo, 2013), pois permitem a entrada de luz e a ventilação do edifício.

Tal como as características técnicas do vidro, a caixilharia, ao longo dos últimos anos tem vindo a apresentar uma evolução tecnológica muito significativa. Tem-se vindo a verificar uma melhoria da estanquidade e os materiais utilizados permitem controlar de forma mais eficaz a troca de calor entre o interior e o exterior de um edifício. Por outro lado, uma maior estanquidade obriga a definir uma estratégia da ventilação natural, de forma a garantir, no mínimo, as renovações de ar essenciais para a salubridade do ar interior. Segundo L. Tirone (2009), o conjunto das caixilharias do edifício é considerado um subsistema do edifício e deve atender a vários requisitos que influem no seu desempenho como, o isolamento térmico e acústico, a facilidade de utilização, a estabilidade estrutural, a manutenção, a estética, a segurança e a estanquidade.

Em seguida serão referidos os principais requisitos que as caixilharias devem cumprir para desempenharem eficientemente a sua função.

## 2.1. Resistência à ação do vento

Um dos aspetos mais importantes a ter em conta no dimensionamento de caixilhos são as solicitações do vento isto porque o vento é uma ação variável ao longo do tempo e pode provocar algumas perturbações como o aparecimento de folgas ou a descolagem de mástiques. Para prevenir esse tipo de situações, aquando da escolha da caixilharia, é importante ter em conta vários fatores como a localização, a orientação, e a altura a que esta se encontra acima do solo (COSTA, 2013).

O efeito da ação do vento num edifício é determinado tendo em conta a sua localização, a rugosidade característica do terreno, a altura da caixilharia acima do solo e o efeito de proteção que outras construções podem fornecer à fachada onde o vão de janela se encontra.

No que respeita à localização no território e segundo Viegas (2012), o RSA (Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes) faz a distinção de Portugal em duas regiões. A Região B compreende as Regiões Autónomas dos Açores e Madeira e as localidades situadas numa faixa costeira de 5km de largura ou de altitude superior a 600m. A Região A corresponde ao restante território nacional.

A rugosidade aerodinâmica do solo pode ser diferenciada pelo em três níveis (Viegas, 2012):

- Rugosidade I – Locais situados no interior de zonas urbanas em que predominem os edifícios de médio e grande porte;
- Rugosidade II – Generalidade dos restantes locais, nomeadamente as zonas rurais com algum relevo e periferia de zonas urbanas;
- Rugosidade III – Locais situados em zonas planas ou nas proximidades de extensos planos de água nas zonas rurais.

São consideradas apenas as caixilharias cuja altura acima do solo não ultrapasse os 100 m. Para edifícios próximos de terrenos com declives, o nível de referência a partir do qual é medida a altura é depende do declive do terreno e da distância do edifício a esse acidente geográfico. Nesse caso consideram-se três situações (Viegas, 2012):

- Quando o ângulo que o terreno inclinado faz com a horizontal for superior a  $60^\circ$ , o nível de referência a considerar corresponde à linha em traço interrompido indicado na seguinte figura.



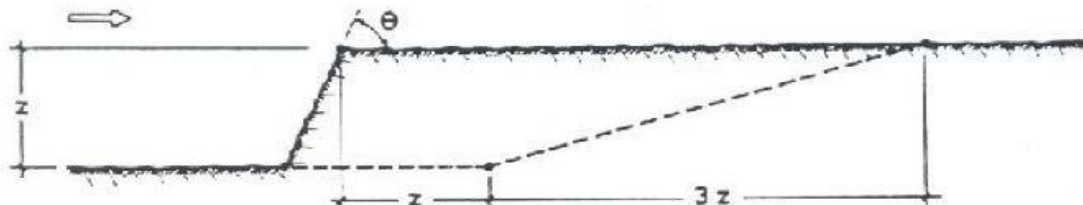


Figura 17\_ Nível de referência em terrenos de inclinação superior a 60º (Viegas, 2012)

- Quando o ângulo que o terreno faz com a horizontal estiver compreendido entre 15º e 60º, o nível de referência a considerar corresponde à linha a traço interrompido indicado na figura seguinte.

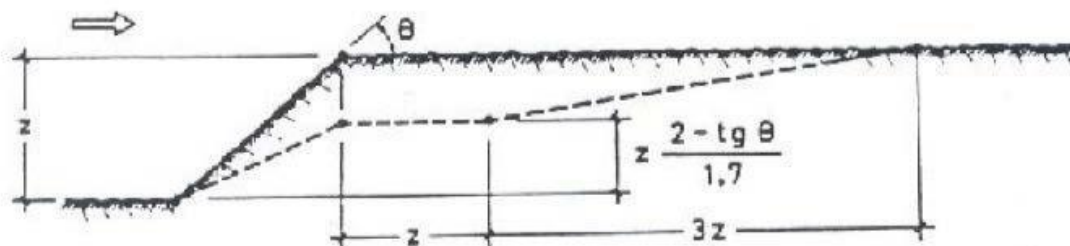


Figura 18\_ Nível de referência em terrenos de inclinação superior a 15º e inferior a 60º (Viegas, 2012)

- Quando o ângulo que o terreno faz com a horizontal for inferior a 15º, o nível de referência a considerar corresponde à superfície do terreno.

Outro fator importante a considerar é a proteção oferecida por outras construções. Para o efeito, recomenda-se as seguintes denominações (Viegas, 2012):

- Fachada abrigada, para uma linha de construções situada a uma distância máxima de 15 metros, a parte considerada da fachada não excede a altura dessas construções.

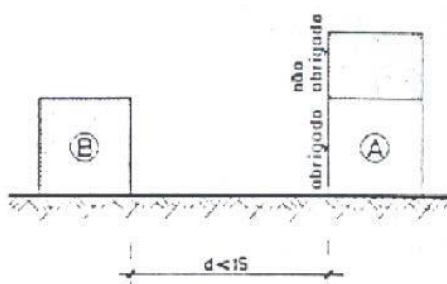


Figura 19\_ Proteção contra vento em edifícios a menos de 15m (Viegas, 2012)

- Fachada não abrigada, para uma linha de construções situadas a uma distância entre 15 a 30 metros, a parte considerada da fachada não excede a altura dessas construções deduzida a um terço do excesso além dos 15 metros da distância entre edifícios (Viegas, 2012).



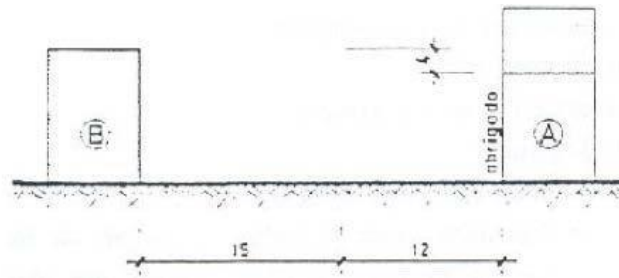


Figura 20\_ Proteção contra vento em edifícios entre 15m e 30m de distância (Viegas, 2012)

Para a quantificação da pressão do vento podem ser usados os valores da velocidade do vento especificados no RSA. Estes valores correspondem ao quantilho de 95% da distribuição dos máximos das velocidades médias do vento de rajada para um intervalo de tempo de referência de 5 anos (Viegas, 2012).

Os valores da pressão dinâmica do vento podem ser obtidos através do produto dos valores característicos do RSA, pelo coeficiente  $\psi$  com o valor de 0,7 para janelas e portas exteriores e no caso de fachadas leves pelo coeficiente  $\psi$  com o valor de 0,8. Como nas fachadas leves os custos pertencentes à sua reparação ou substituição são elevados, o intervalo de tempo de referência é 10 anos (Viegas, 2012).

Conforme Viegas (2012), os valores característicos da velocidade da rajada do vento  $v$  varia com a cota acima do solo ( $h$ ), de acordo com o tipo de rugosidade do solo:

$$\text{Rugosidade tipo I} \rightarrow v = 18 \left( \frac{h}{10} \right)^{0,28} + 14$$

$$\text{Rugosidade tipo II} \rightarrow v = 25 \left( \frac{h}{10} \right)^{0,20} + 14$$

Existe ainda a rugosidade tipo III, que não está definida no RSA e que se atribui aos locais em zonas planas ou próximos a extensos planos de água:

$$\text{Rugosidade tipo III} \rightarrow v = 32,4 \left( \frac{h}{10} \right)^{0,14} + 14$$

A pressão dinâmica do vento pode ser obtida por (Viegas, 2012):

$$P = 0,613 (\delta_{Pe} + \delta_{Pi}) v^2$$

A combinação mais desfavorável dos valores tabelados no RSA conduz a um coeficiente de pressão para uma janela colocada numa fachada de  $\delta_p = \delta_{pe} + \delta_{pi} = 1,4$  (Viegas, 2012).

De seguida são apresentados as tabelas dos valores de cálculo da pressão do vento atuante em janelas e portas exteriores (Tabela 4) e valores de cálculo da pressão do vento atuante em fachadas leves (Tabela 5).

Tabela 4\_ Estado limite último. Valor de cálculo da pressão do vento atuante em janelas e portas exteriores [Pa] (Viegas, 2012)

Cota	Região A			Região B		
	I	II	III	I	II	III
< 10m	1040	1340	1960	1280	1670	2370
10m a 15m	1040	1540	2120	1270	1860	2570
15m a 18m	1130	1620	2190	1360	1950	2660
18m a 28m	1320	1820	2400	1590	2200	2900
28m a 40m	1500	2010	2590	1810	2430	3130
40m a 50m	1620	2140	2710	1960	2590	3280
50m a 60m	1750	2250	2820	2100	2720	3400
60m a 70m	1840	2360	2910	2230	2850	3520
70m a 80m	1940	2450	2990	2350	2960	3620
80m a 90m	2030	2530	3070	2460	3070	3710
90m a 100m	2120	2610	3130	2570	3160	3790

Tabela 5\_ Estado limite último. Valor de cálculo da pressão do vento atuante em fachadas leves [Pa] (Viegas, 2012)

Cota	Região A			Região B		
	I	II	III	I	II	III
< 10m	1220	1590	2250	1470	1920	2720
10m a 15m	1220	1760	2430	1470	2130	2940
15m a 18m	1290	1850	2520	1570	2240	3050
18m a 28m	1510	2090	2760	1820	2520	3340
28m a 40m	1720	2300	2970	2080	2790	3590
40m a 50m	1860	2450	3110	2250	2970	3760
50m a 60m	2010	2590	3230	2410	3130	3910
60m a 70m	2120	2700	3340	2560	3270	4040
70m a 80m	2230	2810	3430	2700	3400	4150
80m a 90m	2330	2910	3530	2820	3520	4260
90m a 100m	2430	3000	3600	2950	3630	4350

Segundo Viegas (2012) para a verificação do estado limite de utilização no caso das janelas e portas exteriores, à ação do vento é associada ao quantilho de 98% da distribuição anual de máximos da velocidade do vento de rajada. Os valores da pressão dinâmica podem ser obtidos através do produto dos valores característicos do RSA pelo coeficiente  $\psi$  com o valor de 0,62. Para efeitos da verificação do estado limite de utilização, os valores de cálculo da pressão atuante em janelas e portas exteriores e em fachadas, em função da altura acima do solo, da região e do tipo de rugosidade do solo, de acordo com as especificações RSA encontram-se na Tabela 6 e na Tabela 7, respetivamente. Estes valores incluem o coeficiente de pressão  $\delta_p$  com o valor de 1,4 e o coeficiente de segurança  $\gamma_p$  com o valor de 1,0 (Viegas, 2012).

Tabela 6\_ Estado limite utilização. Valor de cálculo da pressão do vento atuante em janelas e portas exteriores [Pa] (Viegas, 2012)

Cota	Região A			Região B		
	I	II	III	I	II	III
< 10m	630	820	1150	750	980	1400
10m a 15m	630	910	1250	750	1100	1510
15m a 18m	660	950	1300	800	1150	1570
18m a 28m	780	1070	1420	940	1300	1710
28m a 40m	880	1190	1530	1070	1430	1850
40m a 50m	960	1260	1600	1160	1530	1930
50m a 60m	1030	1330	1660	1240	1610	2010
60m a 70m	1090	1390	1720	1320	1680	2070
70m a 80m	1150	1440	1760	1390	1750	2130
80m a 90m	1200	1500	1810	1450	1810	2190
90m a 100m	1250	1540	1850	1510	1870	2240

Tabela 7\_ Estado limite utilização. Valor de cálculo da pressão do vento atuante em fachadas leves [Pa] (Viegas, 2012)

Cota	Região A			Região B		
	I	II	III	I	II	III
< 10m	1000	1310	1850	1210	1580	2240
10m a 15m	1000	1450	2000	1210	1760	2420
15m a 18m	1070	1520	2080	1290	1840	2510
18m a 28m	1240	1720	2270	1500	2080	2750
28m a 40m	1410	1900	2440	1710	2300	2960
40m a 50m	1530	2020	2560	1860	2440	3100

50m a 60m	1640	2130	2660	1990	2580	3220
60m a 70m	1740	2230	2750	2110	2690	3320
70m a 80m	1840	2310	2830	2220	2800	3420
80m a 90m	1920	2400	2900	2330	2900	3500
90m a 100m	2000	2470	2960	2420	2990	3580

A verificação do estado limite de utilização relativo às deformações nos perfis é feita comparando a deformada imposta pela ação do vento obtida em laboratório com a deformação máxima admissível. As deformações máximas admissíveis a considerar devem ser as apresentadas na Tabela 8. A complexidade das secções, aliada aos inúmeros materiais utilizados para fazer com que uma caixilharia seja mecanicamente estável, aumenta a dificuldade em determinar quais os componentes que de facto contribuem para a resistência mecânica e em que proporção essa contribuição se dá. Por essa razão, os valores da Tabela 8 poderão até ser de valor superior aos reais, estando do lado da segurança (MARTINS, 2010).

*Tabela 8\_ Deformação relativa e absoluta máximas admissíveis em função do tipo de envidraçado (MARTINS, 2010)*

Deformação máxima admissível	Relativa	Absoluta
Portas e janelas exteriores com vidro simples	(1/150) *L	15 mm
Portas e janelas com vidros isolantes (duplos ou triplos)	(1/200) *L	11 mm
Fachadas leves	(1/200) *L	15 mm

Os ensaios feitos às janelas e portas pedonais exteriores devem ser realizados de acordo com a norma EN 12211 (2000) e os respetivos resultados classificados segundo a norma EN 12210 (1999).

Na norma EN 12210 (1999), relativamente às solicitações do vento, a classificação de janelas e portas tem seis classes, de 0 a 5, onde a classe 0 é relativa a caixilhos não-ensaiados e a classe 5 é relativa à pressão mais elevada. Está prevista ainda uma classe excepcional designada por Exxx, que se aplica quando o caixilho ensaiado consegue garantir pressões de ensaio superiores às previstas na norma, correspondendo o índice “xxx” ao valor de pressão de ensaio de deformação (Viegas, 2012).

Os valores das pressões-limites (em Pa) para cada classe, respetivamente para ensaios de deformação (P1) e de segurança (P3), são os seguintes:

- $P1 \leq 400$  e  $P3 \leq 600 \rightarrow 1$
- $400 < P1 \leq 800$  e  $600 < P3 \leq 1200 \rightarrow 2$

- $800 < P1 \leq 1200$  e  $1200 < P3 \leq 1800 \rightarrow 3$
- $1200 < P1 \leq 1600$  e  $1800 < P3 \leq 2400 \rightarrow 4$
- $1600 < P1 \leq 2000$  e  $2400 < P3 \leq 3000 \rightarrow 5$

Assim, recomenda-se que as caixilharias sejam selecionadas de acordo com a seguinte tabela:

Tabela 9\_ Seleção da classe de resistência ao vento de janelas e portas exteriores (Viegas, 2012)

Cota	Fachadas Abrigadas	Fachadas não abrigadas					
		Região A			Região B		
	I e II	I	II	III	I	II	III
10	2	2	3	4	3	3	4
15	2	2	3	4	3	4	5
18	2	2	3	4	3	4	5
28	2	3	4	4	3	4	5
40		3	4	5	4	5	B
50		3	4	5	4	5	B
60		3	4	5	4	5	B
70		4	4	5	4	5	B
80		4	5	5	4	5	B
90		4	5	A	5	A	B
100		4	5	A	5	A	B

Região A - A utilização de janelas de classe 5 é limitada a alturas até 80m;

Região B - A pressão de ensaio excede os valores previstos na norma, sendo necessário o seu cálculo caso a caso.

## 2.2. Permeabilidade ao ar

A permeabilidade ao ar nas caixilharias é uma exigência de grande importância para o conforto no interior do edifício, isto porque a ventilação natural do mesmo é feita em grande parte pelas caixilharias (Viegas, 2012).

Os vãos de caixilharia exteriores devem ser submetidos a ensaios de permeabilidade ao ar, segundo a norma EN 1026 (2000) e os respetivos resultados devem ser classificados de acordo com a norma EN 12207 (1999). Em folhas fixas das fachadas leves, devem ser submetidas a ensaio de permeabilidade ao ar segundo a norma EN 12153 (2000) e os respetivos resultados classificados segundo a norma EN 12152 (2002). Conforme a norma EN 12207 (1999) existem cinco classes de permeabilidade ao ar, numeradas de 0 a 4, sendo a classe 0 correspondente a caixilhos não-ensaiados e a classe 4 a caixilhos de menor permeabilidade ao ar (Viegas, 2012). Esta classificação é feita a partir da seguinte expressão:

$$\Delta P = \Delta P_{ref} \left( \frac{Q}{Q_{ref}} \right)^{3/2}$$

Em que,

$\Delta P$  - valor de diferença de pressão

$\Delta P_{ref}$  - valor da pressão de referência (100Pa)

Q - caudal de infiltração

$Q_{ref}$  - caudal de infiltração de referência.

Os valores das pressões-limites (em Pa) para cada classe de permeabilidade ao ar de janelas e portas exteriores para os respetivos caudais máximos de 10 m<sup>3</sup>/(h.m<sup>2</sup>) e de 20 m<sup>3</sup>/(h.m<sup>2</sup>), são os seguintes:

- $P_{0,1} \leq 9$  e  $P_{0,02} \leq 25 \rightarrow$  Classe 1
- $9 < P_{0,1} \leq 23$  e  $25 < P_{0,02} \leq 64 \rightarrow$  Classe 2
- $23 < P_{0,1} \leq 117$  e  $64 < P_{0,02} \leq 331 \rightarrow$  Classe 3
- $117 < P_{0,1}$  e  $331 < P_{0,02} \rightarrow$  Classe 4

Recomenda-se que as caixilharias sejam selecionadas de acordo com a seguinte tabela.

Tabela 10\_ Seleção da classe de permeabilidade ao ar (Viegas, 2012)

Cota	Fachadas abrigadas	Fachadas não abrigadas					
		Região A			Região B		
	I e II	I	II	III	I	II	III
10	1	1	2	2	1	2	2
15	1	1	2	2	1	2	2
18	1	1	2	2	1	2	3
28	1	1	2	2	2	2	3
40		2	2	3	2	2	3
50		2	2	3	2	2	3
60		2	2	3	2	3	3
70		2	2	3	2	3	3
80		2	2	3	2	3	3
90		2	3	3	2	3	3
100		2	3	3	2	3	3

De acordo com a norma EN 12152 (2002) para classificar folhas fixas das fachadas é considerada uma expressão semelhante à anterior. Os valores das pressões-limite (em Pa) para cada classe de permeabilidade ao ar, para o número de renovações

horárias do ar de 0,005 e 0,010 para o volume de influência da fachada, são (Viegas, 2012):

- $P_{0,1} \leq 20$  e  $P_{0,02} \leq 32 \rightarrow A1$
- $20 < P_{0,1} \leq 41$  e  $32 < P_{0,02} \leq 65 \rightarrow A2$
- $41 < P_{0,1} \leq 61$  e  $65 < P_{0,02} \leq 97 \rightarrow A3$
- $61 < P_{0,1} \leq 81$  e  $97 < P_{0,02} \leq 129 \rightarrow A4$
- $81 < P_{0,1}$  e  $129 < P_{0,02} \rightarrow AE$

A classe AE destina-se a situações em que as classes previstas na norma correspondem a um grau de exigência insuficiente (Viegas, 2012). Assim, recomenda-se que as folhas fixas das fachadas leves sejam selecionadas de acordo com a seguinte tabela:

Tabela 11\_ Seleção da classe de permeabilidade ao ar de folhas fixas de fachadas leves (Viegas, 2012)

Cota	Fachadas Abrigadas	Fachadas não abrigadas					
		Região A			Região B		
	I e II	I	II	III	I	II	III
10	A1	A1	A2	A3	A1	A2	A3
15	A1	A1	A2	A3	A1	A2	A3
18	A1	A1	A2	A3	A1	A2	A3
28	A1	A2	A2	A3	A2	A3	A4
40		A2	A3	A3	A2	A3	A4
50		A2	A3	A4	A2	A3	A4
60		A2	A3	A4	A2	A3	A4
70		A2	A3	A4	A3	A4	AE
80		A2	A3	A4	A3	A4	AE
90		A3	A3	A4	A3	A4	AE
100		A3	A3	A4	A3	A4	AE

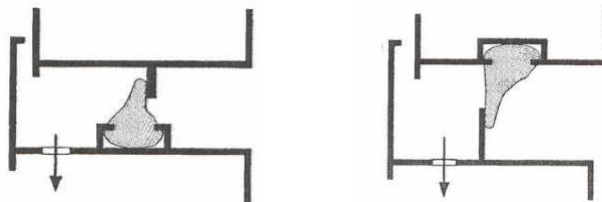
A falha desta exigência funcional é uma das principais causas do aparecimento de anomalias e patologias que afetam a caixilharia e os seus componentes, pelo que é muito importante que as indicações apresentadas sejam verificadas.

### 2.3. Estanquidade à água

A estanquidade à água é dos parâmetros mais relevantes dos caixilhos exteriores, isto porque os vãos não devem permitir a entrada de águas provenientes do exterior,

como as águas pluviais, para o interior do edifício. Para a melhoria desta exigência, recomenda-se o uso de proteções da fachada como beirais, ressaltos, pingadeiras e outros detalhes construtivos. Para evitar a passagem de água em juntas, juntas fixas, juntas entre o vidro e o perfil deverão ainda ser contemplados meios de união e selagem adequados (COSTA, 2013).

Para que um caixilho de Alumínio consiga ter um bom desempenho relativamente ao ensaio de estanquidade á água é preciso que este possua um método de vedação eficaz. O ensaio de verificação dessa exigência consiste no lançamento de jatos contínuos pelo lado exterior da janela, que vão aumentando de pressão até que a água acabe por passar para o interior da amostra de janela ensaiada. Segundo Verdelho (2005), nas janelas de abrir é recomendável a aplicação de uma só linha de vedação no batente interior, isto é, entre o perfil fixo e móvel existe um espaço que serve como câmara de descompressão e que onde a pressão deve ser igual à pressão exterior. A imagem seguinte mostra diferentes formas de realizar a vedação entre o perfil móvel e fixo de uma janela de batente, de forma a assegurar a eficaz drenagem da água.



*Figura 21\_ Tipos de concordâncias entre peças fixas e móveis de janelas de abrir (Verdelho, 2005)*

Nos perfis horizontais inferiores, a água infiltra na câmara de descompressão e é redirecionada para o elemento que permite a sua saída para o exterior, designada de pingadeira. A colocação da pingadeira é feita pelo processo de “cunhagem”, que consiste em furar o perfil, por forma a encaixar a pingadeira. A pingadeira deve cobrir a junta da forma mais eficaz possível e deve ter a forma indicada na Figura 22, de modo a impedir que a água, impelida pelo vento, possa contornar a extremidade e deslocar-se em direção à junta pela face inferior da pingadeira (Verdelho, 2005).

Para além das águas de infiltração é necessário assegurar também a recuperação das águas de condensação, logo as janelas devem admitir sobre toda a sua largura uma



travessa de apoio de peitoril que para além de garantir a recuperação das águas permita a eficaz evacuação destas águas de infiltração (Verdelho, 2005).

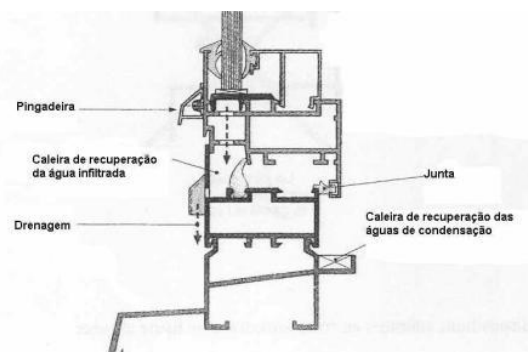


Figura 22\_ – Corte de um perfil em zona de peitoril (Verdelho, 2005)

As caixilharias de janelas e portas exteriores devem ser submetidas ao ensaio de estanquidade à água, segundo a norma EN 1027 (2000). Os resultados destes ensaios estão classificados de acordo com a norma EN 12208 (1998) (Viegas, 2012). Segundo a norma EN 1027 (2000) estão previstos dois métodos de ensaio correspondendo o método A à exposição total da janela à chuva e o método B à situação de janela abrigada, por exemplo sob um elemento saliente do plano da fachada ou um caixilho recolhido relativamente ao plano da fachada (COSTA, 2013).

De acordo com a norma EN 12208 (1999) existem dez classes de estanquidade à água, numeradas de 0 a 9, sendo a classe 0 correspondente a caixilhos não ensaiados e a classe 9 correspondente a caixilhos de estanquidade à água a pressão mais elevada. Existe ainda a classe Exxx, uma classe excecional, que se aplica a caixilharias de janelas e portas exteriores que revelem uma estanquidade à água para pressões superiores a 600Pa, onde o “xxx” deve corresponder ao valor da pressão de ensaio para o qual ainda ocorreu estanquidade (Viegas, 2012).

No ensaio de estanquidade à água a janela é submetida à aspensão de água ao mesmo tempo que são aplicadas pressões crescentes ao longo do tempo. A janela é considerada estanque quando não ocorrem infiltrações de água para o interior do compartimento. As folhas fixas das fachadas leves, devem ser submetidas a ensaio de estanquidade à água segundo a norma EN 12155 (2000) e os respetivos resultados classificados segundo a norma EN 12154 (1999). Nesta norma estão previstas quatro classes de estanquidade à água regulares, designadas de R4 a R7, correspondendo a classe R7 às folhas fixas de fachadas leves de estanquidade à água a pressão mais elevada (Viegas, 2012).

De acordo com as recomendações francesas relativas à seleção das janelas, estas devem-se manter estanques em condições meteorológicas suscetíveis de ocorrerem de 3 em 3 anos e as infiltrações de água devem ser reduzidas para as condições meteorológicas suscetíveis de ocorrer de 10 em 10 anos. Assim sendo, são considerados para valores das distribuições dos máximos das velocidades médias do vento para intervalos de 10 minutos cujas probabilidades de serem excedidas num ano são, respetivamente, 0,33 e 0,10 (Viegas, 2012).

Os valores da pressão dinâmica do vento podem ser obtidos através do produto dos valores característicos previstos no RSA, pelo coeficiente  $\psi$  com os valores 0,32, para a velocidade do vento cuja a probabilidade de ser excedida num ano é de 33% e de 0,45, para a velocidade do vento cuja probabilidade de ser excedida num ano a 10%. Os valores considerados para as pressões limites (em Pa), são (Viegas, 2012):

- $P_{0,33} \leq 50$  e  $P_{0,10} \leq 100 \rightarrow$  Classe 2
- $50 < P_{0,33} \leq 100$  e  $100 < P_{0,33} \leq 150 \rightarrow$  Classe 3
- $100 < P_{0,33} \leq 150$  e  $150 < P_{0,33} \leq 200 \rightarrow$  Classe 4
- $150 < P_{0,33} \leq 200$  e  $200 < P_{0,33} \leq 250 \rightarrow$  Classe 5
- $200 < P_{0,33} \leq 250$  e  $250 < P_{0,33} \leq 300 \rightarrow$  Classe 6
- $250 < P_{0,33} \leq 300$  e  $300 < P_{0,33} \leq 450 \rightarrow$  Classe 7
- $300 < P_{0,33} \leq 450$  e  $450 < P_{0,33} \leq 600 \rightarrow$  Classe 8
- $450 < P_{0,33} \leq 600$  e  $600 < P_{0,33} \leq 750 \rightarrow$  Classe 9
- $600 < P_{0,33}$  e  $750 \leq P_{0,10} \rightarrow$  Classe Exxx

É recomendado que as caixilharias sejam selecionadas de acordo com a seguinte tabela:

Tabela 12\_ Seleção da classe de estanquidade à água de janelas e portas exteriores (Viegas, 2012)

Cota	Fachadas abrigadas	Fachadas não abrigadas					
		Região A			Região B		
	I e II	I	II	III	I	II	III
10	2	3	3	5	3	4	6
15	2	3	4	6	3	4	7
18	3	3	4	6	3	5	7
28	3	3	5	7	4	6	7
40		4	5	7	4	6	7
50		4	6	7	5	7	8

60	4	6	7	5	7	8
70	5	6	7	6	7	8
80	5	7	7	6	7	8
90	5	7	8	6	7	8
100	6	7	8	7	8	8

De acordo com a norma EN 12154 (1999), os valores de pressões-limite (em Pa) para a classificação de folhas fixas de fachadas leves em relação à estanquidade, são:

Posto isto, os valores considerados para as pressões limites (em Pa), são:

- $P_{0,10} \leq 450 \rightarrow R6$
- $450 < P_{0,10} \leq 600 \rightarrow R7$
- $600 < P_{0,10} \leq 750 \rightarrow RE750$

Recomenda-se que as caixilharias sejam selecionadas de acordo com a seguinte tabela:

*Tabela 13\_ Seleção da classe de estanquidade à água de folhas fixas de fachadas leves (Viegas, 2012)*

Cota	Fachadas abrigadas	Fachadas não abrigadas					
		Região A			Região B		
	I e II	I	II	III	I	II	III
10	R6	R6	R6	R6	R6	R6	R6
15	R6	R6	R6	R6	R6	R6	R6
18	R6	R6	R6	R6	R6	R6	R6
28	R6	R6	R6	R6	R6	R6	R7
40		R6	R6	R7	R6	R6	R7
50		R6	R6	R7	R6	R6	R7
60		R6	R6	R7	R6	R7	RE <sub>750</sub>
70		R6	R6	R7	R6	R7	RE <sub>750</sub>
80		R6	R6	R7	R6	R7	RE <sub>750</sub>
90		R6	R7	R7	R6	R7	RE <sub>750</sub>
100		R6	R7	R7	R6	R7	RE <sub>750</sub>

## 2.4. Eficiência térmica

O coeficiente de transmissão térmica,  $U$ , representa a quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma superfície de área unitária da caixilharia por unidade de diferença de temperatura entre o interior e o exterior do edifício (COSTA, 2013).

O coeficiente de transmissão térmica pode ser determinado pelo método de ensaio da câmara quente de acordo com a norma EN ISO 12567-1 (2010), método de referência para janelas e portas, e com a norma EN ISO 12567-2, método de referência para janelas de cobertura. Pode também ser determinado por métodos de cálculo, segundo as normas EN ISO 10077-1 (2006) e EN ISO 10077-2 (2003) (COSTA, 2013). De acordo com o método simplificado da norma EN 10077-1, (2000), o coeficiente de transmissão térmica de caixilharia simples ( $U_w$ ) é calculado através de uma média ponderada. Esta média é realizada com os coeficientes de transmissão térmica da zona central do vidro ( $U_g$ ) e dos perfis da caixilharia ( $U_f$ ). No caso de panos de vidro múltiplos, existe ainda um efeito de ponte térmica criado pelo(s) espaçador(es) que deve ser contabilizado através de um coeficiente de transmissão linear ( $g$ ) apropriado. O coeficiente de transmissão térmica é calculado a partir da seguinte expressão (Vicente, 2012):

$$U_w = \frac{A_f \times U_f + A_g \times U_g + L_g \times \psi}{A_f \times U_g}$$

Em que,

$U_w$  – coeficiente global de transmissão térmica da janela [ $W/m^2.K$ ]

$U_f$  – coeficiente de transmissão térmica da caixilharia [ $W/m^2.K$ ]

$U_g$  – coeficiente de transmissão térmica do vidro [ $W/m^2.K$ ]

$\psi$  – coeficiente de transmissão térmica linear no bordo do vidro [ $W/m.K$ ]

$A_f$  – área da caixilharia visível [ $m^2$ ]

$A_g$  – área do vidro visível [ $m^2$ ]

$L_g$  – perímetro do vidro visível [ $m$ ]

De acordo com o Decreto-Lei n.º194/2015, de 14 de setembro e da Portaria n.º 379-A/2015, foram introduzidos requisitos energéticos obrigatórios nos vãos envidraçados, através da existência de coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis (valores  $U_w$  máx  $W/m^2.C$ ), conforme a Figura 23 .

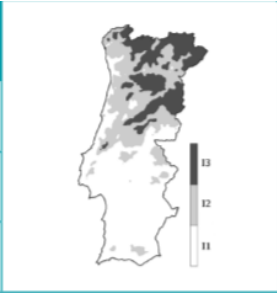
	A partir de 01 de Janeiro de 2016			
ZONA CLIMÁTICA	I1	I2	I3	
Vãos envidraçados (portas e janelas) Valores (Uw)	2,80	2,40	2,20	
Classes de permeabilidade ao ar	Classe 3	Classe 3	Classe 3	

Figura 23\_Requisitos energéticos obrigatórios para os vãos envidraçados (ANFAGE, 2015)

## 2.5. Isolamento acústico

O ruído influencia diretamente o modo de vida e a habitabilidade interior dos espaços. Assim sendo, surge a necessidade de classificar a caixilharia de acordo com o seu desempenho no isolamento acústico das fachadas. Existe a necessidade de se recorrer a experiências empíricas, que possibilitam uma aproximação do comportamento geral do sistema de caixilharia ensaiado. O ensaio experimental será assim realizado com base na norma EN ISO 140-3 (1995). Esta norma prevê a existência de dois locais (A, B), separados por um elemento de barreira (C). O resultado do método de ensaio é então obtido através da diferença entre o espectro sonoro emitido em A e o espectro sonoro recebido em B, sendo denominado o espectro de isolamento sonoro bruto (Vicente, 2012).

Em alternativa e na ausência de valores ensaiados, no Anexo B da norma EN 14351-1 (2006), o isolamento sonoro pode ser determinado usando dados de isolamento sonoro das unidades de vidro isolante e critérios de construção da janela recorrendo a valores tabelados. O resultado deste ensaio é apresentado na seguinte expressão (Vasconcelos, 2017):

$$RW(C;Ctr)$$

sendo,

Rw – índice de redução;

C - valor a somar a RW para ruídos provenientes do interior dos edifícios, ou de tráfego aéreo, para obter o respetivo índice de redução;

Ctr - valor de redução a somar a RW para ruídos de tráfego, para obter o respetivo índice de redução.

## 2.6. Resistência à ação do utilizador e força de manobra

Segundo o Viegas (2012), as folhas móveis das janelas devem ser submetidas a ensaios de força de manobra de acordo com a norma EN 12046-1 (2003), de resistência no plano da folha segundo a norma EN 14608 (2004) e de resistência à torção de acordo

com a norma EN 14609 (2004). Os resultados de cada um desses ensaios são classificados segundo a norma EN 13115 (2001). Nesta norma, em relação às ações de manobra, são previstas 3 classes de manobra, sendo a classe 0 de caixilhos não ensaiados e a 2 de caixilhos submetidos a ações menores. Relativamente à resistência no plano da folha e à resistência à torção, são previstas 5 classes, sendo a classe 0 de caixilhos não ensaiados e a classe 4 a de maior resistência.

As folhas móveis e portas exteriores devem ser submetidas aos ensaios de força de manobra, de resistência a cargas verticais, de resistência à torção e de resistência ao choque de corpo duro e mole de acordo com as normas EN 12046-2 (2000), EN 947 (1998), EN 948 (1998), EN 949 (1998) e EN 950 (1999). Os resultados são classificados de acordo com a EN 12217 (2003), onde estão previstas 5 classes de ações de manobra, sendo a classe 0 a de caixilhos não ensaiados e a classe 4 a de caixilhos submetidos a ações menores. Com a EN 1192 (1999) estão previstas 4 classes de resistência mecânica (de 1 a 4), sendo a classe 4 a de maior resistência (Viegas, 2012).

As partes fixas das fachadas leves devem ser submetidas ao ensaio de choque previsto na norma EN 14019 (2004) e classificado de acordo com os critérios lá referidos. Nesta norma estão previstas 6 classes de ações de manobra, sendo a classe 0 a corresponde a fachadas não ensaiadas e a classe 5 a correspondente aos caixilhos submetidos uma energia mais elevada (Viegas, 2012).

No que respeita aos esforços de manobra, de acordo com a EN 13115, (2001) é exigido o mínimo de classe 1 (com limites superiores de 100N para manobra da folha e respetivo puxador, 10 Nm para puxadores com manobra de rotação e 50N ou 5Nm para dispositivos comandados pelos dedos) para a manobra de folhas giratórias com 2 puxadores. O cumprimento da classe 2 é exigido (com limites superiores de 30N para manobra da folha e respetivo puxador, 5Nm para puxadores com manobra de rotação e 20N ou 2Nm para dispositivos comandados pelos dedos) para a manobra de folhas giratórias com 1 puxador. A classificação mínima a respeitar, segundo o Viegas (2012) para os esforços de manobra dos dispositivos é apresentada na Tabela 14.

*Tabela 14\_Classes mínimas a adotar para esforços de manobra de folhas móveis de janela (Viegas, 2012)*

Tipo de janela	Classes de força de manobra
Folhas giratórias com 1 puxador	Classe 2
Folhas giratórias com 2 puxadores	Classe 1
Folhas de correr de peitoril	Classe 2

Folhas de correr de sacada	Classe 1
Folhas de guilhotina	Classe 1
Outros tipos de folhas	Classe 1

O valor recomendado para a classificação dos resultados dos ensaios de torção estática é uma classe abaixo do valor recomendado para classificação dos resultados dos ensaios de força no plano da folha indicados na Tabela 15.

*Tabela 15\_ Classes mínimas a adotar para forças estáticas em janelas (Viegas, 2012)*

Tipo de janela	Força no plano da folha	Força horizontal
Folhas giratórias de eixo vertical	Classe 3	Classe 2
Folhas giratórias de eixo horizontal	Classe 2	Classe 1
Folhas com movimento de translação	Classe 1	Não Aplicável

As exigências de desempenho da UEAtc (1976) não previam os esforços de manobra mínimos que são agora previstas na EN 12046-2 (2000) e na respetiva norma de classificação EN 12217 (2003). Para além disso, deve ser previsto para caminho de evacuação que as portas sejam dotadas de dispositivos mecânicos não-motorizados (normalmente molas) de fecho automático. Recomenda-se então que as portas, que contenham dispositivos mecânicos não-motorizados de fecho automático, bem como as folhas de porta de correr, cumpram os requisitos mínimos da classe 2. A classificação recomendada, para os esforços de manobra é apresentada da no quadro da Tabela 16.

*Tabela 16\_ Classes mínimas a adotar para esforços de manobra de folhas móveis de portas (Viegas, 2012)*

Tipo de janela	Classes de força de manobra
Folhas de portas providas de dispositivos mecânicos não motorizados de fecho automático	Classe 1
Folhas de correr de portas	Classe 1
Restantes folhas de portas	Classe 2

Na Tabela 17 será apresentada a classificação recomendada, para a resistência mecânica das folhas de portas exteriores.

Tabela 17\_ Classes mínimas a adotar para a resistência mecânica das folhas de portas exteriores (Viegas, 2012)

Tipo de janela	Classes de força de manobra
Força no plano da folha	Classe 2
Força de torção estática	Classe 2
Choque de corpo mole	Classe 3
Choque de corpo duro	Classe 4

Segundo a norma EN 14019 (2004), a realização de ensaios de choque prevê uma altura máxima de queda de 0,95 m que corresponde à energia de 465 J. Nas partes das fachadas apenas acessíveis pelo interior é exigida a sua resistência a impactos interiores. No caso de serem também acessíveis pelo exterior (quando a parte inferior da fachada se encontra a menos de 2,5 m do solo) devem apresentar resistência a impactos, quer pelo exterior quer pelo interior. A forma de fixação dos elementos submetidos ao ensaio de choque pode ser tal que a evidência da resistência ao choque de um dos lados seja suficiente para permitir concluir que esse elemento é também resistente ao choque do outro lado, sendo assim dispensável a duplicação do ensaio (Viegas, 2012).

No âmbito do presente trabalho, estes critérios de seleção são muito importantes uma vez que influenciam significativamente a garantia de durabilidade e do bom funcionamento da caixilharia. A falha desta exigência funcional é uma das principais causas do aparecimento de anomalias e patologias que afetam a caixilharia e os seus componentes. Na figura seguinte apresentam-se algumas das possíveis anomalias provocadas por manuseamento incorreto, utilização de materiais de baixa qualidade e escolha inadequada do perfil, materiais, geometria ou sistema de caixilho em função do vão (COSTA, 2013).



Figura 24\_ – Degradação de dobradiças e dos mecanismos de abertura e fecho



## 2.7. Durabilidade mecânica

A durabilidade mecânica refere-se à resistência a manobras repetidas de abertura e fecho, isto é a capacidade que os dispositivos de abertura e fecho têm de assegurar o bom funcionamento dos mesmos durante o período de vida útil para o qual foram projetados (COSTA, 2013).

As janelas e portas exteriores devem ser submetidas ao ensaio de durabilidade mecânica segundo a norma EN 1191 (2000) e os respetivos resultados devem ser classificados de acordo com a norma EN 12400 (2002). A norma do produto de janelas e portas exteriores EN 14351 (2008) refere que devem ser adotadas individualmente as normas dos materiais e dos componentes para a avaliação dos aspetos de durabilidade (Viegas, 2012).

Segundo as diretivas UEAtc para homologação de janelas deve ser realizado um ensaio de durabilidade mecânica que consiste na abertura e fecho da folha móvel da janela durante 10000 ciclos, que corresponde a um ciclo por dia durante cerca de 27 anos.

As classes de durabilidade mecânica à intensidade de utilização para folhas móveis e portas exteriores, deve estar conforme a norma EN 12400 (2002), cumprindo os níveis de qualidade do coeficiente de transmissão térmico para cada zona climática, conforme expresso na tabela seguinte.

Tabela 18\_ Níveis de qualidade do coeficiente de transmissão térmica para cada zona climática (Viegas, 2012)

Classes	Nº Ciclos	Intensidade de Utilização	
		Janelas	Portas
Classe 1	5000	Reduzida	Ocasional
Classe 2	10000	Moderada	Reduzida
Classe 3	20000	Elevada	Pouco frequente
Classe 4	50000		Moderada
Classe 5	100000		Normal
Classe 6	200000		Frequente
Classe 7	500000		Elevada
Classe 8	1000000		Severa

Estes critérios de seleção também são particularmente relevantes no presente trabalho, uma vez que a falha desta exigência pode causar o aparecimento de anomalias que afetam a funcionalidade das caixilharias.

## 2.8. Segurança contra incêndios – reação ao fogo

A capacidade que os componentes têm para se opor à ação de um incêndio, define a resistência ao fogo. Os 4 critérios para a classificação de caixilharias segundo a Comissão Europeia de 3 de Maio de 2000 sobre a Diretiva 89/106/CEE são a resistência mecânica, R, a estanquidade às chamas e gases quentes, E, o isolamento térmico, I, e a radiação, W (MARTINS, 2010).

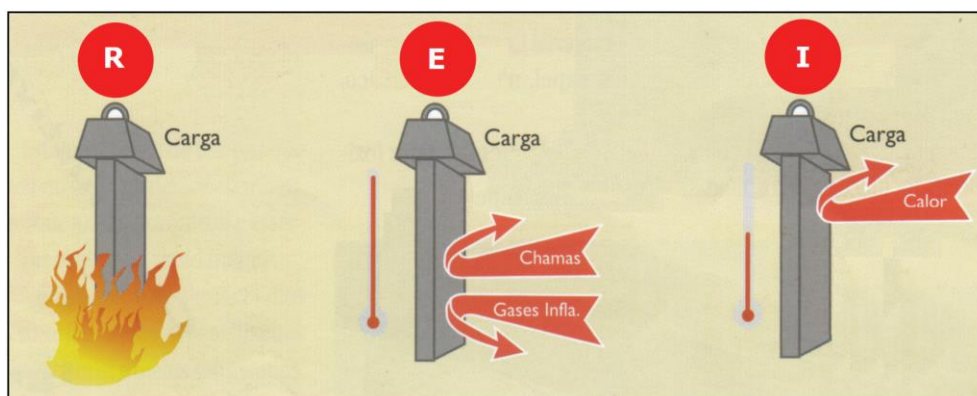


Figura 25\_Critérios de classificação de resistência ao fogo (SERC)

Por último a classificação em relação à resistência ao fogo é concluída com a atribuição do tempo em minutos que a caixilharia resiste, segundo a seguinte escala: 15, 20, 30, 45,60, 90,120, 180, 240 ou 360. A resistência ao fogo é assim definida pelo tempo de resistência às chamas de um dado material e pela sua inflamabilidade. Para assegurar um adequado comportamento ao fogo, as caixilharias devem ser ensaiadas de acordo com a norma EN 13501 (2007). As classes de reação ao fogo de materiais de construção, denominadas de euroclasses, são as seguintes (COSTA, 2013):

- A1 – Nenhuma contribuição para o fogo
- A2 – Contribuição quase nula para o fogo
- B - Contribuição para o fogo muito limitada
- C – Contribuição para o fogo limitada
- D – Contribuição para o fogo aceitável
- E – Reação ao fogo aceitável
- F – Comportamento não determinado

Essa classificação deve ainda ser complementada com uma classificação relativa à reação ao fogo dos materiais de construção, que engloba uma classe relativa à produção de fumos (s1, s2 e s3) e outra relativa à queda de gotas ou partículas inflamadas (d0, d1 e d2), conforme se apresenta na Tabela 19.

Tabela 19\_ Definição das classes de fumos e de classes de gotas ou partículas inflamadas (COSTA, 2013)

Fumos	s1	Taxa de propagação de fumos $\leq 30\text{m}^2/\text{s}^2$ e produção total de fumo $\leq 50\text{m}^2$
	s2	Taxa de propagação de fumos $\leq 180\text{m}^2/\text{s}^2$ e produção total de fumo $\leq 200\text{m}^2$
	s3	Nem s1 nem s2
Queda de gotas/partículas inflamadas	d0	Não se verifica a libertação de gotas/partículas inflamadas no ensaio EN 13823 em 600s
	d1	Não se verifica a libertação de gotas/partículas inflamadas com duração a 10s no ensaio EN 13823 em 600s
	d2	Nem d1 nem d2

A Tabela 20 apresenta de forma resumida os métodos de ensaio, os critérios de classificação e as classificações complementares associados a cada uma das classes.

Tabela 20\_ Euroclasses de reação ao fogo com métodos de ensaio, critérios de classificação e classificação (MARTINS, 2010)

Classe	Método de ensaio	Crítérios de classificação	Classificação complementar
A1	(EN ISO 1182, 2010) (EN ISO 1716, 2010)	$\Delta T \leq 30^\circ\text{C}$ $\Delta m \leq 50\%$ $T_i=0$ (ausência de chamas persistentes) $\text{PCS} \leq 2,0\text{MJ.Kg}^{-1}$ $\text{PCS} \leq 2,0\text{ MJ.Kg}^{-1}$ $\text{PCS} \leq 1,4\text{ MJ.m}^{-2}$ $\text{PCS} \leq 2,0\text{ MJ.Kg}^{-1}$	-
A2	(EN ISO 1182, 2010)	$\Delta T \leq 50^\circ\text{C}$ $\Delta m \leq 50\%$ $t_f \leq 20\text{ s}$	-
	(EN ISO 1182, 2010) (EN 13823, 2010)	$\text{PCS} \leq 3,0\text{ MJ.Kg}^{-1}$ $\text{PCS} \leq 4,0\text{ MJ.m}^{-2}$ $\text{PCS} \leq 4,0\text{ MJ.m}^{-2}$ $\text{PCS} \leq 3,0\text{ MJ.Kg}^{-1}$	-
	(EN ISO 1182, 2010) (EN 13823, 2010)	$\text{FIGRA} \leq 120\text{ W.s}^{-1}$ LFS < bordo do provete	

		THR <sub>600s</sub> ≤ 7,5 MJ	Produção de fumo: s1, s2 ou s3 e Gotas ou partículas inflamadas: d0,d1 ou d2
B	(EN 13823, 2010) (EN ISO 11925-2, 2010) Exposição = 30s	FIGRA ≤ 120 W.s <sup>-1</sup> e LFS < bordo da provete e THR <sub>600s</sub> ≤ 7,5 MJ FS ≤ 150mm em 60s	Produção de fumo: s1, s2 ou s3 e Gotas ou partículas inflamadas: d0,d1 ou d2
C	(EN 13823, 2010) (EN ISO 11925-2, 2010) Exposição =30s	FIGRA ≤ 250 W.s <sup>-1</sup> e LFS < bordo da provete e THR <sub>600s</sub> ≤ 15 MJ FS ≤ 150mm em 60s	Produção de fumo: s1, s2 ou s3 e Gotas ou partículas inflamadas: d0,d1 ou d2
D	(EN 13823, 2010) (EN ISO 11925-2, 2010)	FIGRA ≤ 750 W.s <sup>-1</sup> FS ≤ 150mm em 60s	Produção de fumo: s1, s2 ou s3 e Gotas ou partículas inflamadas: d0,d1 ou d2
E	(EN 13823, 2010) (EN ISO 11925-2, 2010) Exposição =15s	FS ≤ 150mm em 60s	Gotas ou partículas inflamadas: n/class ou d2
F	Desempenho não determinado		

ΔT – aumento da temperatura (°C)

Δm – perda de massa (%)

t<sub>i</sub> – tempo de presença da chama – duração da chama persistente (s)

PCS – poder calorífico superior (MJ kg<sup>-1</sup>; MJ kg<sup>-2</sup> ou MJ m<sup>-2</sup>)

FIGRA – taxa de propagação do fogo (W.s<sup>-1</sup>)

THR<sub>600s</sub> – calor total libertado em 600 s (MJ)

LFS – propagação lateral das chamas – comparado com o bordo da amostra (m)

TSP<sub>600s</sub> – produção de fumo em 600s (m<sup>2</sup>)

Como o vidro é incombustível, é considerado de classe A1, pois não contribui de nenhuma forma para propagar ou provocar fogo. A caixilharia já deve obedecer a classe mínima, ou seja, a caixilharia deve ter classe igual ou superior a estas D s3 d0 para edifícios com altura inferior a 28 metros e a C s3 d0 para edifícios com altura superior a 28 metros (COSTA, 2013).

## 2.9. Resistência à intrusão

As janelas e portas exteriores devem garantir a privacidade dos ocupantes, devendo por isso dificultar ao máximo a entrada de pessoas estranhas.

As Normas 1628 (1999), 1629 (1999) e 1630 (1999) regulam os ensaios que classificam o tempo de intrusão pelas janelas, dependendo do tipo de ferramentas que o intruso usar. A classificação dos resultados dos ensaios vem definida na norma ENV 1627 (COSTA, 2013).

### 3. Ciclo de vida de caixilhos de Alumínio e PVC

A sustentabilidade na construção tem um papel muito importante na integração com o meio ambiente, adaptando-se às necessidades de uso, produção e consumo, sem esgotar os recursos naturais, além de adoção de soluções que propiciem edificações económicas e de bem-estar social. Para Ribeiro (2012), a construção sustentável passa pela escolha de materiais ambientalmente corretos, com menor deposição de resíduos na fase final do edifício, o uso de tecnologias de baixo impacto, o cumprimento das normas, o uso consciente de água e energia, o conforto ambiental em todas as fases e de preferência que tenham uma elevada capacidade de reutilização ou reciclagem. No âmbito deste trabalho, conhecer o ciclo de vida da caixilharia é um fator muito importante, uma vez que pode influenciar a decisão.

O ciclo de vida representa todo o decurso feito por qualquer produto desde a extração de recursos e produção de materiais, fabricação da caixilharia, a sua utilização no período de vida útil até à sua desconstrução / remoção e deposição final dos resíduos em lixeira / aterro sanitário e reciclagem.

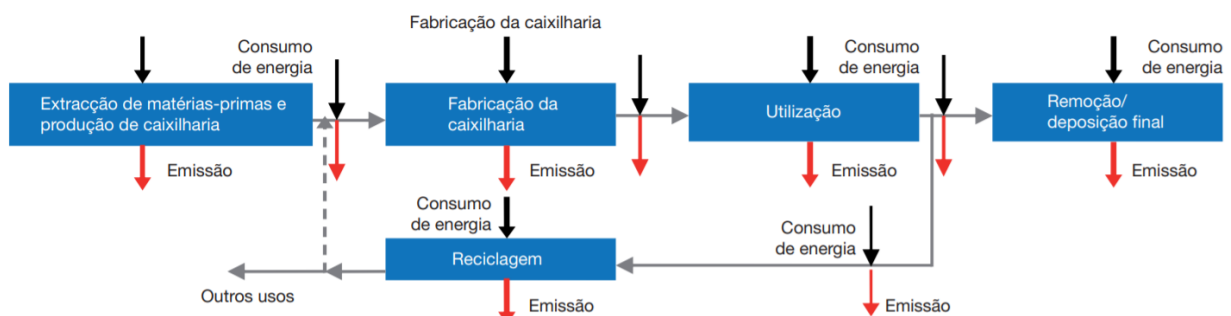


Figura 26\_Ciclo de vida de caixilharia (Gomes & Rodrigues)

Neste capítulo será apresentada uma descrição do ciclo de vida de caixilharia dos dois materiais mais usados em perfis de caixilharia: o Alumínio e o PVC.

#### 3.1. Caixilharia de Alumínio

##### 3.1.1. Ciclo de vida do alumínio

O ciclo de vida do Alumínio vai desde a extração da bauxita até à sua reciclagem. Na Figura 27 está representado o Ciclo de Vida do Alumínio.

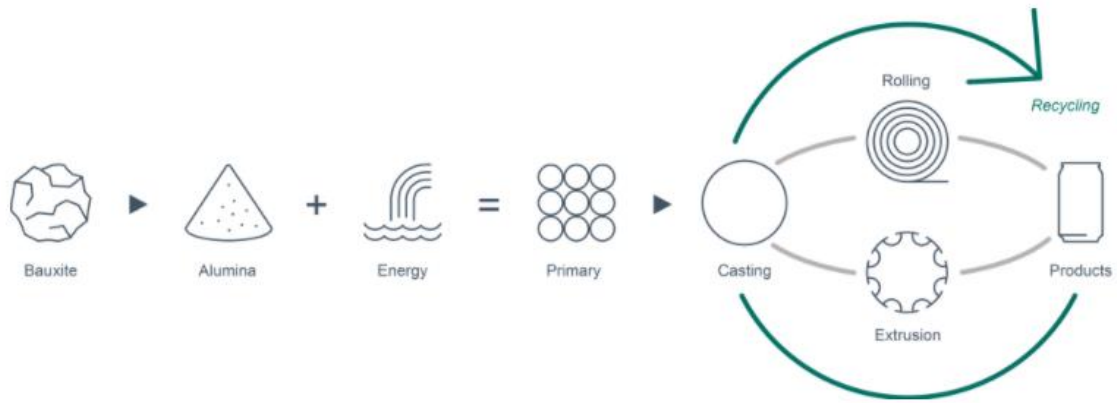


Figura 27\_Ciclo de Vida do Alumínio (Hydro, 2019)

A bauxita é uma rocha vermelha formada principalmente por óxido de Alumínio ( $Al_2O_3$ ) e outros compostos em menores quantidades, como sílica, dióxido de titânio, óxidos de ferro e silicato de Alumínio. Este minério é formado pela decomposição, isto é, a separação em pequenas partículas, de rochas alcalinas. Durante milhões de anos a chuva infiltrou-se na rocha originando esta decomposição (Cardoso). Em resultado desse processo, as rochas transformaram-se num tipo de terra, composta principalmente de óxido de Alumínio hidratado (alumina) misturado com óxido de ferro, sílica, titânio e outras impurezas. Segundo Rodrigues (2008), antes de proceder à extração da bauxita, a terra e a vegetação acumuladas sobre o depósito de bauxita são retiradas com o auxílio de retroescavadoras e o terreno nivelado com motoniveladoras. A lavra consiste na extração do minério propriamente dito utilizando escavadoras hidráulicas e deve ser feita depois de se remover uma camada superficial de solo com uma espessura que varia entre 10 a 50 cm. A superfície retirada poderá ser usada novamente para a recuperação da área lavrada (Rodrigues, 2008). O método de remoção da camada superficial de terreno pode ser visualizado na Figura 28.



Figura 28\_ Remoção da camada superficial (Rodrigues, 2008)

Depois de extraída, a bauxita é colocada em pilhas de homogeneização, através de correias transportadoras e de empilhadoras automáticas (*strackers*), que permitem equilibrar todos os lotes provenientes de diversas locais de mineração (Rodrigues, 2008).



Figura 29\_ Stracker ou empilhadora automática (Rodrigues, 2008)

Após o material ficar homogeneizado é transportado para a fábrica através de caminhões ou de minerodutos. Apesar de ser considerado menos poluente que a utilização de meios rodoviários, o mineroduto utiliza muita água e energia para bombear o minério, neste caso a bauxita (Rodrigues, 2008).





Figura 30\_Mineroduto de 244 km que atravessa cinco municípios da mineradora da Hydro em Paragominas até a refinaria Hydro Alunorte, em Barcarena (Hydro, 2019)

Para a obtenção de Alumina, a bauxita, passa por um processo realizado na refinaria, onde é transformada em alumina calcinada. Este processo, atualmente utilizado, é conhecido por processo Bayer e foi inventado por Karl Bayer, em 1890. De acordo com o esquema apresentada na Figura 31, representativo do Processo Bayer, a Bauxita é lavada, moída e dissolvida em soda cáustica (hidróxido de sódio) em alta pressão e temperatura. O líquido resultante contém uma solução de aluminato de sódio e resíduos de bauxita não dissolvidos como o ferro, silício e titânio. Estes afundam gradualmente até o fundo do tanque e são removidos (Rodrigues, 2008).

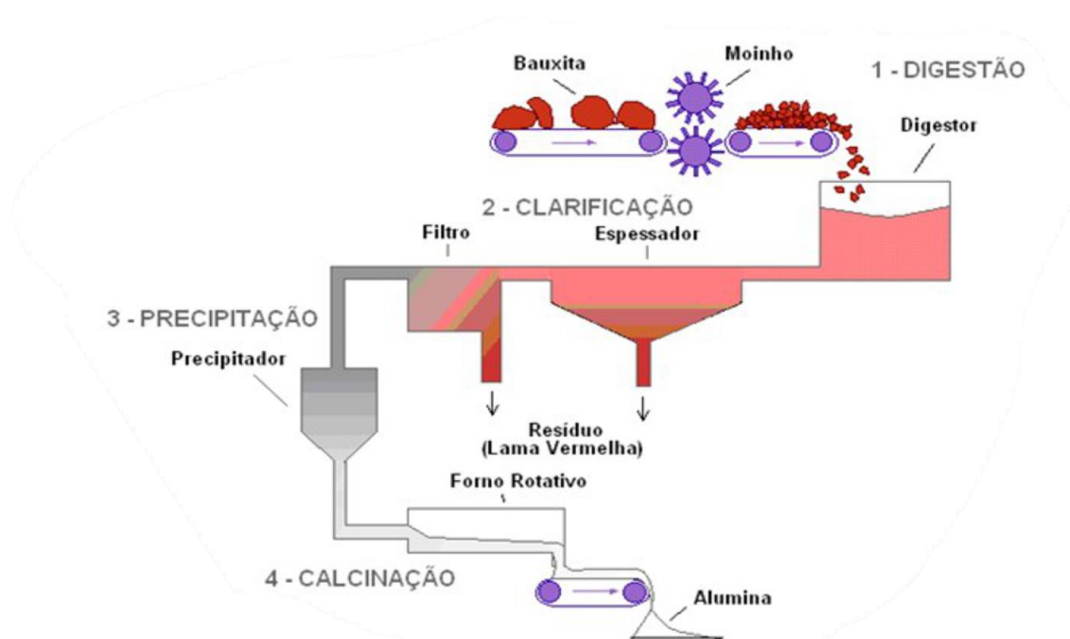


Figura 31\_ Esquema Representativo do Processo Bayer (SCIELO, 2020)



A solução clara de aluminato de sódio é bombeada num enorme tanque chamado precipitador. As partículas finas de alumina são adicionadas à precipitação de partículas de alumina pura à medida que o líquido arrefece. O material cristalizado obtido é em seguida lavado e posteriormente seco em fornos rotativos aquecidos a 1100° (calcinação) obtendo-se assim, a alumina (óxido de Alumínio) de elevado grau de pureza 99,5/99,6%. 99,5/99,6% (Santos J. , 2007).



*Figura 32\_Alumina*

A alumina é então levada às cubas eletrolíticas, onde se obtém o Alumínio por processo eletrolítico, que consiste em extrair o metal do seu óxido.



*Figura 33\_Cubas eletrolíticas (Rodrigues, 2008)*

De seguida, o material é encaminhado para a fundição que consiste no aquecimento do metal sólido até ao seu ponto de fusão. É na fundição que se preparam as

diferentes ligas de Alumínio, destinadas a diferentes tipos de produtos e aplicações. Ainda em estado líquido, o Alumínio é colocado em moldes e arrefecido até se solidificar, e são produzidos os lingotes de extrusão, lingotes de laminagem ou ligas de fundição, dependendo do uso a dar ao Alumínio (Rodrigues, 2008).

### 3.1.2. Produção de perfis para caixilharia

Para produzir perfis de caixilharia, são utilizados lingotes de extrusão. O processo de extrusão é um processo de transformação a quente de cilindros de liga de Alumínio (biletas) em perfis, através da sua compressão contra uma ferramenta, designada matriz, que lhe vai conferir a forma desejada. O processo reduz custos, pois elimina operações posteriores de usinagem ou junção, e possibilita a aquisição de seções mais resistentes pela adequada eliminação de juntas frágeis e uma melhor distribuição de metal.

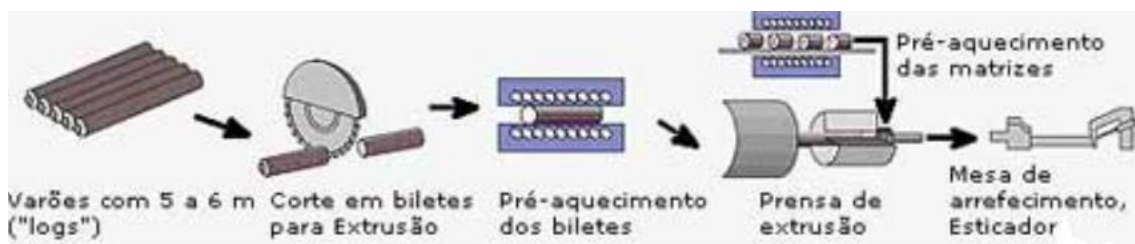


Figura 34\_ Representação do funcionamento de extrusora de Alumínio (Faria, s.d.)

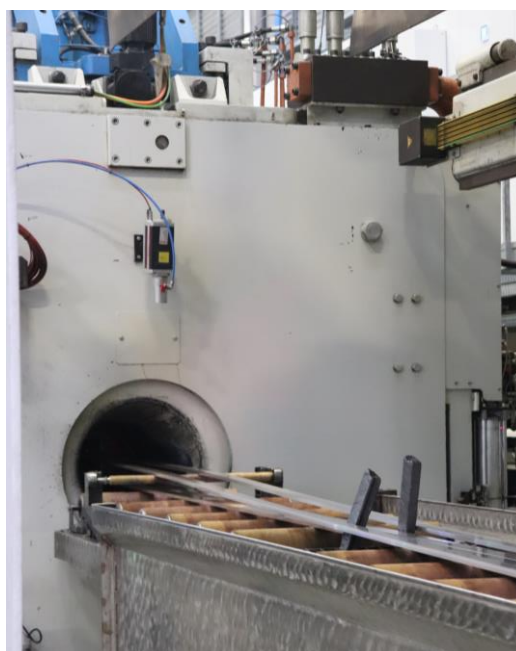


Figura 35\_Saída de perfis extrudidos da extrusora

Entre os principais tipos de produtos extrudidos estão perfis sólidos, tubulares e semi-tubulares. Os perfis de Alumínio para construção civil são amplamente requisitados em aplicações como: janelas, portas, portões, estruturas, corrimãos, fachadas, calhas, móveis, coberturas, cantoneiras, luminárias entre outros. Na Figura 36 está exemplificado a aplicação de perfis de caixilharia de Alumínio com rotura térmica em fachadas.



Figura 36\_ Caixilharia no Mercado Bom Sucesso do Porto

### 3.1.3. Tratamentos de superfície para perfis extrudidos

O acabamento da superfície para perfis extrudidos pode ser feito através de lacagem, anodização ou sublimação, conforme se passa a referir.

#### *Lacagem*

A lacagem é um processo de pintura eletrostático executado com tintas em pó de poliéster. No processo de lacagem, os perfis de Alumínio podem adquirir variadas cores em função da tinta em pó aplicada, característica que confere ao processo de lacagem uma variedade estética incalculável. A lacagem compõe-se de um ciclo de pré-tratamento químico efetuado por imersão ou aspersão, cujas principais finalidades são preparar os perfis para a pintura, protegê-los (com uma proteção anticorrosiva) e maximizar a adesão da tinta.

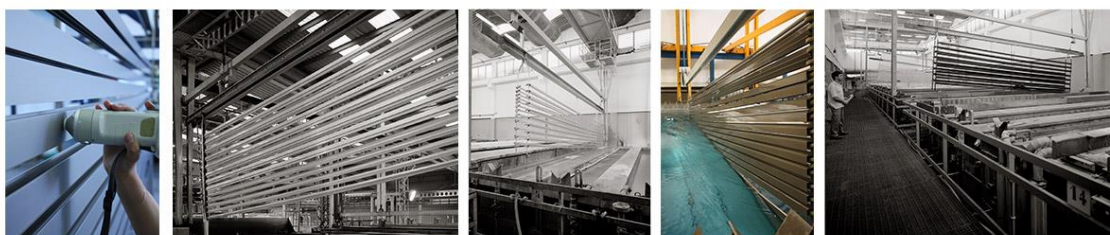
Posteriormente é aplicada a tinta em pó através de uma pistola de pintura eletrostática, que cria uma ligação elétrica efémera tinta/substrato até ao final do processo de lacagem, que termina no forno de polimerização, que finalmente "fixa a cor", depois da cura (polimerização) da "tinta em pó" (APAL, 2020).



*Figura 37\_Representação do processo de lacagem*

### *Anodização*

Segundo o APAL (2020) o processo de anodização cria uma película porosa de óxido sobre o substrato de Alumínio aquando da sua imersão num banho eletrolítico. A película que é posteriormente colmatada (os poros são totalmente tapados) na fase final do processo de tratamento de superfície. Esta camada de óxido criada, devidamente colmatada, cria uma barreira à oxidação do substrato de Alumínio, criando uma das principais características deste tratamento: a sua durabilidade. Por causa disso, este tratamento de superfície abrange um amplo espectro de aplicações, tal como a anodização para fins arquitetónicos (janelas, portas, fachadas, etc.) na construção civil.



*Figura 38\_ Anodização de perfis de Alumínio (APAL, 2020)*

### *Sublimação*

Para garantir um acabamento dos caixilhos de Alumínio semelhante à madeira tradicional, é utilizada a sublimação, um processo industrial realizado após a etapa da pintura base. Neste processo os perfis de Alumínio, já pintados com uma tinta especial, são envolvidas num plástico filme e recebem a aplicação dos desenhos que conferem



a cor e o padrão da madeira escolhida. Depois, através de um processo de transferência de calor, dá-se uma sublimação, em que a tinta da película plástica é transferida para as faces pintadas dos perfis de Alumínio. A Figura 39 apresenta alguns exemplos desse tipo de acabamento, como diferentes cores de “efeito madeira”.



Figura 39\_Gama de cores efeito madeira

#### 3.1.4. Montagem do caixilho

Na fase de montagem, os perfis de Alumínio são cortados e sarrafeados e são feitas as cunhagens para a colocação de goteiras e outros elementos que constituem a janela.

O principal problema da aplicação do Alumínio é ser um bom condutor de calor, limitação essa que pode ser ultrapassada pelo uso de elementos térmicos como poliamidas, que possibilitam a produção de caixilharias com elevado grau de isolamento térmico. Por norma as poliamidas encontram-se entre dois perfis em Alumínio como representado na Figura 40.

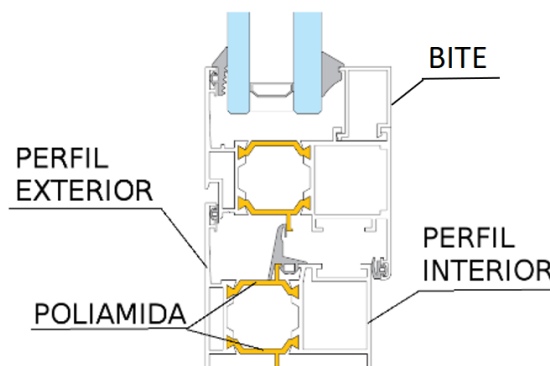


Figura 40\_Representação em corte de um perfil com corte térmico (Caixifácil, 2020)

O facto da poliamida ou outros elementos térmicos estarem no meio do aro fixo e móvel cria uma barreira que dificulta a condutibilidade térmica do caixilho.

### 3.1.5. Instalação de caixilharia

Chegando à fase de instalação de um caixilho é importante ter em atenção todo o conjunto de procedimentos precedentes que convergem para que seja assegurado o desempenho mecânico, funcional e de durabilidade adequados para a obra, para o local e para a utilização razoavelmente previsível. De acordo com Pereira (2004), para que a qualidade desejável seja atingida, deve ter-se em conta a localização do edifício e o seu tipo de utilização. O processo de instalação da caixilharia exterior de qualquer material engloba as seguintes fases (Pereira, 2004):

- Seleção dos componentes pelos seus aspetos mecânicos, funcionais e de durabilidade;
- Verificação da adequação do projeto de execução da caixilharia e do respetivo projeto de montagem em obra;
- Verificação da adequação do processo de execução da caixilharia e do respetivo processo de montagem na obra.

As exigências de desempenho aplicáveis aos caixilhos de Alumínio são as correntemente aplicáveis a janelas de qualquer outro material. Considerando as características individuais do Alumínio, alguns dos requisitos são particularmente relevantes para este material, como as exigências de desempenho térmico, de estanquidade à água e de durabilidade e manutenção (Verdelho, 2005). A seguir, analisar-se-á os requisitos e as normas a serem seguidas para garantir o cumprimento dos mesmos.

A caixilharia com rotura térmica é composta por dois perfis de Alumínio, um interior e outro exterior ligados por duas peças de baixa condutibilidade, conhecidas por poliamidas ou peças de corte térmico. Geralmente em Portugal, os sistemas certificados de corte térmico utilizam um polímero com base em poliamida reforçada com fibra de vidro (Verdelho, 2005). A seguinte tabela apresenta as exigências de resistência mecânica e respetivos métodos de ensaio.

*Tabela 21\_ Exigências de resistência mecânica (Verdelho, 2005)*

<b>Características</b>	<b>Unidade</b>	<b>Método de Ensaio</b>	<b>Exigências</b>
Resistência à tracção	N/mm	Guide Technique pour l'agrément des fenêtres avec profilés métalliques à performances thermique améliorées	≥ 100
Resistência ao corte	N/mm		≥ 35
Constante de elasticidade	N/mm <sup>2</sup>		≥ 35

Enquanto as peças de corte térmico devem cumprir as exigências reunidas na tabela 3:

Tabela 22\_ Exigências de resistência para peças de corte térmico (Verdelho, 2005)

Características	Unidade	Método de Ensaio	Exigências
Temperatura do ponto de fusão	°C	ISSO 3146 Método C	250 ±5
Determinação do teor de fibra de vidro	%	NP2216	25 ±3
Curva termogravimétrica	-	Análise termogravimétrica	Curva correspondente à do polímero poliamida 6.6

De acordo com a norma NF P24 – 301, (1980) as ligações das janelas metálicas devem ser rígidas, estanques e bem niveladas. Geralmente a ligação feita em janelas de abrir ou fixas de Alumínio é designada de ligação por esquadria e une dois perfis com a mesma secção. Depois do corte a 45° de uma extremidade de perfil, o esquadro é introduzido no interior dos perfis de forma a colocá-los unidos. De seguida a esquadria é reforçada através de parafusos ou cavilhas (Verdelho, 2005).

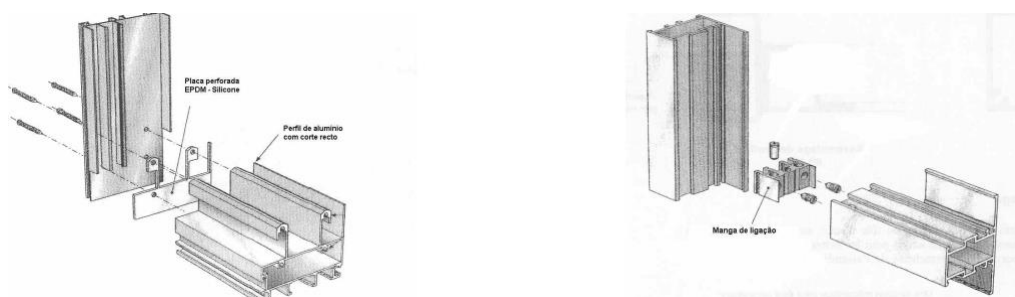


Figura 41\_ Ligação em corte reto e em T ou cruz (Verdelho, 2005)

Relativamente às ligações sem esquadro com corte reto, estas utilizam-se para unir perfis que não apresentam a mesma secção. A resistência é obtida por aparafusamento com interposição de uma placa destinada a garantir a estanquidade, conforme se evidencia na Figura 41. Finalmente a ligação em T ou cruz é feita através da fresagem dos perfis de modo a encaixarem a 90°, sendo fixada apenas através de aparafusamento ou por intermédio de uma cavilha (Verdelho, 2005). Após a montagem do caixilho estar completa, este é levado até ao local da obra onde será fixado ao pré aro ou diretamente à parede através de parafusos.

### 3.1.6. Reciclagem

No fim da utilização do caixilho, este é removido e armazenado para proceder à sua reciclagem. O Alumínio é 100% reciclável e pode passar por esse processo infinitamente sem perder as suas propriedades. No processo de reciclagem do Alumínio utiliza-se apenas 5% da energia total usada na produção do Alumínio primário (Hydro, 2019). O processo da reciclagem do Alumínio consiste no aquecimento até a sua fundição total até que fique líquido para depois ser colocado em moldes para a formação dos lingotes e depois arrefecido até solidificar.

Uma das principais características da reciclagem do Alumínio é que após o processo de reciclagem, não perde suas propriedades. Desse modo, é considerado um processo cradle-to-cradle<sup>1</sup> dado que pode ser reutilizado. No entanto, nos casos em que se exija uma concentração de pureza mais criteriosa, é possível que o seu grau de impurezas não permita o seu uso.

Sendo um material com uma elevada taxa de reciclabilidade, dispensa-se o estudo do seu processo de alienação.

### 3.2. Caixilharia de PVC

#### 3.2.1. Ciclo de vida do PVC

Na Figura 42 está representado o ciclo de vida do PVC, desde a extração do petróleo e da água salgada até à resina de PVC, que posteriormente é misturada com aditivos.

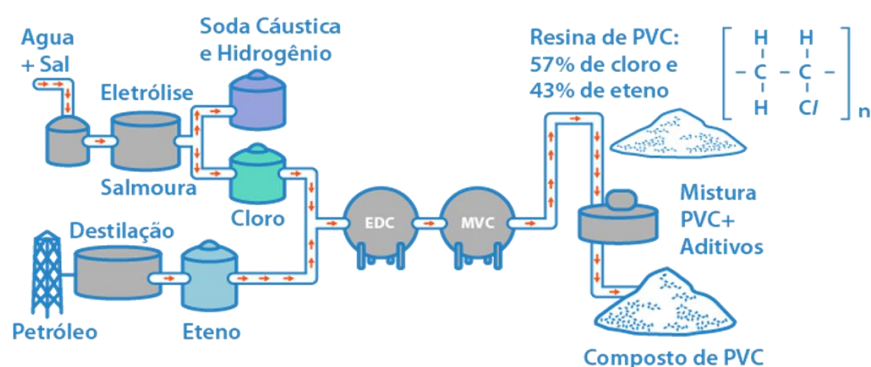


Figura 42\_ Esquema do ciclo de vida de produtos de PVC (Instituto Brasileiro do PVC, s.d.)

O petróleo é encontrado principalmente em bacias sedimentares profundas em terra firme e abaixo do fundo do mar. Findo o processo de extração, o petróleo é transportado para a destilaria onde segue o processo de produção do Etileno. Para a

<sup>1</sup> A definição de cradle-to-cradle (berço a berço) significa que nada é desperdiçado e que não existe um fim, pois com o término de um ciclo outro se inicia.



sua obtenção, o petróleo passa por uma destilação na qual é obtida a nafta leve. Enquanto isso, o cloro é obtido num outro processo, eletrólise do cloreto de sódio em meio aquoso, isto é, na forma de salmoura altamente saturada. Tanto o cloro como o eteno estão na fase gasosa e da reação dos dois é gerado o DCE (dicloro etano) e a partir deste é produzido o monómero cloreto de vinil (MVC) (Rodolfo, Nunes, & Ormanji, 2006).

Segue-se então para a obtenção de PVC, para material de caixilharia, que é realizada pela rota de polimerização em suspensão. A polimerização do monómero cloreto de vinil em suspensão corresponde a 80% do PVC produzido no mundo.

A Figura 43 ilustra esquematicamente o processo de polimerização em suspensão. (Rodolfo, Nunes, & Ormanji, 2006).

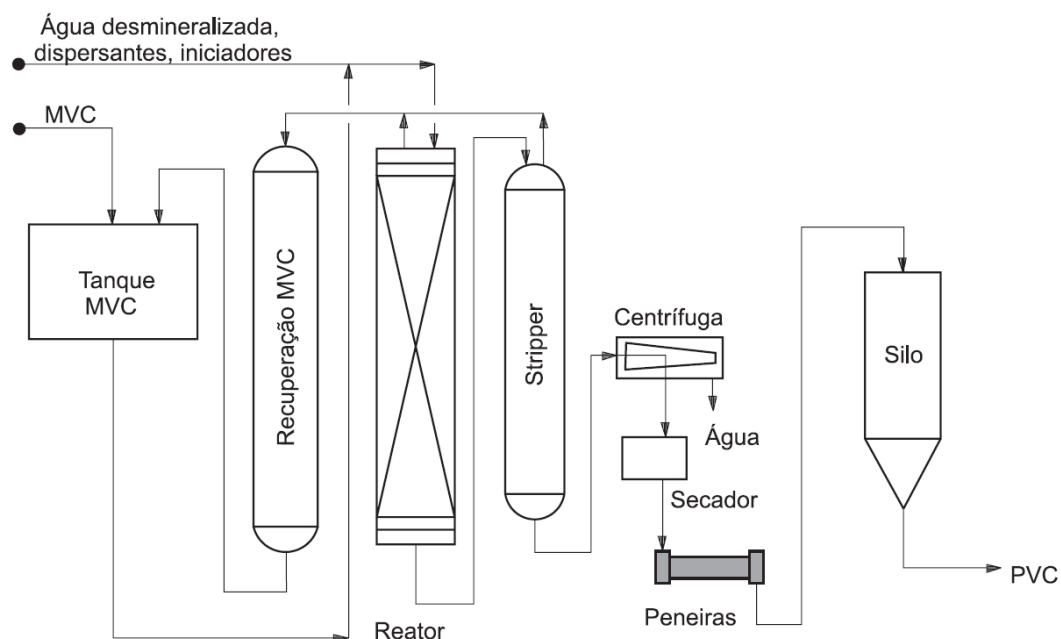


Figura 43\_ Representação esquemática do processo de polimerização em suspensão. Fonte (Rodolfo, Nunes, & Ormanji, 2006)

Neste processo, o MVC é disperso em forma de gotas de diâmetro entre 30-150 micrómetros, com vigorosa agitação e com um agente de suspensão. Para que ocorra a polimerização dentro das gotas em suspensão, em que um mecanismo de reações em cadeia via radicais livres aconteça, é utilizado um iniciador solúvel no monómero. Depois deste procedimento, é colocado no meio reacional o monómero cloreto de vinil e inicia-se a polimerização. O polímero obtido em forma de lama é submetido a vácuo

e aumento de temperatura, processo chamado de “stripping”, em que o monómero cloreto de vinil é extraído. A lama, sem o MCV, passa pela centrifuga para secar e a torta húmida que origina é seca em secadores de leito fluidizado. A resina seca é então peneirada para retenção de partículas extremamente grosseiras e armazenada em silos, para posterior acondicionamento nos diferentes sistemas de distribuição para os clientes (Rodolfo, Nunes, & Ormanji, 2006).



Figura 44\_ Silos de armazenamento de PVC - Shin Etsu, Cires (Cimave Construções, 2014)

Inicia-se o processo de produção de PVC, através da resina de PVC, pois esta é apenas um pó branco que isolado não tem qualquer aplicação industrial, devido às suas características físicas e químicas. Para a fabricação de perfis de PVC para caixilharia, são definidas atempadamente as propriedades da resina de policloreto de vinil adequadas para o processo de transformação e desempenho do produto final, os aditivos são colocados em proporções suficientes para promover alterações nas propriedades do PVC virgem, como rigidez e flexibilidade, transparência ou opacidade. Como mencionado anteriormente, a versatilidade do PVC deve-se à capacidade de adicionar e incorporar aditivos antes de convertê-los no produto final. O desempenho deste produto depende em grande parte dos aditivos selecionados para a resina de PVC. O tipo e a quantidade de aditivos dependem do polímero, do processo de conversão que a resina passará e do uso pretendido do produto. A Tabela 23 mostra os principais aditivos e seus resultados nas resinas de PVC. O átomo de cloro presente no policloreto de vinil aumenta a polaridade e a facilidade em misturar-se com muitos mais aditivos que outros termoplásticos (Teixeira, 2013).

Tabela 23\_ Principais aditivos, tipo de polimerização e efeitos (Teixeira, 2013)

Aditivo	Usado em resinas de		Efeito na formulação
	Micro-suspensão ou emulsão	Suspensão	
Agentes de expansão			Formação de estrutura celular, com conseqüente redução de densidade.
Antibloqueios			Redução da aderência entre camadas de filmes de PVC.
Antiestáticos			Redução da tendência de formação de cargas estáticas superficiais.
<i>Antifogging</i> (tensoativos)			Redução da tendência de embaçamento em filmes de PVC decorrentes da condensação de umidade ou vapor.
Biocidas			Redução da tendência de formação de colônias de fungos e bactérias em aplicações flexíveis.
Cargas			Redução de custos e alteração de propriedades mecânicas, térmicas e dielétricas.
Deslizantes (slip)			Redução do coeficiente de atrito entre camadas de filmes de PVC.
Desmoldantes			Redução da tendência de adesão às paredes dos moldes.
Espessantes			Aumento da viscosidade do plastisol.
Estabilizantes			Inibição das reações de degradação pelo calor, luz e agentes oxidantes.
Lubrificantes			Lubrificação interna e/ou externa, com conseqüente redução da fricção durante o processamento.
Modificadores de fluxo			Alteração do comportamento de fluxo durante o processamento.
Modificadores de impacto			Aumento da resistência ao impacto.
Pigmentos			Modificação da aparência.
Plasticantes			Modificação da dureza e da flexibilidade.
Redutores de viscosidade			Redução de viscosidade de pastas.
Retardantes de chama			Modificação das características de inflamabilidade.
Solventes			Formação de soluções com o PVC.

A mistura da resina de PVC com os aditivos é geralmente realizada em misturadores intensivos do tipo bateadeira, como turbomisturadores ou misturadores de alta velocidade representados na Figura 45.

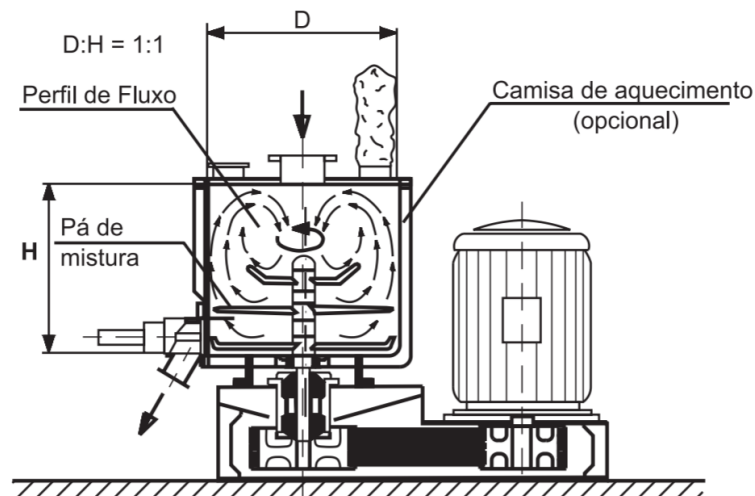


Figura 45\_ Representação esquemática de um misturador intensivo utilizado na preparação de compostos de PVC (Junior, Nunes, & Ormanji, 2006)

### 3.2.2. Produção de perfis para caixilharia

Para converter compostos de PVC em produtos comerciais, uma das técnicas mais úteis e mais utilizadas é o processo de moldagem por extrusão. Tal como no Alumínio o processo de extrusão consiste em pressionar a passagem do material pelo interior de um cilindro aquecido de forma controlada, através do bombeamento de uma ou duas roscas sem fim, que promovem o cisalhamento e homogeneização do material e a sua plastificação. Na saída do cilindro o material é comprimido contra uma matriz de perfil desejado, moldando assim o produto, que pode ser calibrado, resfriado, cortado ou enrolado. A Figura 46 mostra, esquematicamente, os principais componentes de uma extrusora (Rodolfo, Nunes, & Ormanji, 2006).

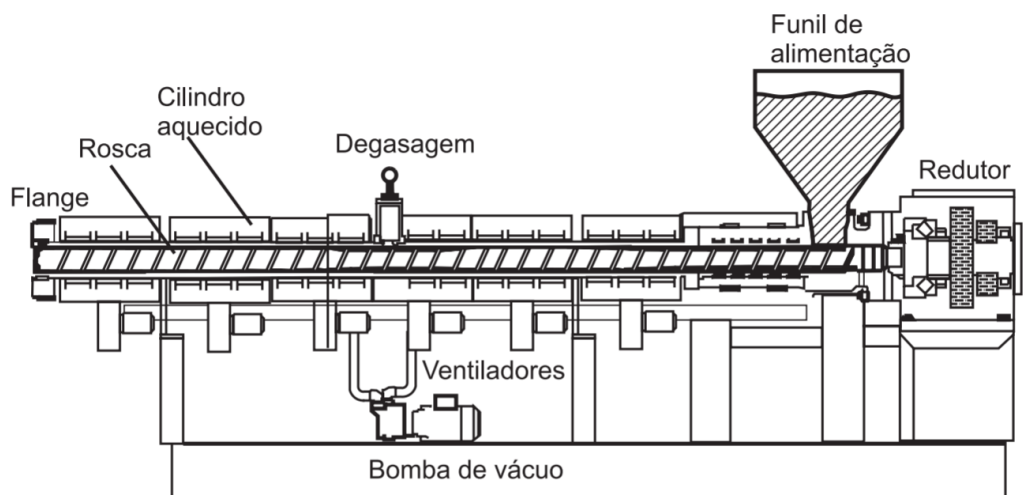


Figura 46\_ Representação esquemática de uma extrusora (Rodolfo, Nunes, & Ormanji, 2006)

Os Perfis rígidos de PVC têm uma ampla variedade de aplicações, com destaque para revestimentos de parede, forros, divisórias, perfis para confecção de esquadrias como caixilharia, calhas elétricas, entre outros.

### 3.2.3. Tratamentos de superfície para perfis extrudidos

Para além da cor branco, o PVC tem vindo a acrescentar outras cores e texturas, como o efeito madeira e cores texturadas. O processo “estancar” é muito semelhante ao processo de sublimação de perfis de Alumínio. Neste processo os perfis são embrulhados numa película de alta resistência ao calor selável à radiação solar conferindo a cor e o padrão pretendidos (Cortizo, 2017).

### 3.2.4. Montagem do caixilho

A fase de montagem do caixilho engloba todo o processo de corte, soldadura e associação dos perfis de PVC com a aplicação dos vidros, vedantes e ferragens.

Os perfis que saem de forma contínua da extrusora são cortados na medida desejada e embalados para seguir para transporte. O comprimento normal de corte é de 6 metros, porém, por uma questão de aproveitamento, algumas empresas optam por medidas diferentes, seja para facilitar o transporte em contentores menores, seja para facilitar a gestão de stocks. Nesse momento são realizados controles de perfil acabado, principalmente referentes aos agentes atmosféricos, isto é, são verificadas as reações que podem ocorrer com uso prolongado do perfil no meio ambiente (Minha janela de PVC, 2017).

Os perfis de PVC para a caixilharia são cortados em ângulo, com 45° de cada lado, devido à maior resistência obtida com a solda (termo fusão). Os perfis de reforço interno (alma de aço), são cortados numa segunda serra, neste caso o corte ocorre em 90°, pois o aço não é soldado, mas sim aparafusado ao perfil de PVC. O reforço metálico, na maior parte dos casos o aço, é um dos componentes mais importantes do caixilho em PVC, porque é responsável pelo seu desempenho mecânico. No caso das travessas, deve existir uma máquina específica que trabalhe com moldes cortantes por forma a obter o formato perfeito a encaixar nos perfis (Minha janela de PVC, 2017).

Os perfis de PVC são assim reforçados com barras de aço, conforme se ilustra na Figura 47, que devem entrar e deslizar suavemente pela câmara especialmente projetada para o reforço. Em alguns casos, o mesmo perfil de PVC tem mais de uma possibilidade de reforço, pois a resistência necessária depende do tamanho da janela. Após a inserção e a centralização, o perfil em aço pode ser fixado com parafusos.

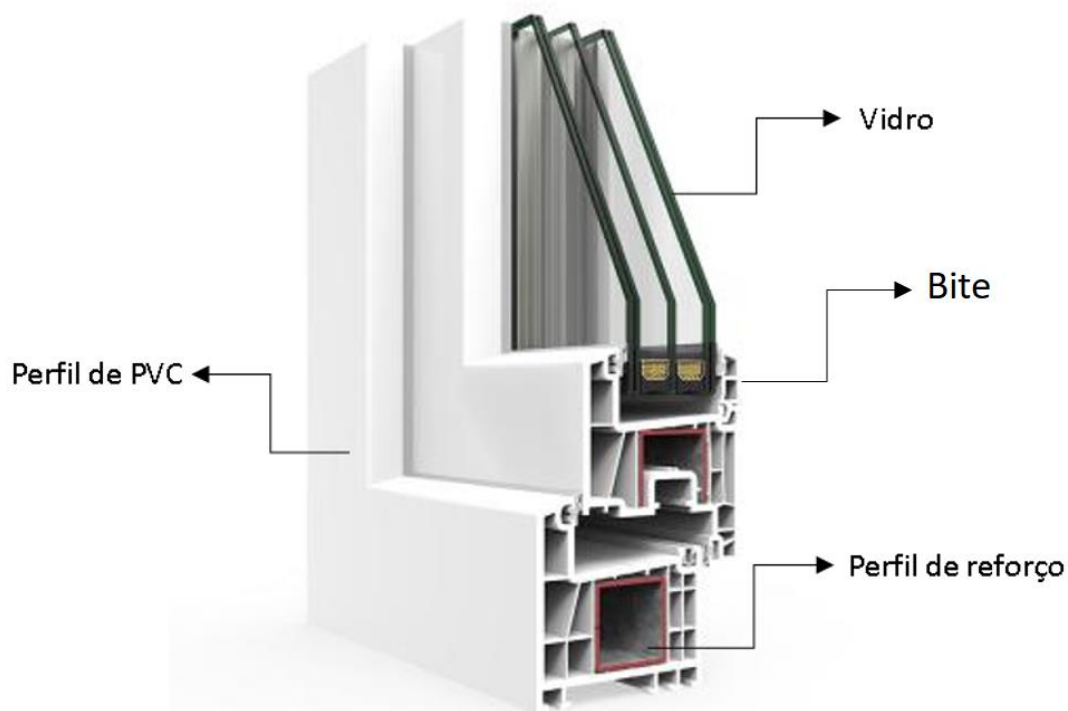


Figura 47\_ Esquema representativo de corte de caixilho de PVC. (KBE Sistemas de Ventanas, s.d.)

Para que o caixilho seja uma peça única, os cantos dos perfis de PVC são soldados, ou seja, derretidos parcialmente durante um período de tempo de forma a permitir a sua união. Depois do arrefecimento é obtida uma peça única e os perfis passam a ser esquadrias de janelas. Após este processo são retiradas as rebarbas criadas pela união dos perfis derretidos. Esta etapa contribui não só para a estética do caixilho, como também para a criação de estabilidade nas ligações soldadas, pois evita futuras quebras na solda devido aos desníveis.

As esquadrias das janelas seguem depois para montagem final, ou seja, para a colocação dos vedantes, cunhas, fixadores e escovas nos perfis móveis. A maioria das ferragens é fixa diretamente no perfil interno de aço, porque não se deforma com o movimento. Em relação às ferragens, é importante selecionar bem o tipo de acabamento, principalmente quando há maior agressividade ambiental na zona onde a obra se localiza, como em zonas marítima ou de grande concentração de salina ou de humidade, pois embora o PVC não sofra corrosão, os componentes metálicos do caixilho podem sofrer corrosão por ação da maresia (Minha janela de PVC, 2017).

As janelas e/ou portas de PVC geralmente são equipadas com vidro na fábrica, exceto para grandes dimensões de portas. A montagem do vidro é feita em duas etapas – a primeira consiste na colocação dos calços entre o PVC e o vidro, evitando assim o contato e atrito destes dois elementos, e a segunda é a fixação por meio de bites, que são os perfis que completam o quadro da janela e/ou porta mantendo o vidro no local

correto, que devem sempre ser instalados pelo lado de dentro do edifício para proteger o caixilho contra arrombamento (Minha janela de PVC, 2017).

Concluída a montagem do caixilho, o produto é embalado e expedido para as obras onde serão instalados. Geralmente o transporte é realizado por via terrestre, salvo algumas exceções em que uma grande distância justifica uma via aérea ou marítima. Caso o caixilho possua dimensões muito grandes que dificultem o seu transporte, a montagem dos perfis e a colocação de vedantes e ferragens deve ser feita no local (Minha janela de PVC, 2017).

Similarmente à caixilharia de Alumínio, a caixilharia de PVC já montada é afixada ao pré aro ou diretamente à parede através de parafusos.

### 3.2.5. Reciclagem

De acordo com o guia “Para uma Gestão Sustentável de Resíduos Plásticos da C&D na Europa” da APPRICOD existem dois métodos de reciclar resíduos de plástico:

- A reciclagem mecânica é o reprocessamento de resíduos de plástico em novos produtos plásticos por meios mecânicos. Este tipo de reciclagem é usado para resíduos pós-produção e resíduos pós-consumo. É viável quando a quantidade e a qualidade são suficientes.
- A reciclagem química é o reprocessamento de materiais, que geralmente recorre ao calor e à pressão (despolimerização) e decompõe o plástico nos seus constituintes químicos. Este método reduz o consumo de recursos petrolíferos usados na produção, mas é uma opção que requer uma instalação dispendiosa e altamente especializada.

No caso de não ser possível concretizar a reciclagem, a revalorização energética é a segunda melhor opção para a revalorização de resíduos plásticos. Os plásticos misturados podem ser utilizados para produzir calor e/ou energia, como é o caso da utilização dos plásticos nas incineradoras de cimento dado o seu elevado conteúdo calórico. As técnicas de reciclagem ou revalorização podem variar segundo o tipo de resíduo. Se os plásticos forem duros como caixilharia e muito limpos, poderão utilizar-se técnicas mecânicas de reciclagem: trituração, triagem (as partículas de vidro e metal são retiradas), regranulação, extrusão e produção de produtos reciclados de preferência de perfis de caixilharia (APPRICOD).

### 3.2.6. Alienação

Após o período de utilização do caixilho, este é removido do local e se não tiver nenhuma forma de valorização é colocado em aterro. O polímero do PVC é geralmente considerado resistente quando enterrado no solo e nas condições dos aterros podendo demorar de 200 a 600 anos para se decompor completamente na natureza (Propeq, 2020).

Uma outra possibilidade de destino para o PVC é a incineração, atualmente não muito utilizada devido aos graves problemas de saúde que acarretam a libertação de gases tóxicos. Durante a incineração, os resíduos de PVC produzem ácido clorídrico (HCl) nos gases de combustão, que é necessário neutralizar. Todos os gases ácidos produzidos durante a incineração dos resíduos sólidos urbanos para além do HCl, sobretudo óxidos de enxofre têm de ser neutralizados antes da emissão dos gases remanescentes para a atmosfera. A legislação comunitária exige valores-limite de emissão para o ácido clorídrico, mas os valores-limite estão atualmente a ser revistos com vista à sua substituição por valores mais exigentes (Comissão das Comunidades Europeias, 2000).

## 4. Análise comparativa

A caixilharia tem de cumprir as normas aplicáveis, satisfazendo uma série de critérios que determinam a sua qualidade para situações ou locais específicos, conforme já foi sendo referido. Estes critérios, em conjunto com outros fatores como a estética, influenciam a escolha e seleção dos sistemas de caixilharia. Neste estudo será feita uma comparação entre soluções de caixilharia em Alumínio com corte térmico e soluções de caixilharia em PVC com reforço, melhorias consideradas para permitirem um melhor nível de desempenho e uma maior equivalência funcional, embora no texto, para facilitar a leitura, as mesmas passem a ser referenciadas simplesmente por caixilharia em Alumínio e caixilharia em PVC, respetivamente.

Depois de uma comparação relativa às características de cada um dos materiais, serão então comparados os caixilhos de cada uma dessas soluções em termos de características técnicas, versatilidade, manutenção, durabilidade e impactos ambientais, uma vez que estes pontos são importantes na altura de escolher a solução a adotar para um edifício, por interferirem direta ou indiretamente no custo económico, social e ambiental do edificado.



O estudo comparativo será feito excluindo da análise os elementos acessórios, como vedantes, vidros, dobradiças, puxadores, entre outros componentes secundários de janelas/portas.

Para a presente análise foram escolhidos dois sistemas, um de correr outro de batente. Ambos os sistemas foram estudados em caixilharia de Alumínio com corte térmico e em PVC com reforço. Na Tabela 24 observam-se as informações que caracterizam cada um desses caixilhos. Nessa tabela pode verificar-se que a classificação obtida nos ensaios depende das dimensões dos caixilhos, da composição do vidro usado, bem como dos vedantes e dos acessórios usados, pelo que se torna difícil a comparação de soluções que tenham exatamente as mesmas classificações. Assim sendo, a escolha das soluções a comparar foi feita de forma a colocar em paralelo caixilharias com a maior similaridade possível. Relativamente ao coeficiente térmico  $U_w$  importa referir que os valores indicados admitem o mesmo tipo e qualidade de vidro e as mesmas dimensões entre caixilhos da mesma tipologia. Por motivos de confidencialidade, não é possível expor as designações comerciais na presente dissertação.

Tabela 24\_ Características técnicas de soluções de caixilharia de Alumínio corte térmico e de PVC com reforço

Tipologia	Alumínio – Corte térmico	PVC com reforço
Batente	<u>Ensaio janela oscilobatente 1fl +fixo (2100x2100mm):</u> Permeabilidade ao ar: classe 4 Estanquidade á água: classe E1350 Resistência ao vento: classe C5	<u>Ensaio referência para janela batente 2fls (1230X1480mm):</u> Permeabilidade ao ar: classe 4 Estanquidade á água: classe 9A Resistência ao vento: classe C5
	$U_w$ (1fl OB 1,2x2,2m) = 2,17 W/m <sup>2</sup> k; com isolamento $U_w$ = 1,83W/ m <sup>2</sup> k Envidraçamento máx.: 56mm	$U_w$ (1fl OB 1,2x2,2m) = 1,6 W/m <sup>2</sup> k Envidraçamento máx.: 41 mm
	Largura máx. (L) =1200mm Altura máx. (H) = 2800mm Peso máx.: 170kg/folha	Largura máx. (L) =1100mm Altura máx. (H) = 2200mm Peso máx.: 100 kg/folha
Correr	<u>Ensaio janela correr 2fls (2800x1400mm):</u> Permeabilidade ao ar: classe 3 Estanquidade á água: classe 7A Resistência ao vento: classe C5	<u>Ensaio referência 2fls (1230 x 1480 mm):</u> Permeabilidade ao ar: classe 3 Estanquidade á água: classe 5A Resistência ao vento: classe C2
	$U_w$ (2fls 2,2x2,2m) = 2,52 W/m <sup>2</sup> k; Envidraçamento máx.: 28 mm	$U_w$ (2fls 2,2x2,2m) = 1,83 W/m <sup>2</sup> k Envidraçamento máx.: 33 mm
	Largura máx. (L) =1400mm Altura máx. (H) = 2300mm Peso máx.: 300kg/folha	Largura máx. (L) =1500mm Altura máx. (H) = 2400mm Peso máx.: 140kg/folha

#### 4.1. Materiais

As características técnicas da caixilharia e a sua resposta aos requisitos funcionais são muito dependentes das características dos materiais usados no seu fabrico. A Tabela 25 apresenta um resumo das características mais importantes de cada um dos materiais em análise, o Alumínio e o PVC, elaborada com a informação consultada na base de dados do programa CES EduPack (2019).

Tabela 25\_Propriedades do Alumínio e PVC (CES EduPack, 2019)

Propriedades	Alumínio	PVC
Módulo de Young	69,5 – 73 GPa	2,48 – 3,3 GPa
Coefficiente de Poisson	0,34* Propriedades mecânicas muito boas	0,41* Propriedades mecânicas fracas
Densidade	2,69e3 - 2,73e3 kg/m <sup>3</sup> Leve: cerca de 1/3 da densidade do cobre ou aço	1,3e3 - 1,49e3 kg/m <sup>3</sup> Muito leve: cerca de 50% da densidade do Alumínio
Condutividade elétrica	52,2 - 55,6 %IACS Excelente	1,72e-20 - 1,72e-18 %IACS Fraco
Condutividade térmica	205 - 213 W/m.°C Elevada	0,147 - 0,209 W/m.°C Fraca
Resistência ao sol	Excelente	Razoável
Combustibilidade	Não combustível	Autoextinguível. Pode emitir gases tóxicos quando arde
Dureza	12,7 - 18,1 kJ/m <sup>2</sup>	4,19 - 5,69 kJ/m <sup>2</sup>
Resistência à corrosão	Excelente. Pode ser melhorada através da anodização.	Excelente. Alta resistência a meios alcalinos e sais
Resistência a solventes orgânicos	Excelente	Péssima: Não é resistente a solventes orgânicos

O Módulo de Young é uma propriedade mecânica que mede a rigidez de um material sólido. Define a relação entre tensão e deformação num material no regime de elasticidade linear de uma deformação uniaxial.

IACS - Internacional Annealed Copper Standard.

\* Valores estimados por EduPack – nenhuma garantia fornecida relativamente à precisão dos dados fornecidos.

Com base na Tabela 25, ambos os materiais possuem vantagens e desvantagens que contribuem para a qualidade das caixilharias. No entanto, é ainda de referir que atualmente, muitas dessas características não são tão boas, como é o caso da condutividade térmica no Alumínio e das propriedades mecânicas no PVC, tendo vindo a ser melhoradas através da conjugação com outros materiais. As figuras seguintes, ilustram ainda graficamente a comparação dos dois materiais em termos das seguintes propriedades: densidade, módulo de Young, dureza e condutividade térmica.

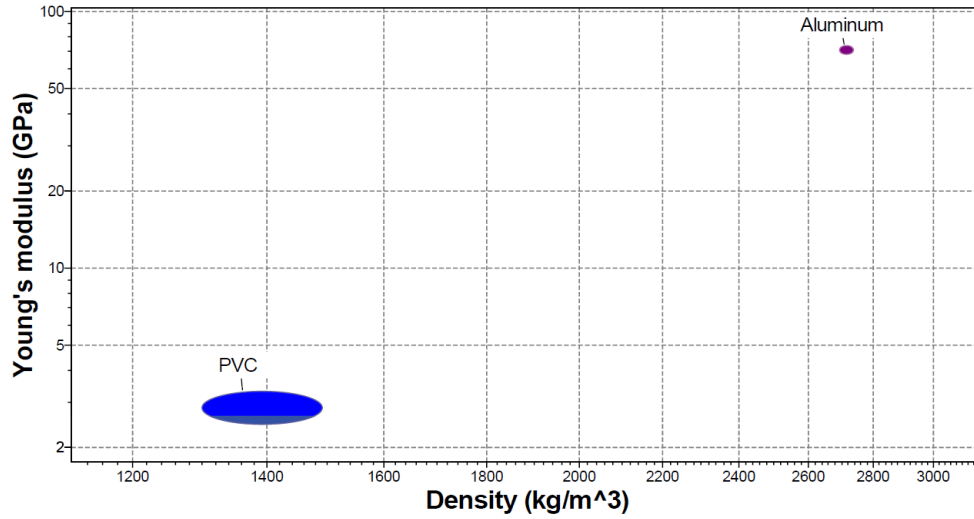


Figura 48\_ Relação entre Densidade e Módulo de Young

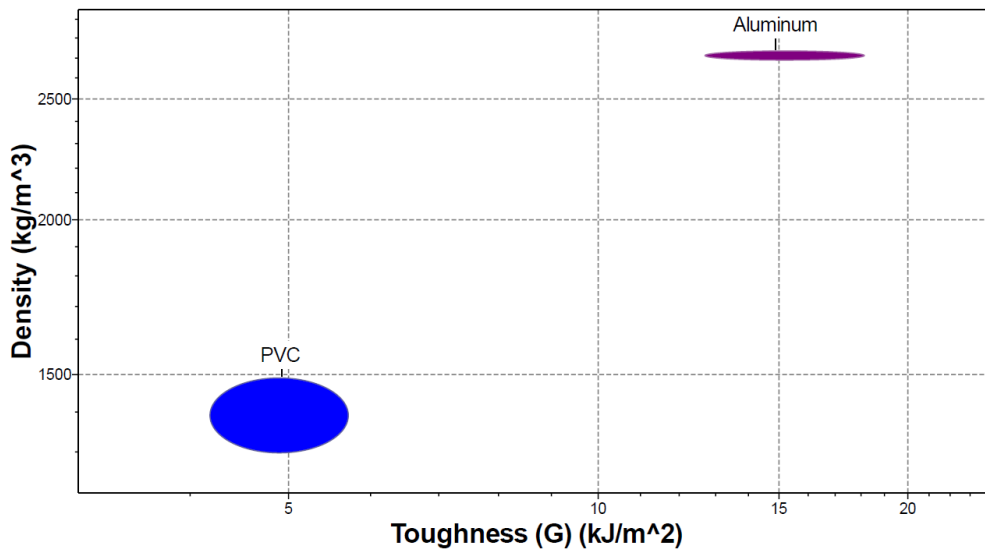


Figura 49\_ Relação entre a Densidade e Dureza

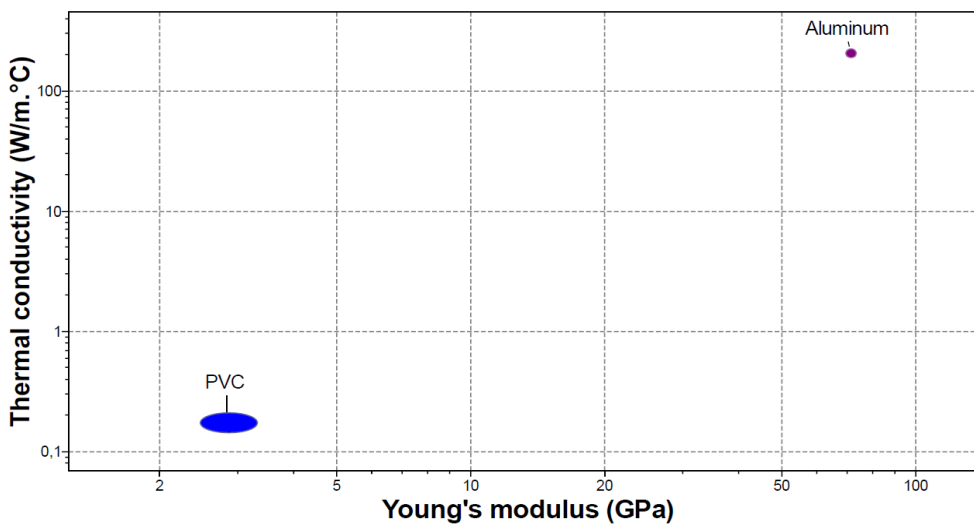


Figura 50\_ Relação entre a Condutividade térmica e o Módulo de Young

Neste último gráfico é possível observar duas das propriedades mais importantes que uma caixilharia deve ter em conta na escolha de material a aplicar – o módulo de Young, que tendo valores elevados contribui para o aumento de resistência mecânica, e a condutividade térmica, que com valores mais baixos proporciona melhor isolamento térmico. O Alumínio possui módulo de Young superior ao PVC, porém também tem valores de condutividade térmica mais elevados o que torna o PVC um material com melhor isolamento.

Para minimizar os efeitos da elevada condutividade térmica do Alumínio, já há disponíveis no mercado dois tipos de soluções para as caixilharias que usam este material - a série tradicional e a série com corte térmico. A série tradicional ou série fria é composta por perfis de Alumínio de uma só peça, que permitem a transmissão do calor, do frio e do ruído através do perfil. No entanto, na série com corte térmico há um perfil adicional de poliamida de alta resistência (material isolante) entre a parte interna e externa do caixilho que serve para bloquear a passagem de calor e correntes de ar. Dessa forma, o isolamento da caixilharia pode melhorar significativamente e ficar menos distante do conferido pela caixilharia de PVC.

Com o intuito de obviar as deficiências da caixilharia de PVC no que respeita às propriedades mecânicas, a caixilharia em PVC tem vindo a ser comercializada com perfis de reforço, nomeadamente perfis em aço, introduzidas no interior das suas câmaras. Dessa forma, nestes últimos anos, a caixilharia em PVC, que é leve e má condutora de calor, tem vindo a fazer-se notar no mercado europeu.

As características técnicas dos caixilhos estão muito dependentes das propriedades do seu principal material, como seria de esperar, mas importa ainda referir que também podem ser afetadas pelo sistema e pelos acessórios adotados.

## 4.2. Características técnicas

### 4.2.1. Resistência Mecânica

A caixilharia e envidraçados exteriores devem ser resistentes, estáveis e funcionais quando submetidos às ações do vento e às ações resultantes de manobras associadas ao uso. Aquando da escolha de um caixilho, um dos aspetos mais importantes a considerar é a resistência que o material base possui e a sua adequação para fazer face às solicitações do vento e às ações do utilizador e forças de manobra.

Como referido anteriormente, o Alumínio possui melhores propriedades mecânicas do que o PVC. O Alumínio é um material leve e com boas resistências mecânicas, o que permite criar caixilharias de grandes dimensões com perfis singelos e de fácil manobra. O Alumínio, tem valores para o módulo de Young entre 69,5 e 73GPa, uma gama muitíssimo superior à dos valores do PVC, com apenas 2,48 a 3,3GPa. Apesar da elevada diferença entre os módulos de Elasticidade dos materiais, a evolução em caixilharia tem permitido ao PVC ganhar mercado com a incorporação de perfis de reforço, o que tem permitido alcançar classificações em ensaios de resistência ao vento muito satisfatórias. Nas soluções de batente apresentadas na Tabela 24 a resistência ao vento classifica as duas caixilharias com a mesma classe, porém é importante referir que as janelas ensaiadas em PVC com reforço possuem menores dimensões que as de Alumínio com corte térmico e por isso não é possível determinar com exatidão qual a que terá melhores prestações relativamente às ações do vento. Sabe-se que para dimensões superiores a caixilharia tende a possuir piores desempenhos no que toca à resistência ao vento pelo que se o ensaio fosse feito para menores dimensões seria de esperar melhores prestações para a caixilharia de Alumínio com corte térmico, como se verifica no ensaio de caixilharia de correr em que a classe é superior à de PVC com reforço.

#### 4.2.2. Resistência anti-intrusão

Os envidraçados são um dos principais pontos de acesso para os intrusos acederem às habitações, daí a importância de escolher uma boa janela ou porta para melhorar a segurança. Para avaliar o nível de segurança das janelas e portas, estas são ensaiadas e classificadas conforme as classes apresentadas na Tabela 26.

Tabela 26\_Classes de resistência à intrusão (Technal, 2018)

Classe de resistência	Tempo de intrusão	Vidro	Classe recomendada segundo o tipo de edifício
RC1	< 3 mn	Standard	Edifício sem acesso directo, sem acesso no rés-do-chão
RC2 Proteção elevada	3 mn	P4A	Moradias, comércio, edifícios públicos...
RC3 Máxima proteção	5 mn	P5A	

Para que uma janela possa ser classificada com RC3, precisa de resistir 5 minutos sem que o intruso consiga abrir a mesma com as ferramentas do grupo que deseja classificar. Na Figura 51, é apresentada a lista de ferramentas necessárias para abrir a caixilharia, de acordo com a classe de resistência.



Figura 51\_ Ferramentas necessárias segundo a classe de resistência RC1, RC2 e RC3 (Technal, 2018)

Segundo a Reyners Aluminium, os sistemas em Alumínio são altamente resistentes ao roubo devido à rigidez e à resistência à deformação do material de base. Existem ainda várias opções para aumentar o nível de segurança das janelas e portas em Alumínio, como por exemplo afixações de segurança especiais, vários pontos de fechadura e uma tranca permanente. As ferragens levam também uma chapa anti furo e um dispositivo anti elevador. Estas aplicações impossibilitam a perfuração da fechadura e a abertura forçada da janela com uma alavanca. Para aumentar ainda mais a segurança pode-se optar pela utilização de um vidro de segurança e, ao mesmo tempo, pela substituição dos elementos de fixação do vidro ao caixilho, como bites por peças especiais ou com a introdução de sensores. Os bites, como referido anteriormente, são elementos que completam o quadro da janela mantendo o vidro no local correto e são instalados pelo lado de dentro do edifício para proteger o caixilho contra arrombamento (Figura 47).

No entanto, os sistemas de caixilharia em PVC também tem vindo a melhorar a sua resistência, introduzindo reforços nas suas câmaras internas do perfil. Algumas séries em PVC também já começaram a introduzir acessórios nos seus sistemas por forma a resistir melhor contra as tentativas de intrusão.

Enquanto que o Alumínio pode aliar a sua resistência mecânica a acessórios de segurança, o caixilho em PVC dependerá dos acessórios de proteção a anti-intrusão para se proteger. A proteção que estes caixilhos têm, é assim adquirida através de

acessórios próprios projetados para proteção contra intrusos. Na Figura 52 é apresentado um exemplo de um sistema com resistência à intrusão, em Alumínio.

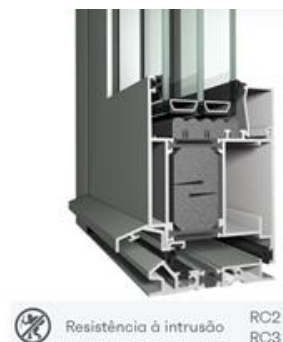


Figura 52\_ Corte de um sistema de Alumínio (Reyners Aluminium, s.d.)

Não foi possível comparar as soluções apresentadas na Tabela 24, por falta de dados relativos aos desempenhos das mesmas neste parâmetro.

#### 4.2.3. Resistência ao fogo

O PVC rígido não propaga o fogo em caso de incêndios, pois é um material auto extingüível. Todavia, por ser um material que provém do petróleo, em caso de incêndio pode emitir fumos tóxicos prejudiciais.

Por outro lado, o Alumínio por ser um material não combustível, permite várias soluções com corta fogo, como o sistema CS77 fireproof da Reyners EI30 OU EI60, que oferece um intervalo de tempo à prova de fogo de 30 minutos ou 60 minutos respectivamente (Reyners Aluminium, s.d.). Os caixilhos corta-fogo têm como objetivo um maior nível de segurança para os utilizadores dos edifícios.



Figura 53\_ Corte de sistema de Alumínio à esquerda e à direita teste ao fogo do caixilho composto por 2 folhas de abrir com 5 fixos (Reyners Aluminium, s.d.)

Não foi possível comparar as soluções apresentadas na Tabela 24, por falta de informações relativos aos desempenhos das mesmas neste parâmetro.

#### 4.2.4. Isolamento acústico

O isolamento acústico de uma janela é a capacidade que esta tem de resistir às fontes de ruído provenientes do exterior. No sentido de garantir mais conforto sonoro no espaço, a envolvente deve garantir elementos cujas prestações acústicas tenham bons desempenhos. Em caixilharia os fatores que mais influenciam no isolamento do ruído são o nível de permeabilidade ao ar da janela e o nível de isolamento acústico do vidro. Vidros duplos ou triplos, cujas caixas de ar sejam espaçadas e/ou possuam gás entre elas, possibilitam maior atenuações acústicas. A espessura do vidro também é importante, por isso é que se um caixilho permitir maior caixa de vidro, pode vir a ter melhores desempenhos. Como para as soluções estudadas não foram facultados dados relativos a este parâmetro, apresentam-se na figura que se segue duas soluções de batente, com os respetivos desempenhos acústicos. Tanto uma como outra apresentam o mesmo desempenho.



Figura 54\_ Atenuação acústica máxima em caixilharia de Alumínio com corte térmico e PVC com reforço (Cortizo, 2017)

#### 4.2.5. Isolamento térmico e eficiência energética

##### *Isolamento térmico*

O isolamento térmico do edifício nos vãos pode ser feito pela utilização de vidros duplos. Para o efeito são instalados dois painéis de vidro com uma camada de ar entre eles, podendo esse sistema ser melhorado utilizando um vidro de baixa emissividade e utilizando um gás mais pesado em substituição do ar que separa os vidros, tal como o Árgon. As trocas de calor por condução, convecção e radiação através de um elemento plano de envolvente (como os envidraçados), definem-se pelo coeficiente de



transmissão térmica (U). Mais reduzidas serão as perdas térmicas quanto menor for o valor do coeficiente U, e assim melhor será o isolamento térmico do elemento construtivo. Segundo o RCCTE a definição do “Coeficiente de transmissão térmica de um elemento da envolvente é a quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma superfície de área unitária desse elemento da envolvente por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que ele separa”.

As prestações térmicas são melhores nas caixilharias de PVC graças à sua baixa condutividade. Nas caixilharias em Alumínio é mais difícil controlar perdas de calor e condensações, embora tenham vindo a ser feitas algumas otimizações para tentar controlar estas questões. Foram desenvolvidas caixilharias com rutura da ponte térmica que são constituídas por dois semi-perfis de Alumínio unidos por peças de baixa condutibilidade (ex: poliamida), designados por elementos de corte térmico. Quanto maior for a espessura da poliamida, maior será a distância entre os perfis interior e exterior de Alumínio e menor será o seu coeficiente de transmissão térmica.

Mesmo assim, os perfis das caixilharias de PVC apresentam uma condutibilidade térmica muito baixa quando comparada com a do Alumínio, proporcionando um melhor isolamento térmico.

*Tabela 27\_Coeficiente de transmissão térmico (Uw) e envidraçamento máximo de caixilharias*

Tipologia	Alumínio – Corte térmico	PVC com reforço
Batente (OB - oscilobatente)	Uw (1fl OB 1,2x2,2m) = 2,17 W/m <sup>2</sup> k ou Uw (1fl OB 1,2x2,2m) = 1,83 W/m <sup>2</sup> k com isolamento	Uw (1fl OB 1,2x2,2m) = 1,6 W/m <sup>2</sup> k
Correr	Uw (2fls 2,2x2,2m) = 2,52 W/m <sup>2</sup> k;	Uw (2fls 2,2x2,2m) = 1,83 W/m <sup>2</sup> k

Como é possível observar na Tabela 27, as grandes diferenças de isolamento térmico entre o PVC e o Alumínio observam-se principalmente entre sistemas de correr, devido neste último caso à diminuição da largura da poliamida. Em vãos de batente a diferença já não é tão acentuada, verificando-se uma maior aproximação dos valores de coeficiente térmico entre a solução em PVC e Alumínio, quando aplicado isolamento dentro das câmaras destes últimos perfis. Todavia, tanto numa tipologia de abertura como na outra, a caixilharia apresenta vantagens no isolamento térmico, tendo por isso melhor eficiência energética, como será referido em seguida.

#### *Eficiência energética*

O aumento da procura de matéria prima, tem vindo a aumentar o consumo de energia e as emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). O sector dos edifícios é responsável

pelo consumo de 40% da energia final e 36% das emissões totais de gases de efeito de estufa na Europa. Para contrariar esta tendência, em dezembro de 2018, entrou em vigor a diretiva revista relativa à eficiência energética (Diretiva UE 2018/2002 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 11 de dezembro de 2018), que define um objetivo de eficiência energética da União Europeia (UE) de, pelo menos, 32,5% em comparação com as projeções até 2030 (ADENE, 2021).

Em 2013 foi criada a primeira etiqueta energética para as janelas no âmbito do Sistema de Etiquetagem Energética de Produtos (SEEP). Janelas com classes mais eficientes de desempenho promovem poupanças na fatura energética das famílias e de energia para o país. Para além disso as janelas mais eficientes proporcionam melhor conforto e redução do ruído e um aumento na valorização do imóvel. Cerca de 25% a 30% das necessidades de aquecimento devem-se às perdas de calor que se originam nas janelas. Os sistemas de vidro duplo ou janela dupla reduzem praticamente para metade as perdas de calor, face ao vidro simples, para além de diminuírem as correntes de ar e a condensação de água (ADENE, 2013). A substituição de janelas convencionais por janelas eficientes pode reduzir até 50% do seu consumo como mencionado na Figura 55.

CLASSE	REDUÇÃO DO CONSUMIDOR DE ENERGIA ASSOCIADO ÀS JANELAS*
<b>A</b>	<b>50%</b>
<b>B</b>	<b>40%</b>
<b>C</b>	<b>30%</b>
<b>D</b>	<b>20%</b>
<b>E</b>	<b>10%</b>
<b>F</b>	<b>0%</b>
<b>G</b>	<b>não aplicável</b>

\*Valor aproximado, quando comparado com uma janela vulgar, de vidro simples, com classe F e assumindo que a casa é climatizada.

Figura 55\_ Redução de energia associado à substituição de janelas (ADENE, 2013)

A etiqueta energética permite comparar soluções no mercado a partir da classe de desempenho energético, que vai de A (mais eficiente) a G (menos eficiente). Esta

classificação resulta da avaliação do comportamento da janela no mês mais frio e no mês mais quente do ano, traduzindo a sua capacidade de reduzir as perdas térmicas no inverno e de minimizar o sobreaquecimento no verão. Com recurso ao simulador da “classe+”, iniciativa de etiquetagem da ADENE (Agência para a Energia), foram calculados para caixilharia de Alumínio e PVC, com o mesmo vidro, os respetivos desempenhos energéticos. Um melhor desempenho energético corresponde a uma melhor performance da janela no mês mais frio e no mês mais quente do ano, correspondentes a uma maior capacidade para diminuir as perdas térmicas no Inverno e para minimizar o sobreaquecimento no Verão (ADENE, 2021). Nas figuras 56 a 59 apresentam-se os resultados obtidos na simulação efetuada no site da “classe+” para etiquetagem energética de janelas.

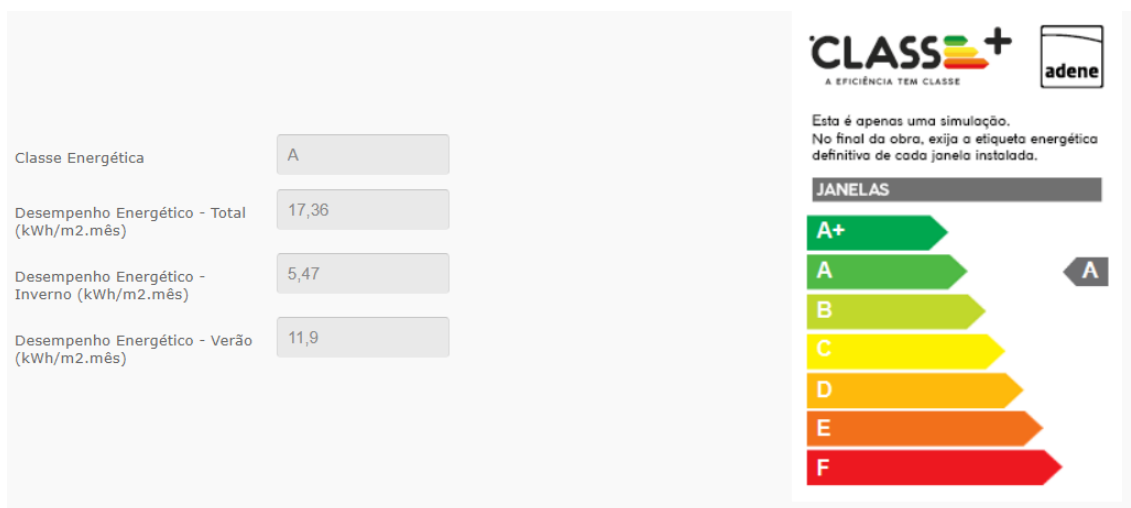


Figura 56\_ Simulação de batente para caixilharia de Alumínio com corte térmico

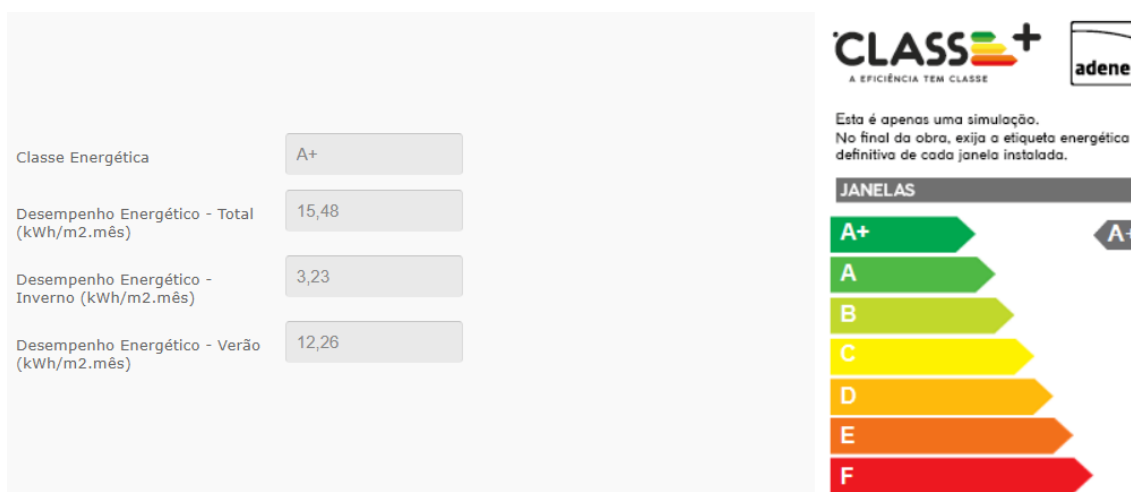


Figura 57\_ Simulação de batente para caixilharia de PVC com reforço

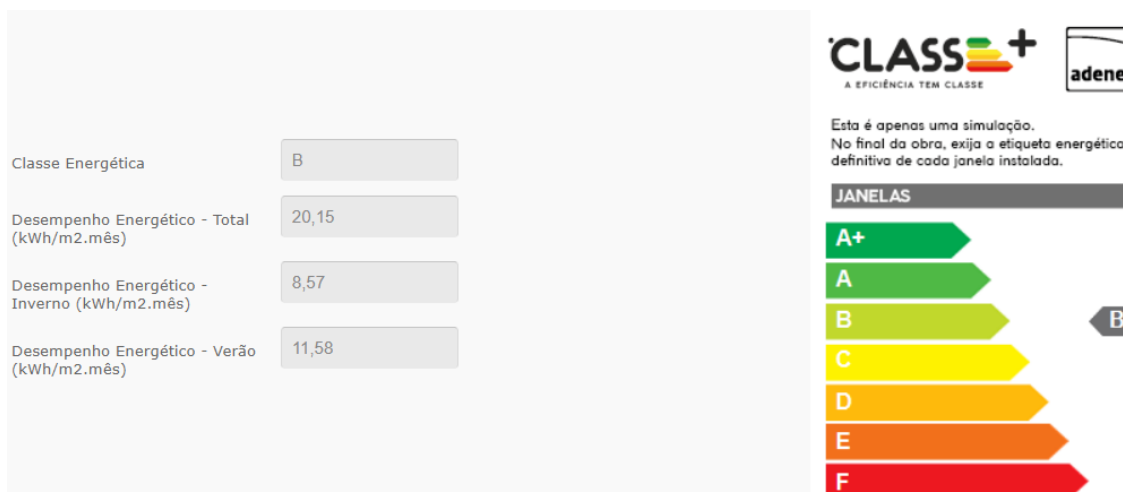


Figura 58\_Simulação de correr para caixilharia em Alumínio com corte térmico



Figura 59\_Simulação de correr para caixilharia de PVC com reforço

Nas figuras anteriores pode verificar-se que no inverno existe maior consumo de energia por parte da caixilharia em Alumínio, contudo no verão a caixilharia em PVC consome um pouco mais energia. As maiores diferenças de desempenho entre os materiais comparados acentuam-se em caixilharia de correr.

Assim sendo, como já seria de esperar tendo em conta as considerações que anteriormente foram apresentadas para o isolamento térmico, com recurso ao simulador, verificou-se que a caixilharia de PVC com reforço possui classe A+, em ambas as tipologias de movimentação, enquanto que a caixilharia de Alumínio com corte térmico em estudo possui classificações inferiores: A (batente) e B (correr).

### 4.3. Versatilidade

A versatilidade corresponde à capacidade de algo ou de alguém para se adaptar com rapidez e facilidade a diversas funções e situações. Para responder à evolução constante da construção civil, os caixilhos como parte integrante dos edifícios, têm vindo a reinventar-se para conseguirem competir no mercado. Tanto nas caixilharias de Alumínio como nas de PVC há, quer no mercado quer instaladas em edifícios, uma alargada panóplia de tipologias e cores de acabamento. Em seguida será feita a apresentação das principais gamas de abertura, de cor, de dimensão e de modelos disponíveis no mercado.

#### 4.3.1. Tipologia de abertura

A utilização de um determinado tipo de janela implica que se tenha um conhecimento aprofundado das suas características e da influência que esta tem na vida quotidiana do utilizador, não só pelo facto de interagir com este, mas também devido à sua importância para o desempenho da função e como elemento definidor da envolvente. As caixilharias em Alumínio e em PVC permitem uma ampla tipologia de aberturas, conforme se apresenta na Tabela 28.

Tabela 28\_ Tipologias de Caixilharia de Alumínio e PVC

Alumínio	Tipologia	PVC
✓	Correr	✓
✓	Correr Elevável	✓
✓	Batente	✓
✓	Oscilobatente	✓
✓	Basculante	✓
✓	Projetante	✓
✓	Osciloparalela	✓
✓	Guilhotina	
✓	Harmónio	✓
✓	Pivotante	✓
✓	Fachada Cortina	
✓	Fachada VEP	
✓	Fachada VIP	
✓	Fachada VEC	

Fachada VEP – fachada de Vidro Exterior Preso  
Fachada VIP – fachada de Vidro Interior Preso  
Fachada VEC – fachada de Vidro Exterior Colado.

De seguida, alguns exemplos dessas tipologias e respetivas imagens.

### Alumínio

- Sistemas de harmónio



Figura 60\_Sistema de harmónio (Cortizo, 2017)

- Sistemas de guilhotina



Figura 61\_Sistema de Guilhotina (Sosoares)

- Sistemas de correr/correr elevável



Figura 62\_Sistema de correr 4700 RPT (Cortizo, 2017)

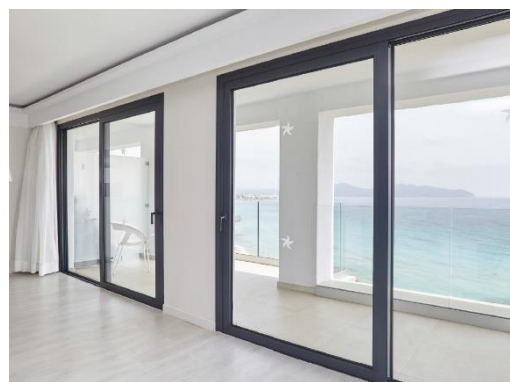


Figura 63\_Porta mediterrânea de correr (Cortizo, 2017)



- Sistemas de batente (projetante, pivotante, fixa)



Figura 64\_Sistemas de batente n14100 em Escola Secundária Aurélia de Sousa (navarra, 2012)



Figura 65\_Sistema OS Pivotante (Sosoares)

De todos os sistemas de caixilharia de Alumínio, os mais inovadores e com elevada capacidade de resistência e suporte são os sistemas em fachada, que podem atingir dimensões de dezenas de metros, desde que combinados com suportes adequados ao seu dimensionamento.

- Sistemas de fachadas

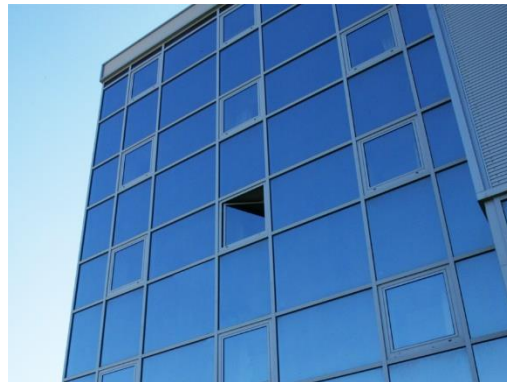
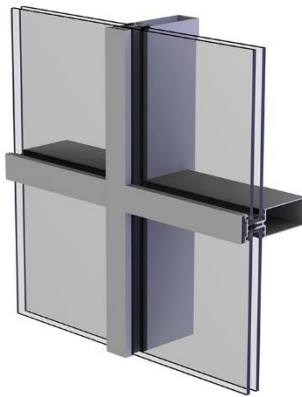


Figura 66\_Sistema de fachada n15200 (navarra, 2012)



Figura 67\_Sistema de fachada de vidro exterior colado n15000 VEC (navarra, 2012)

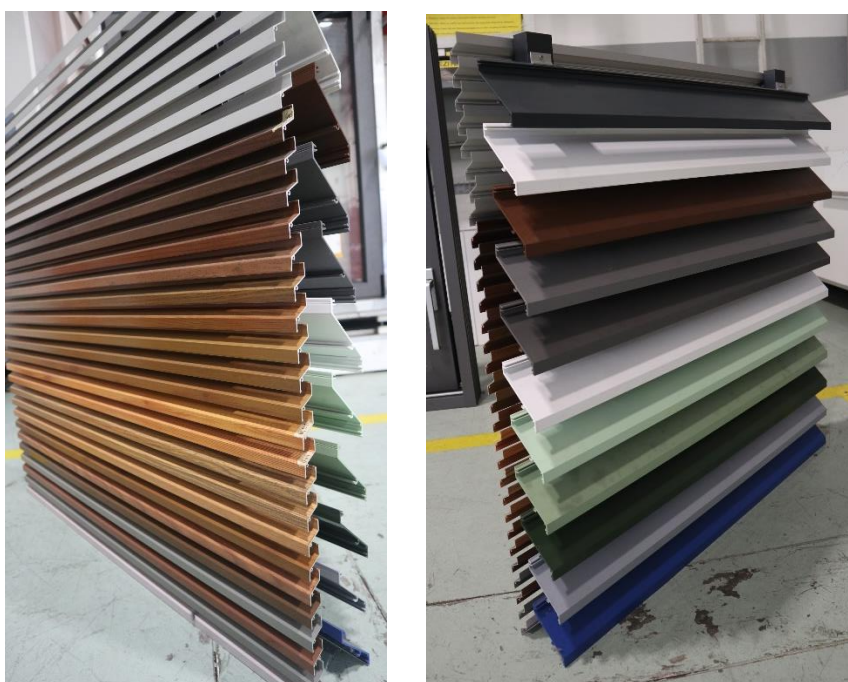
Como complemento à caixilharia, os perfis de Alumínio podem ainda ter outras finalidades como os sistemas de portada, revestimento e quebra-sol, ilustrados nas figuras seguintes.

- Sistemas de Portada (interior ou Exterior)



*Figura 68\_Sistema de Portada de correr A.017 (Extrusal, 2011)*

- Sistemas de revestimento



*Figura 69\_Grelhas de revestimento n31000 (navarra, 2012)*



- Sistemas de Quebra Sol



*Figura 70\_Sistemas de Quebra Sol fixo (direita) e móvel (esquerda)*

PVC

- Sistema de basculante e fixa



*Figura 71\_Sistema de basculante e fixa (Portnorma, 2015)*

- Sistema de correr



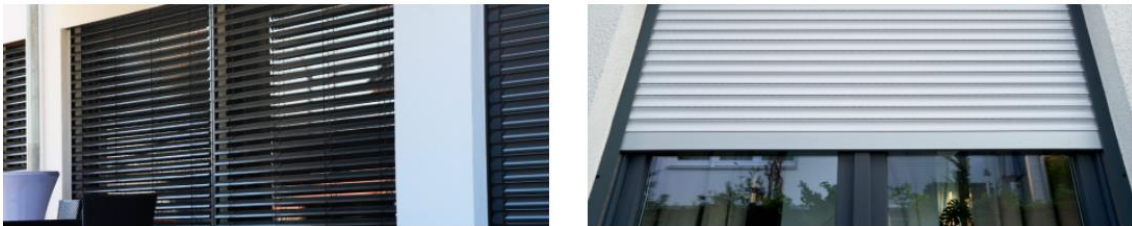
*Figura 72\_Sistema de correr (Cortizo, 2017)*

- Sistema de correr elevável



*Figura 73\_ Sistema de correr (Cortizo, 2017)*

Como complemento à caixilharia, os perfis em PVC podem também ter outras funcionalidades, como o sistema de estores apresentado na Figura 74.



*Figura 74\_ Sistemas de estores de PVC (Window, 2021)*

#### 4.3.2. Gama de cores

Uma das mais importantes fases no processo de fabrico de perfis de caixilharia é a do tratamento da superfície, uma vez que permite obter uma gama de produtos diferentes dentro dos caixilhos e garantir ao material uma camada protetora face aos agentes de degradação a que estará exposto ao longo da sua vida útil. Os tratamentos de superfície aplicados no Alumínio têm como finalidade o melhoramento da resistência deste à degradação e corrosão, ou simplesmente para efeitos estéticos. Os tratamentos existentes são realizados através de processos químicos, eletroquímicos ou, simplesmente, pela aplicação de tintas. O Alumínio lacado adquire elevada resistência ao impacto e à abrasão, boa deformabilidade (pode ser dobrado depois do tratamento) e é adequado para aplicações exteriores. Nos perfis de Alumínio há lacados com cores padrão, lacados texturados e salpicados, lacados com efeito metálico e lacados com acabamento aparência de madeira – ver exemplo na Figura 75.



Figura 75\_Exemplos de cores lacadas para perfis de Alumínio (Cortizo, 2017)

No caso de o Alumínio ter, em função da sua finalidade arquitetônica, maiores exigências de aspeto e longevidade, a anodização poderá ser considerada, oferecendo também uma grande diversidade de acabamentos em cor e textura, bem como uma maior proteção contra a corrosão, um aumento da durabilidade e uma diminuição dos custos de manutenção. A anodização transforma a superfície do Alumínio em óxido de Alumínio, formando uma camada uniforme e solidamente ligada ao Alumínio sendo que, a sua espessura pode variar dependendo do propósito pretendido. Os subtratamentos mais usados são o polido, que é o resultado de um tratamento mecânico, e o acetinado (ver Figura 76), que resulta de um tratamento químico.



Figura 76\_Exemplo de cores acetinadas para perfis de Alumínio (Cortizo, 2017)

Por ser um material mais recente que o Alumínio, o PVC ainda não possui tanta variedade de cores, mas também pode ter várias cores e texturas (ver exemplo da Figura 77). A aplicação de texturas e cores de madeira também é possível e é feita por revestimento do perfil de base com uma película de alta resistência ao calor e selável à radiação solar (Cortizo, 2017).



Figura 77\_ Exemplo de cores para perfis de PVC (Cortizo, 2017)

#### 4.3.3. Dimensões

Atualmente existem várias soluções em caixilharia com diferentes dimensões, desde pequenas janelas até vãos com alturas superiores. Não existe um valor referência máximo para a dimensão de um caixilho, este tem apenas de assegurar o seu bom funcionamento. Segundo o Viegas (2012), recomenda-se que a altura máxima de um vão não exceda a flecha de 1/200 do vão para as várias classes de resistência às solicitações do vento. Esta altura pode ser estimada sabendo a largura máxima do vão e a respetiva inércia.

De uma forma geral, os caixilhos de maior dimensão são os que apresentam pior desempenho, pelo que os fabricantes podem optar por ensaiar o maior vão envidraçado para a qualificação de uma família de produtos, extrapolando depois os resultados para os vãos de menores dimensões, desde que sejam utilizados os mesmos tipos de perfis e de componentes.

Posto isto, as dimensões máximas que um caixilho de Alumínio e de PVC pode ter variam conforme a área de secção, a forma do perfil e o tipo de material a utilizar, o que irá diferir de sistema para sistema.

Na Tabela 29 apresenta-se um resumo com dimensões e os pesos máximos de diferentes séries de caixilharias.

Tabela 29\_Capacidade máxima por folha de caixilharia de Alumínio com corte térmico e PVC com reforço

Tipologia	Alumínio – Corte térmico	PVC com reforço
Batente	Largura máx. (L) =1200mm Altura máx. (H) = 2800mm Peso máx.: 170 kg/folha	Largura máx. (L) =1100mm Altura máx. (H) = 2200mm Peso máx.: 100 kg/folha
Correr	Largura máx. (L) =1400mm Altura máx. (H) = 2300mm Peso máx.: 300 kg/folha	Largura máx. (L) =1500mm Altura máx. (H) = 2400mm Peso máx.: 140 kg/folha

A partir da análise dos valores apresentados na Tabela 29 constata-se que, na generalidade, as séries em Alumínio podem ter dimensões superiores e capacidade para aguentar com mais peso do que caixilharia em PVC. Essa diferença é particularmente notória na capacidade de peso máximo que a solução em Alumínio possui.

#### 4.3.4. Gama especiais

Neste ponto serão apresentados alguns modelos em uso no mercado no que toca a séries especiais.

Nas caixilharias em Alumínio pode optar-se por uma gama minimalista, com perfis menos espessos, como o apresentado na Figura 78, onde é privilegiada a transparência do vidro. Esta gama não está disponível em PVC e é muitas vezes devido a esta possibilidade que o Alumínio tem cada vez mais conquistado a preferência de arquitetos e projetistas em obras de todo o tipo, desde pequenas a grandes.

Em termos deste tipo de design, o PVC tem de facto menos opções, oferecendo apenas folha oculta para batente (Cortizo, 2017) (Extrusal, 2011) (Komerling, 2021) (SCHUSS, 2021) (REHAU, 2008). O sistema de folha oculta tem por objetivo ocultar o aro da folha móvel - a Figura 79 apresenta um exemplo dessa solução em Alumínio e a Figura 80 apresenta um exemplo dessa solução em PVC.

Para além da gama minimalista ou esteticamente mais elegante, existem também gamas especiais de caixilharia mais robusta com capacidade para suportar dimensões e pesos por folha elevados, como a ilustrada na Figura 81.





Figura 78\_ Sistema de Alumínio Cor Vision Plus de Correr com RPT (Cortizo, 2017)



Figura 79\_ Sistema de Alumínio COR 80 Folha Oculta RPT (Cortizo, 2017)

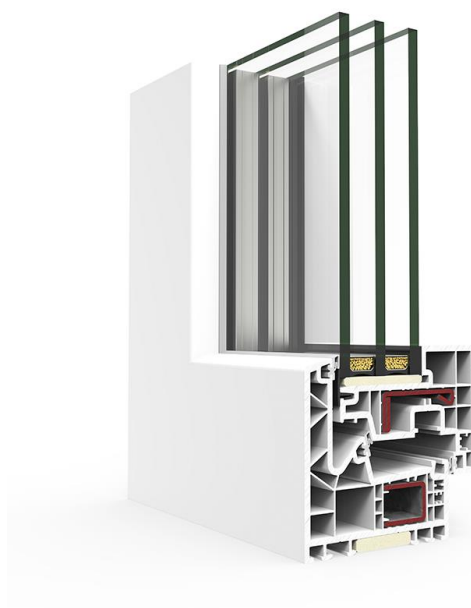


Figura 80\_ Sistema de PVC A 84 Folha oculta Passivhaus (Cortizo, 2017)



Figura 81\_ Sistema de Alumínio Porta Millennium Plus 80 RPT

#### 4.4. Manutenção

Segundo Cabral (2016), a manutenção pode definir-se como o conjunto das ações necessárias para assegurar o bom funcionamento dos equipamentos e dos sistemas, de acordo com as boas práticas técnicas e exigências legais, de forma a evitar a perda de função ou redução do rendimento e, no caso de tal acontecer, que sejam repostas em boas condições de operacionalidade com a maior brevidade possível, tudo com um custo global otimizado. As operações de manutenção são, na prática, a materialização das atividades que permitirão prolongar a vida útil dos diversos materiais em questão, parcial ou totalmente (Torres, 2009).

Os tipos de manutenção podem ser classificados conforme se ilustra Figura 82 e se passa a descrever (Cabral, 2016):

- Manutenção preventiva, a que é realizada com o objetivo de evitar avarias, perda ou redução de função;
- Manutenção corretiva, a manutenção não programável com antecipação, que é realizada na sequência de uma avaria ou perda de função;
- Melhoria, um estilo de manutenção adotado e estimulado nos tempos de hoje, que vai para além até da própria definição de manutenção, e que é projetado para melhorar o desempenho do equipamento no seu contexto.



Figura 82\_ Tipos de Manutenção (Cabral, 2016)

Para além da sua vertente especificamente técnica, a manutenção alcança hoje um conjunto muito vasto de atividades destinadas a responder a exigências legais, certificação, segurança e sustentabilidade social - esta última entendida como a capacidade de exhibir e poder demonstrar, a todo o momento, que são usadas práticas seguras, respeitadoras do ambiente e socialmente aceites. Estas considerações e o perfil tecnológico dos equipamentos e instalações atuais, explicam o porquê da função manutenção se ter tornado numa atividade de primeira linha com exigências de desempenho multidisciplinares, formação de técnicos e de gestores com uma responsabilidade muito vasta em qualquer organização (Cabral, 2016).

As condições de utilização são determinantes para potenciar a correta utilização dos vários componentes de um edifício e assim melhorar as condições para a manutenção. A manutenção de um dado elemento é influenciada pela utilização que se lhe dá. Se o elemento é utilizado incorretamente, as suas operações de manutenção não serão suficientes. Todos os componentes têm as suas limitações e é precisamente por esse motivo que as condições de utilização se integram nas operações de manutenção (Cabral, 2016). Na Figura 83 está apresentado um esquema síntese com alguns tipos de aberturas e a sua devida utilização, para um correto funcionamento dos mesmos, que muitas vezes não é devidamente respeitado pelos utilizadores, conforme se ilustra na Figura 84.



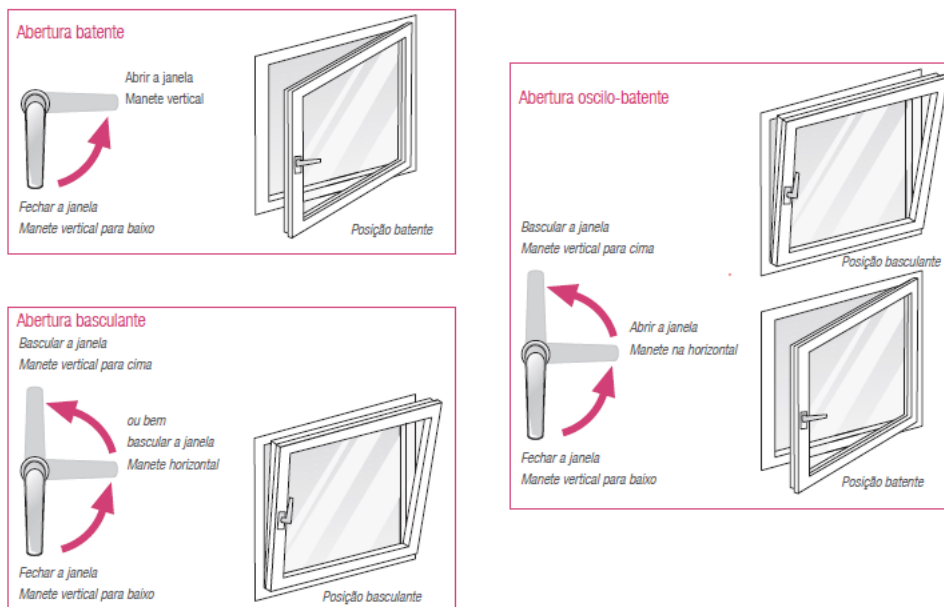


Figura 83\_ Funções e manipulação de caixilharia (REHAU, 2008)

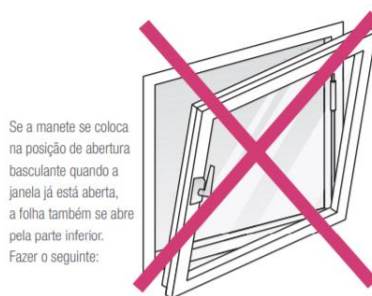


Figura 84\_ Exemplo de utilização incorreta de uma janela oscilo batente (REHAU, 2008)

Qualquer estratégia de manutenção necessita, para ser bem-sucedida, de uma rigorosa identificação de procedimentos. As operações de manutenção em caixilharias podem englobar diferentes tipos de ações (Torres, 2009):

- Inspeção;
- Limpeza e outras medidas pró-ativas (perante possíveis fenómenos pré-patológicos);
- Correção;
- Substituição.

As medidas de inspeção e limpeza são medidas pró-ativas, sendo que num cenário ideal, os procedimentos pró-ativos seriam suficientes num processo de manutenção. Porém, em casos de elevado estado de degradação, é necessário adotar medidas de correção e de substituição.

#### 4.4.1. Inspeção de caixilharias

Segundo Leite (2009) citando Lopes (2005), a inspeção é “um mecanismo de avaliação do estado de desempenho dos diversos elementos do edifício que permite determinar onde, quando e como atuar, determinando assim o planeamento das restantes operações preconizadas no plano de manutenção”, isto é monitorizar o comportamento do edifício ao longo da sua vida útil.

Dentro das operações de inspeção, podem distinguir-se dois níveis: as operações de inspeção, primeiro preliminar e depois detalhada, e o diagnóstico. A inspeção preliminar permite averiguar o problema genericamente e estabelecer um plano de inspeção detalhado, com recurso à observação visual e a eventuais instrumentos de medição. A inspeção detalhada e o diagnóstico são avaliações mais pormenorizadas, que permitem aferir a gravidade dos problemas e identificar fatores de degradação. Persistindo dúvidas em inspeções preliminares, nomeadamente na caracterização de um dado elemento, deverá recorrer-se à inspeção detalhada com recurso a meios laboratoriais, naturalmente mais eficazes, mas também mais dispendiosos (Torres, 2009).

Para Santos (2012), as medidas de inspeções de caixilharia *in situ* podem ser:

- Análise visual assistida: medição de fissuras/folgas/frestas, medição da inclinação (do peitoril), avaliação de esquadrias/alinhamentos;
- Métodos hídricos: projeção de água, submersão da base da caixilharia;
- Métodos de pressurização: teste do ventilador;
- Métodos elétricos: correntes induzidas;
- Métodos sonoros/acústicos: ultrassons para avaliação do isolamento sonoro;
- Métodos termo-higrométricos: medição da temperatura (superficial e ambiente) e medição da humidade (ambiente e dos materiais), bem como realização de termografia de infravermelhos.

#### 4.4.2. Limpeza e medidas pró-ativas em caixilharias

Ainda que sejam constantemente descuradas, as operações de limpeza na caixilharia, assumem um papel elementar ao acautelar situações anómalas decorrentes de sujidades e da acumulação de resíduos. Geralmente, acarretam menores custos do que outros procedimentos de manutenção.



Figura 85\_ Imagem ilustrativa de limpeza de janela

As medidas pró-ativas, nas quais se podem enquadrar as operações de inspeção e de limpeza, assumem um papel fulcral, na medida em que previnem o aparecimento de anomalias mais graves que podem obrigar à substituição total de um dado componente. Se a manutenção pró-ativa se dever a um deficiente comportamento do EFM<sup>2</sup> (Elementos Fonte de Manutenção), passa a designar-se por tratamento de pró-utilização, cujo o propósito é evitar o reaparecimento de fenómenos patológicos; caso se deva à perda natural de desempenho, o que acontece por envelhecimento, adquire a denominação de ajuste funcional (Torres, 2009). Este último, na maior parte dos casos, é o resultado da incompatibilidade entre as características do edifício e os seus utilizadores. Neste caso a alteração dos hábitos dos utilizadores, de forma a que os comportamentos correspondam às condições de utilização previstas para um determinado equipamento ou infraestrutura podem ajudar a solucionar esse tipo de problema.

#### 4.4.3. Medidas de correção em caixilharias

Após o aparecimento de uma anomalia num dado elemento, as medidas de correção são aquelas que levam à reparação, sem recurso a uma substituição total. Isto significa a substituição de parte de um elemento, para que este tenha um desempenho apropriado. Frequentemente, as medidas de correção solucionam, desde que devidamente estudadas, as anomalias que se manifestam em zonas muito específicas e facilmente localizáveis, podendo impedir a propagação da patologia para outras zonas e evitando fenómenos de repatologia (Torres, 2009). Exemplos destas medidas podem ser a lubrificação de acessórios, como dobradiças, manetes ou cremones e ainda a calafetação de janelas.

---

<sup>2</sup> São elementos, que permitem uma subdivisão e caracterização funcional de um edifício. Cada EFM tem uma especificidade própria, estando associados modelos de degradação exclusivos e, naturalmente, diferentes operações de manutenção.

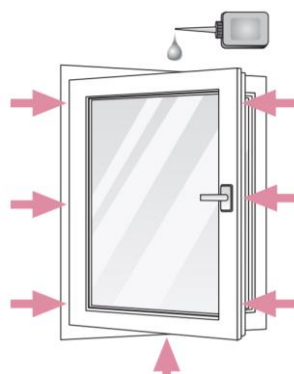


Figura 86\_Lubrificação de janela (REHAU, 2008)

#### 4.4.4. Medidas de substituição

Quando o elemento esgota todas as medidas de manutenção acima mencionadas e atinge a sua rotura funcional, este deve ser substituído por outro com características iguais. Segundo Torres (2009) nas medidas de substituição ganha especial relevância o conceito de manutenibilidade ou falta dela. A manutenibilidade deve ser analisada a par com a fase do projeto, onde deve ser prevista a necessidade futura de se proceder à substituição de determinados componentes, pelo que devem ser asseguradas condições adequadas para esse efeito, nomeadamente no que diz respeito ao acesso.

#### 4.4.5. Manutenção do vidro

Segundo a empresa Saint Gobain um vidro que tenha sido corretamente montado não necessita de cuidados particulares. A limpeza faz-se com água limpa ou com produtos correntes não alcalinos e o proprietário do edifício deverá garantir que se realize correta e regularmente uma manutenção aos vidros. A periodicidade da limpeza depende essencialmente do ambiente exterior, ou seja, do nível de poluição. No geral aconselham-se pelo menos duas limpezas por ano, com água limpa e não calcária, álcool ou agentes neutros isentos de matérias abrasivas ou com flúor. Imediatamente após a lavagem é importante assegurar a secagem de toda a superfície dos vidros. Lavar o vidro frequentemente é importante não só para remover a sujidade da superfície, mas também para evitar manchas. A mancha do vidro pode ocorrer quando o sódio que existe no vidro reage com a humidade do ar, originando hidróxido de sódio. Se o hidróxido de sódio permanecer na superfície do vidro por um período prolongado, o vidro ficará danificado.

#### 4.4.6. Manutenção de caixilharia de Alumínio

Findo o processo de fabrico e montagem, o caixilho é aplicado em obra estando pronto a ser utilizado. Contudo torna-se imperativo proceder à sua manutenção e limpeza periódica de forma a garantir a durabilidade do caixilho e de assegurar o funcionamento espetável. A limpeza do caixilho está diretamente relacionada com a longevidade do Alumínio e deve ser adequada ao tipo de tratamento que foi dado à sua superfície: Anodização ou Lacagem.

Segundo o manual de manutenção publicado no gerador de preços do Cype, (CYPE, 2008), para fazer a manutenção de um caixilho de Alumínio deve ter-se em conta as seguintes recomendações:

- Para zonas pouco sujas, utilizar água e secar com um pano suave e um absorvente;
- Em superfícies sujas usar um detergente ou materiais ligeiramente abrasivos, enxaguar com água abundante e secar com um pano suave e absorvente;
- Em superfícies muito sujas utilizar-se-ão produtos recomendados pelo método anterior, aplicando-os com uma esponja de nylon;
- Evitar a limpeza das superfícies quentes ou que se encontrem ao sol, sobretudo para os lacados. Os dissolventes não devem ser aplicados em superfícies lacadas;
- Nunca utilizar produtos suscetíveis de atacar a caixilharia como produtos abrasivos, dissolvente, acetona ou álcool.

Na Tabela 30 estão apresentadas as periodicidades de manutenção recomendáveis, quer relativamente às ações a realizar pelo utilizador do edifício, quer relativamente às ações a realizar pelo(s) profissional(ais) qualificado(s) para intervir num caixilho de Alumínio.

*Tabela 30\_ Periodicidade de Manutenção. Adaptado de CYPE (2008)*

	Periodicidade	Tipo de manutenção
UTILIZADOR	3 em 3 meses	Limpeza da sujidade devida à contaminação e ao pó com água e um detergente não alcalino, aplicando-o com um pano suave ou uma esponja que não risque; deverá enxaguar-se com água abundante e secar com um pano; Limpeza das calhas, no caso de folhas de correr.

	1 em 1 ano	Lubrificação das ferragens e verificação do correto funcionamento dos mecanismos de fecho e manobra.
	3 em 3 anos	Inspeção visual para detetar perda de estanquidade dos perfis, roturas, falhas na fixação do envidraçado e deterioração ou desprendimento da pintura, se for o caso.
PROFISSIONAL QUALIFICADO	6 em 6 meses	Verificação do funcionamento de fechos automáticos, retentores magnéticos, mecanismos inclinados, motores hidráulicos, etc.
	1 em 1 ano	Reparação dos elementos de fecho e fixação, em caso necessário.
	3 em 3 anos	Substituição dos elementos afetados, em caso de rotura ou perda de estanquidade de perfis, com reposição de lacagem, se for o caso.
	5 em 5 anos	Revisão do elemento isolante e dos vedantes.
	10 em 10 anos	Inspeção da ancoragem dos aros das portas às paredes; Renovação da vedação dos aros com a fachada.

#### 4.4.7. Manutenção de caixilharia de PVC

Os perfis em PVC são produzidos com um polímero resistente às intempéries que mantém as suas características ao longo do tempo e é fácil de manter. A limpeza, que deve ser feita utilizando produtos adequados, determina, entre outras coisas, a durabilidade e aparência das janelas. A Tabela 31 apresenta uma síntese da periodicidade e do tipo de manutenção que se deve respeitar nas caixilharias de PVC.

Tabela 31\_ Periodicidade de Manutenção. Adaptado de (CYPE, 2008)

	Periodicidade	Tipo de manutenção
UTILIZADOR	3 em 3 meses	Limpeza da sujidade devida à contaminação e ao pó com água ou água com sabão neutro; Limpeza das calhas, no caso de folhas de correr; Limpeza das ranhuras de drenagem com uma vareta fina de madeira ou de plástico.
	1 em 1 ano	Lubrificação das ferragens e verificação do correto funcionamento dos mecanismos de fecho e manobra. Se necessário, serão lubrificados com óleo ligeiro ou serão desmontados para uma manutenção correta. Lubrificação de todas as juntas com um aplicador de gordura ou com vaselina.

	3 em 3 anos	Inspeção visual para detetar perda de estanquidade dos perfis, roturas e falhas na fixação dos vidros.
PROFISSIONAL QUALIFICADO	6 em 6 meses	Verificação do funcionamento de fechos automáticos, retentores magnéticos, mecanismos inclinados, motores hidráulicos, etc.
	1 em 1 ano	Reparação dos elementos de fecho e fixação, se necessário.
	3 em 3 anos	Reparação ou reposição do revestimento de perfis pré-lacados, no caso de deterioração ou desprendimento da pintura.
	5 em 5 anos	Revisão do elemento isolante e dos vedantes.
	10 em 10 anos	Inspeção da ancoragem dos aros das portas às paredes; Renovação da vedação dos aros com a fachada.

#### 4.5. Durabilidade

A Norma ISO 15686-1 (2011) define degradação como a alteração ao longo do tempo da composição, microestrutura e propriedades de um produto, material ou componente que resulta numa redução do seu desempenho. Degradação que é causada por agentes que alteram as características fundamentais do produto, no caso em estudo da caixilharia, provocando alterações nos seus constituintes, acabando por conduzir à disfuncionalidade da mesma.

Para conseguir ter uma noção da durabilidade de um elemento da construção, é preciso conhecer os seus vários componentes e as suas características, bem como o respetivo meio envolvente. O dicionário de língua portuguesa da Porto Editora, define durabilidade como sendo a “duração”, “longevidade” ou “qualidade daquilo que é durável” (Porto Editora, 2003-2021). O conceito de durabilidade fica assim diretamente associado ao tempo de vida útil, que um dado elemento ou sistema construtivo tem que ter para cumprir as funções para que foi projetado.

Sendo assim, a avaliação da durabilidade de um material ou componente de um edifício contribui para a definição de alguns pormenores e especificações. Por outro lado, a existência de um prognóstico da vida útil de um edifício e de todos os seus elementos, permite a elaboração de um plano de manutenção mais eficaz, tendo em conta que o conceito de durabilidade está associado à vida útil de um elemento construtivo e ao tempo durante o qual cumpre as funções para o qual foi concebido (COSTA, 2013). Desta forma, a durabilidade estabelece uma relação com o intervalo de

tempo para o qual a construção, ou uma caixilharia, consegue desempenhar as funções para que foi dimensionada, necessitando assim de um conhecimento das propriedades dos materiais e dos componentes de construção que dela fazem parte, bem como da envolvimento do meio onde estará inserida.

De modo a obter uma previsão de vida útil de determinado elemento, o estudo da mesma deve ser feito baseando-se em metodologias rigorosas, como o que é possível consultar na Figura 87.

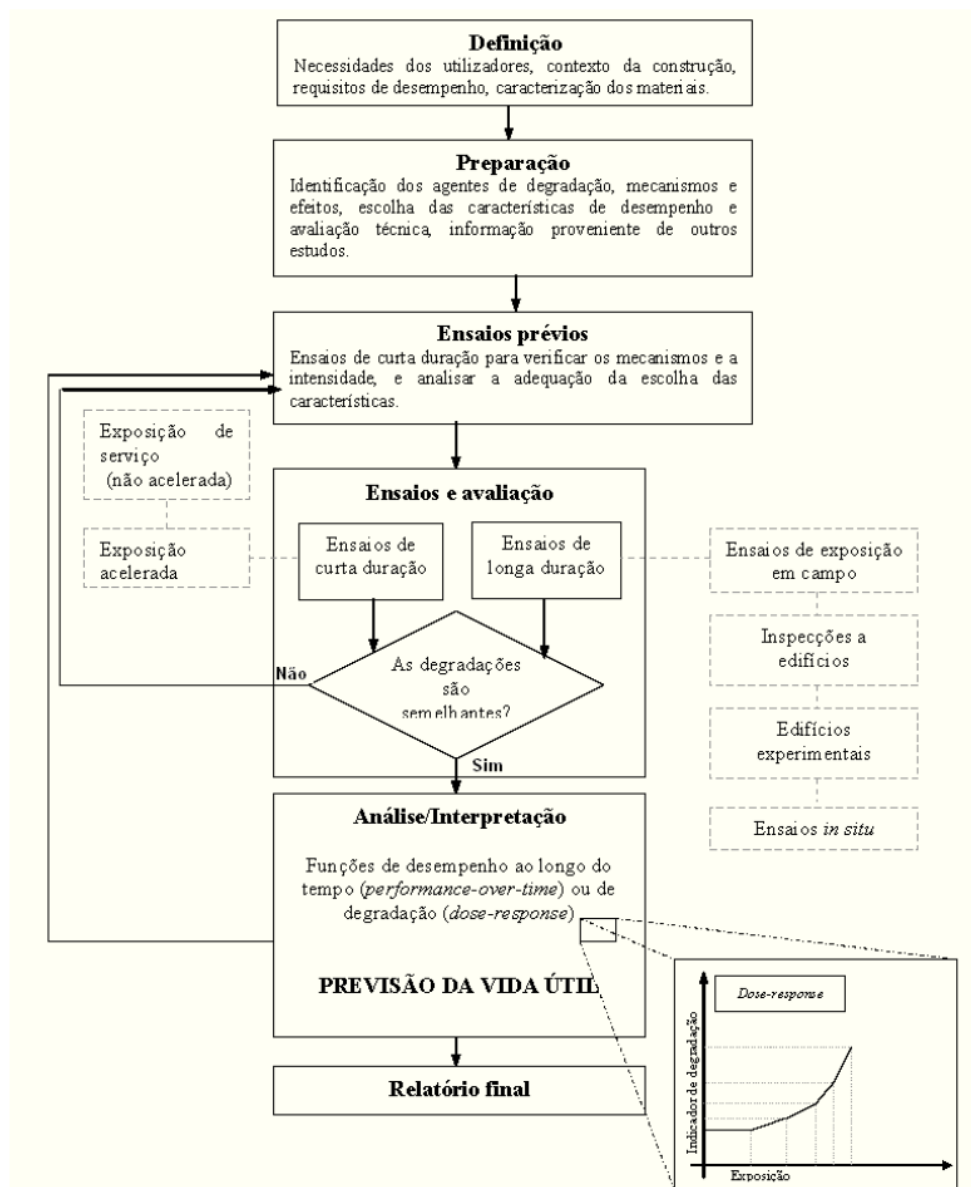


Figura 87\_ Metodologia para a previsão do tempo de vida útil (Santos M. R., 2010)

Segundo a metodologia apresentada na Figura 87, a previsão de vida útil rege-se por um processo que é repetido várias vezes, o que permite tomar decisões durante o desenvolvimento das etapas, tornando possível obter uma melhor previsão de acordo



com o conhecimento e os dados disponíveis (Santos M. R., 2010). Pela existência de novas exigências, associadas ao tempo percorrido, o nível de desempenho, quanto à durabilidade do elemento em questão, vai sendo alterado.

Raposo (2009) citando Moser, (1999) propõe a determinação, caso a caso, dos fatores determinantes para o fim da vida útil, em função de níveis de aceitação expectáveis. O fim da vida útil poderá ser determinado pela degradação estética, pela perda de funcionalidade ou pela diminuição dos níveis de segurança de uma construção. A vida útil pode estar sujeita a várias características críticas de desempenho, havendo uma que acaba por ser determinante, tornando-se condicionante para a sua função plena. No gráfico apresentado na Figura 88, o primeiro fator a atingir o nível mínimo trata-se da degradação da “aparência”, o que significa que esta será a condicionante limitante para a sua vida útil. A partir desse gráfico é possível fazer uma comparação destes diferentes conceitos e verificar que a segurança, de extrema importância, apresenta uma exigência mais elevada que os restantes critérios, porém não chega a ser a condicionante do ponto de vista da estimativa da vida útil. Já as propriedades relacionadas com a aparência atingem os níveis mínimos mais cedo, tornando-se vulgarmente nas propriedades que mais condicionam o fim da vida útil (Raposo, 2009).

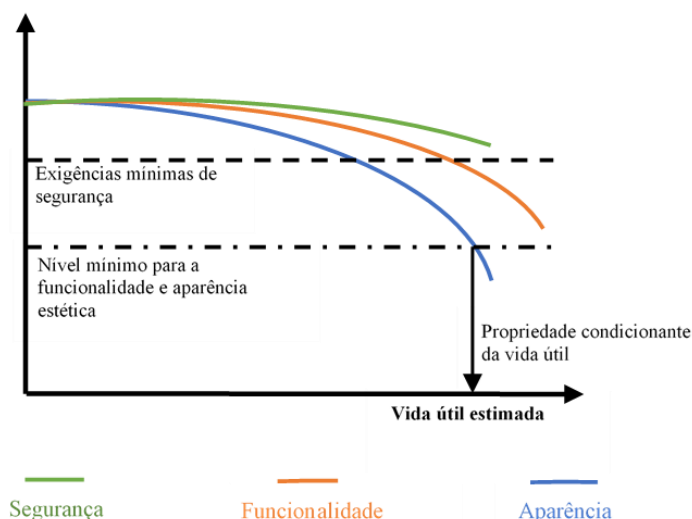


Figura 88\_ Relação entre o desempenho das propriedades de um elemento e os níveis mínimos aceitáveis (Raposo, 2009)

A durabilidade de uma caixilharia depende, em parte, do ambiente a que a mesma vai estar sujeita, sob influência de um conjunto de ações que podem atuar de forma isolada e/ou combinada, conduzindo à perda do desempenho da mesma.

Em seguida serão apresentados alguns dos agentes de degradação, associados às caixilharias de Alumínio e PVC em estudo, mas importa salientar que para a quantificação dos efeitos prováveis de degradação de um produto, deve ser tido em conta a medida de intensidade dos agentes de degradação, assim como a respetiva frequência.

A durabilidade mecânica é uma das formas de estimarmos a durabilidade de uma caixilharia, uma vez que a resistência de um caixilho é medida através de manobras repetidas de abertura e fecho. Assim, pode ser descrita como a capacidade que um dispositivo de abertura e fecho tem para assegurar o seu eficaz funcionamento durante a sua vida útil (COSTA, 2013). Dos esforços resultantes da normal utilização dos mecanismos das ferragens podem advir empenos, deformações ou, em última instância, arrancamento. Pretendendo-se que a caixilharia seja capaz de resistir a este tipo de esforços de repetição sem deformações ou defeitos críticos, como desgastes excessivos, pelo que é desejável que a janelas manobradas manualmente sejam ensaiadas segundo a norma EN 12046-1 (2003), e os seus resultados sejam analisados e classificados com base na norma EN 13115, (2001). No caso de portas pedonais manobradas manualmente, os ensaios devem ser feitos de acordo com a norma EN 12046-2 e os resultados analisados e classificados pela norma EN 12217, (2003).

Posto isto, e de forma sucinta, a caixilharia sofre com condições ambientais que lhes causam uma degradação gradual. A exposição de caixilhos envolve fatores tão variados como a configuração geométrica e os detalhes da construção, composição, porosidade e adesão de produtos de corrosão, poluição ambiental, humidade, exposição solar e variações de temperatura. Além da escolha do material, a manutenção e limpeza adequadas são outros fatores importantes no tempo real de vida útil das janelas.

#### 4.5.1. Agentes de degradação

A análise dos agentes de degradação deverá ter em conta as interações entre vários fatores e o facto como essa atuação conjunta poder acelerar o processo de envelhecimento. Por vezes, condições extremas mais estáveis são menos prejudiciais do que condições mais moderadas, mas variáveis (Raposo, 2009). Na Tabela 32, adaptada da norma ISO 15686-1 (2011), estão enunciados alguns dos tipos de agentes de degradação que afetam a duração da vida útil dos produtos de construção.

Tabela 32\_ Agentes de degradação (COSTA, 2013)

Natureza	Classe	Exemplos
Mecânica	Gravitacionais	Ações permanentes Sobrecargas Ação da neve
	Forças aplicadas e deformações impostas ou restringidas	Expansão e contração Formação de gelo Deslizamento de terras
	Energia cinética	Impactos Choque hidráulico
	Vibrações e ruídos	Vibrações devidas a tráfego ou equipamentos
Eletromagnética	Radiação	Solar UVE Radioatividade
	Eletricidade	Reações eletrolíticas Iluminação elétrica
	Magnetismo	Campos magnéticos
Térmica	Níveis extremos ou variações acentuadas de temperatura	Calor Geada Choque térmico Fogo
Química	Água e solventes	Humidade do ar Humidade do solo Precipitação Álcool
	Agentes oxidantes	Oxigénio Desinfetantes
	Agentes redutores	Sulfuretos Amoníaco
	Ácidos	Ácido carbónico Excrementos de pássaro
	Bases	Cimento Hidróxidos Cal
	Sais	Nitratos Fosfatos Cloretos Gesso
	Substâncias quimicamente neutras	Gordura Óleo Calcário
Biológica	Plantas e Micróbios	Bactérias Bolores Fungos Raízes
	Animais	Roedores Térmitas Vermes Pássaros

#### 4.5.2. Durabilidade da caixilharia de Alumínio

A durabilidade dos vãos envidraçados depende do comportamento dos elementos que os compõem, quando expostos a longos intervalos de tempo às ações das intempéries, e será garantida enquanto estes assegurarem o desempenho das suas características mecânicas e estéticas. Analisam-se de seguida as características do Alumínio e dos fatores que contribuem para a diminuição da sua durabilidade (Barbosa, 2010).

Como a decomposição do Alumínio demora entre 200 e 500 anos, este é um material de difícil degradação cujo principal agente de deterioração é o processo de oxidação, que acontece com maior facilidade em meios mais alcalinos, sendo a velocidade de oxidação diretamente proporcional à alcalinidade do meio ambiente ou dos elementos com que está em contacto (Barbosa, 2010). O processo de oxidação no Alumínio, cria uma camada que não tem um caráter progressivo nem deteriorante, mas atua antes como uma espécie de proteção natural e permanente contra as intempéries, ou seja, contra as condições atmosféricas extremas.

Nos edifícios, cuja vertente estética e cujas condições ambientais da envolvente não sejam muito adversas não é existe a necessidade de qualquer tratamento superficial de acabamento, pois o Alumínio é um material que adquire com o tempo uma camada acinzentada, por baixo da qual o metal se mantém intacto (Barbosa, 2010). Com isto, num ambiente rural, onde geralmente a atmosfera é muito pouco agressiva, ocorre menor perda de massa e os caixilhos apresentam maior durabilidade. Contudo, num ambiente atmosférico mais citadino ou marítimo, a perda de massa ocorre de forma mais acentuada, provocando um menor tempo de vida dos materiais metálicos.

Quando a estética ou as condições do meio ambiente obrigam um cuidado especial, existe a necessidade de se proteger adequadamente o Alumínio, por exemplo através do processo de anodização ou lacagem (Barbosa, 2010). A anodização e a lacagem são dos processos mais comumente utilizados para garantir essa camada de proteção. A anodização é um tratamento de superfície que forma sobre a superfície do Alumínio uma camada de óxido de espessura determinada, sendo um processo eletrolítico seguido de coloração e colmatagem. A camada gerada garante uma maior proteção do Alumínio contra a corrosão e abrasão resultantes da sua exposição a ambientes agressivos. A espessura da camada anódica será tanto maior, quanto mais corrosiva for a atmosfera a que o Alumínio vai estar sujeito. Por sua vez, a lacagem trata-se de um processo de pintura termoendurecível que consiste em revestir o

Alumínio de uma camada de tinta em pó de poliéster por processo eletrostático e posterior polimerização. A lacagem oferece uma variada paleta de cores em função da tinta em pó utilizada, as quais podem ser brilhantes, mates, acetinadas ou texturadas.

Segundo a norma NF P24 – 351, que define a proteção contra corrosão e preservação das condições de superfície da marcenaria metálica, fachadas cortinas, painéis de estrutura metálica e trabalhos em metal, a espessura da anodização, para as atmosferas urbanas, industriais ou mistas, deve ter uma espessura média de 15 µm, enquanto que para atmosferas mistas, deve ter uma espessura média de 20 µm (Verdelho, 2005). Esta técnica confere ao Alumínio cores estáveis, mesmo quando empregue em situações onde os agentes de oxidação externos são rigorosos, como nos casos de zonas costeiras, ambientes industriais ou quando submetido a agressivas intempéries. No caso da lacagem, a pintura a pó apresenta boa resistência à luz solar e é recomendada sempre que se exija maior proteção contra raios ultravioleta. Neste processo obtêm-se espessuras na faixa de 45 a 110 µm (Verdelho, 2005).

*Tabela 33\_ Características a controlar para revestimentos termolacados da Classe 1 (Barbosa, 2010)*

Características	Método de Ensaio	Exigência Mínima
<b>Espessura</b>	EN ISO 23607EN ISO2808i	60 µm <sup>23</sup>
<b>Aspecto</b>	Observação Visual	Nada a assinalar
<b>Aderência</b>	NP EN ISO 2409	Classe 0
<b>Identação (Dureza)</b>	NP EN ISO 2815	> 100
<b>Resistência ao nevoeiro salino acético 1000h</b>	EN ISO 9227	Área de Corrosão: 16 mm <sup>224</sup>
		Diâmetro máximo: 4 mm
<b>Brilho</b>	NP ISO 2813	Dependendo da classe
<b>Embutimento</b>	NP EN ISO 1520	5 mm
<b>Flexibilidade</b>	NP EN ISO 1519	Nada a assinalar
<b>Resistência ao Choque</b>	NP EN ISO 6272 ASTM D 2794 adaptado	2,5 Nm
<b>Resistência à Corrosão:</b>		Nada a assinalar a partir de 0,5 mm de corte
Método de Machu	Método específico	
Método da água em ebulição	Método específico	Nada a assinalar
<b>Resistência ao solvente</b>	Método da Mancha	Ligeira perda de brilho
<b>Resistência ao Corte</b>	Método específico	Nada a assinalar

Para além do controlo da qualidade dos tratamentos de superfície, existem outras recomendações normativas relativas aos ensaios que permitem testar as propriedades do Alumínio, com vista a assegurar a durabilidade do Alumínio e apresentam se na tabela seguinte.

Tabela 34\_ Normas e certificação aplicáveis ao Alumínio (COSTA, 2013)

Referência	Título
Qualicoat	<i>Certificação de Qualidade de Lacagem.</i>
Qualianod	<i>Certificação de Qualidade de Anodização.</i>
EN 12373:2006	<i>Alumínio e ligas de Alumínio. Anodização.</i>
NP EN 573:2008	<i>Alumínio e ligas de Alumínio. Composição química e forma dos produtos trabalhados.</i>
EN 755-1:2008	<i>Aluminium and aluminium alloys. Extruded rod/bar, tube and profiles. Part 1: Technical conditions for inspection and delivery.</i>
NP EN 755-2:2012	<i>Alumínio e ligas de Alumínio. Barras, tubos e perfis extrudidos. Parte 2: Características mecânicas.</i>

Para provocar um aumento da vida útil do Alumínio, aplicado neste caso a caixilharias, tentando manter a aparência, a segurança e a funcionalidade, pelo maior tempo possível, há que ter em atenção que o Alumínio é quimicamente ativo perante materiais alcalinos, daí que em contacto com o cimento, o gesso e a cal, o Alumínio é atacado durante o respetivo endurecimento. Assim, é conveniente proteger com pinturas adequadas as superfícies de Alumínio em contacto com elementos construtivos que contêm estes materiais, evitando o contacto com os compostos de oxidoreto de magnésio, como os que se utilizam para o revestimento de pavimentos, assim como com outros aceleradores de presa do betão. Uma vez que a água, estagnada, se torna ácida é de evitar que esta esteja em contacto permanente com o Alumínio a fim de evitar a conseqüentemente corrosão (ABAL, 2019).

Para Santos A. J. (2012), citando Pereira (2004), as anomalias mais comuns em vãos envidraçados com Alumínio são as apresentadas na Tabela 35.

Tabela 35\_ Anomalias mais comuns em caixilharias de Alumínio e as suas possíveis causas (Santos A. J., 2012)

Anomalias	Causas possíveis
Perda de estanqueidade à água	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Vedação deficiente</li> <li>-Furos de drenagem da barreira exterior que limite o caudal de água infiltrado</li> <li>-Inexistência de barreira exterior que limite o caudal de água infiltrado</li> <li>-Inexistência de câmara para recolha e drenagem de água entre as duas linhas de vedação</li> <li>-Utilização de um vedante de baixa permeabilidade ao ar na linha exterior de vedação</li> <li>-Ausência de pingadeira na face externa.</li> <li>-Inexistência de lacrimais que evitem a progressão das gotas de água aderentes às superfícies</li> <li>-Utilização de aros incompletos</li> </ul>
Deformações excessivas	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Deficiência de projeto</li> <li>-Fixações à envolvente insuficientes ou mal distribuídas</li> <li>-Vidros mal calçados</li> <li>-Ferragens de fecho mal afinadas ou pontos de fecho em número insuficiente</li> </ul>

Fratura de vidros	-Calçamento deficiente -Folga insuficiente na junta dos vidros -Dilatações diferenciais devidas ao efeito de sombreamento -Juntas de dilatação da caixilharia mal concebidas
Condensações	-Isolamento térmico insuficiente -Elevada humidade ambiente
Condensações no interior de vidros isolantes	-Deficiência de fabrico -Calçamento deficiente
Degradação da anodização	-Espessura insuficiente -Colmatagem insuficiente
Degradação da termolacagem	-Espessura insuficiente -Aderência deficiente -Utilização incorreta de acessórios do caixilho que, por contacto deslizante, podem desgastar o revestimento
Diferenças de cor	-Processo de fabrico deficiente (principalmente nos anodizados)
Oxidação dos acessórios	-Retenção de água no interior dos caixilhos -Revestimento superficial de proteção dos acessórios deficiente

Num estudo comparativo intitulado “Life Cycle of Window Materials – A Comparative Assessment”, elaborado por Asif, Davidson e Muneer, em 2002, foi realizado um inquérito a 22 autoridades locais sobre a vida útil e as características de manutenção de caixilharias. Através dos resultados do questionário Asif, Davidson e Muneer concluíram que a durabilidade de caixilharia de Alumínio e de Madeira, poderiam facilmente durar mais do que 40 anos, ao passo que os caixilhos de PVC durariam 25 anos. Nesse estudo foi registada uma duração média de 43,6 e 24,1 anos e uma duração mediana de 40 e 22,5 anos, respetivamente para caixilharia de Alumínio e PVC.

#### 4.5.3. Durabilidade da caixilharia em PVC

As caixilharias em PVC são extremamente resistentes a fungos, bactérias, poluição, maresia e outros elementos corrosivos similares, o que garante maior durabilidade. Isto porque o PVC, dependendo da finalidade a que se destina, é especialmente aditivado para conferir propriedades específicas, tais como rigidez ou flexibilidade, transparência ou opacidade, ou ainda, para apresentar maior resistência à exposição e às intempéries (Junior, Nunes, & Ormanji, 2006).

O PVC tem um bom comportamento em zonas costeiras devido à sua boa resistência química, o que aumenta a sua durabilidade nesses ambientes. Além disso, ainda que possua vida útil significativa, é um material termoplástico, que pode apresentar deformações acentuadas ao longo do tempo, seja por tensões diversas ou por exposição a temperaturas elevadas (Oliveira, 2012). Apesar de ser muito fácil de

fazer as ações de manutenção de limpeza das caixilharias em PVC, como se trata de um material que é soldado nas suas uniões, se existir a necessidade de substituir alguma parte da janela ou porta, o caixilho tem de ser trocado por outro.

Na Tabela 36 são apresentadas as principais normas e certificações aplicáveis às caixilharias de PVC.

*Tabela 36\_ Normas e certificação aplicáveis ao PVC (COSTA, 2013)*

Referência	Título
EN 479:1995	Perfis de polivinilcloreto não plastificados (PVC-U) para a fabricação de janelas e portas - Determinação do calor reversão
EN 478:1995	Perfis de polivinilcloreto não plastificados (PVC-U) para a fabricação de janelas e portas - Aparência após exposição em 150 °C - Método de ensaio
EN 477:1995	Perfis de polivinilcloreto não plastificado (PVC-U) para a fabricação de janelas e portas - Determinação da resistência ao impacto dos perfis principais pela queda da massa
EN 513:1999	Perfis de polivinilcloreto não plastificados (PVC-U) para a fabricação de janelas e portas - Determinação do resistência à intempéries artificial
EN 514:2000	Perfis de polivinilcloreto não plastificados (PVC-U) para a fabricação de janelas e portas - Determinação da resistência de cantos soldados e t-joints.
EN 12608:2003	Perfis de polivinilcloreto não plastificados (PVC-U) para a fabricação de janelas e portas - Classificação, requisitos e métodos de teste.

Santos A.J. (2012), citando a Gomes (2011), aborda as anomalias mais comuns na caixilharia de PVC, bem como as suas possíveis causas (Tabela 37).

*Tabela 37\_ Anomalias mais comuns em caixilharias de PVC e as suas possíveis causas (Gomes J. , 2011 )*

Anomalias	Causas possíveis
Varição das juntas de dilatação	-Movimento anormal de paredes por causas várias -Movimento anormal por assentamento do terreno -Carga excessiva em determinadas lajes -Movimento anormal das juntas de dilatação do edifício
Rotura de vidros	-Por acidente -Por variação das juntas de dilatação -Por variação térmica devida ao fator sol-sombra -Por incorporação de algum elemento estranho ao vidro -Por colocação de mobiliário interior próximo da fachada -Por defeitos nos rebordos dos vidros -Pelos produtos utilizados durante a limpeza -Por causa extraordinária (meteorológica ou sísmica)
Perda de brilho e riscos nos vidros	-Falta de limpeza em ambientes contaminantes -Limpeza com utensílios ou líquidos não adequados -Abrasão por fenómenos naturais
Deterioração da junta de estanqueidade exterior	-Falta de limpeza em ambientes contaminantes -Limpeza com utensílios ou líquidos não adequados -Abrasão por fenómenos naturais -Limpeza com água sob pressão ou com máquinas de vapor



	-Movimento anormal das juntas de dilatação do edifício
Falta de aderência na junta de estanqueidade exterior	-Falta de limpeza no momento de aplicar a junta -Movimentos anormais da junta -Cortes durante a limpeza
Perda de estanqueidade das janelas	-Deterioração da junta de estanqueidade exterior -Falha na conexão dos montantes com as travessas -Perda de estanqueidade nas juntas de dilatação -Perda de funcionalidade nos elementos móveis -Movimento anormal das uniões das janelas com outros elementos -Obstrução dos furos de drenagem
Perda da funcionalidade de janelas de batente / oscilobatentes	-Deterioração por causas várias das juntas de estanqueidade -Pontos de fecho deteriorados por mau uso

Como referido acima, no Reino Unido, Asif, Davidson, & Muneer (2002), concluíram a partir de um estudo realizado a 22 autoridades locais, o valor estimado do tempo de vida médio de um caixilho de PVC, na maior parte dos casos, é de 25 anos. O inquérito consistiu num questionário sobre a vida útil e as características de manutenção de caixilharias. É importante referir que estes valores foram determinados com base num inquérito realizado e que, por isso, apresentam uma análise empírica e sensorial do desempenho das caixilharias, em função dos níveis de exigência dos 22 inquiridos, podendo não refletir da forma mais adequada os critérios técnicos e de degradação física das caixilharias.

#### 4.6. Impacto ambiental

Neste ponto serão abordados os impactos ambientais que o processo de obtenção de perfis extrudidos de Alumínio desde a extração das matérias primas e uso até à sua reciclagem ou fim de vida. Os impactos ambientais são alterações no ambiente originadas pelo desenvolvimento das atividades humanas no espaço geográfico. Estes impactos podem ser positivos, quando resultam em melhorias para o ambiente, ou negativos, quando as alterações causam riscos para o ser humano ou para o ambiente. Em virtude do modelo de desenvolvimento da sociedade moderna, que se baseou na exploração intensiva dos recursos naturais do mundo, o termo “impactos ambientais negativos” são os mais conhecidos atualmente. Entre os principais impactos ambientais negativos causados pelo desenvolvimento das atividades humanas, destacam-se a redução da biodiversidade de plantas e animais, a contaminação do ar, água, fauna e flora, compactação, impermeabilização, redução da fertilidade e erosão do solo, alterações climáticas e o aumento do buraco da camada de ozono.

O percurso para o desenvolvimento sustentável requer métodos e ferramentas para medir e comparar o impacto ambiental das atividades humanas na produção de bens e serviços. O consumo de recursos e das emissões (líquidas, gasosas ou sólidas) no meio ambiente resulta em impactos ambientais negativos. Estes ocorrem em atividades relacionadas com as várias fases do ciclo de vida de um determinado produto, nomeadamente a extração de matérias-primas, a produção de materiais, o fabrico e utilização de produtos e o seu fim de vida (reciclagem, reutilização ou incineração) (Machado, 2014).

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma metodologia que avalia o impacto ambiental de um determinado produto ou serviço ao longo de todo o seu ciclo de vida. As atividades consideradas num estudo de ACV incluem conceção e desenvolvimento do produto, extração de recursos, produção de materiais e fabrico dos produtos, utilização e consumo e, por fim, atividades de fim de vida. A Figura 89 representa o exemplo de um ciclo de vida de um produto fabricado em compósitos (Machado, 2014).

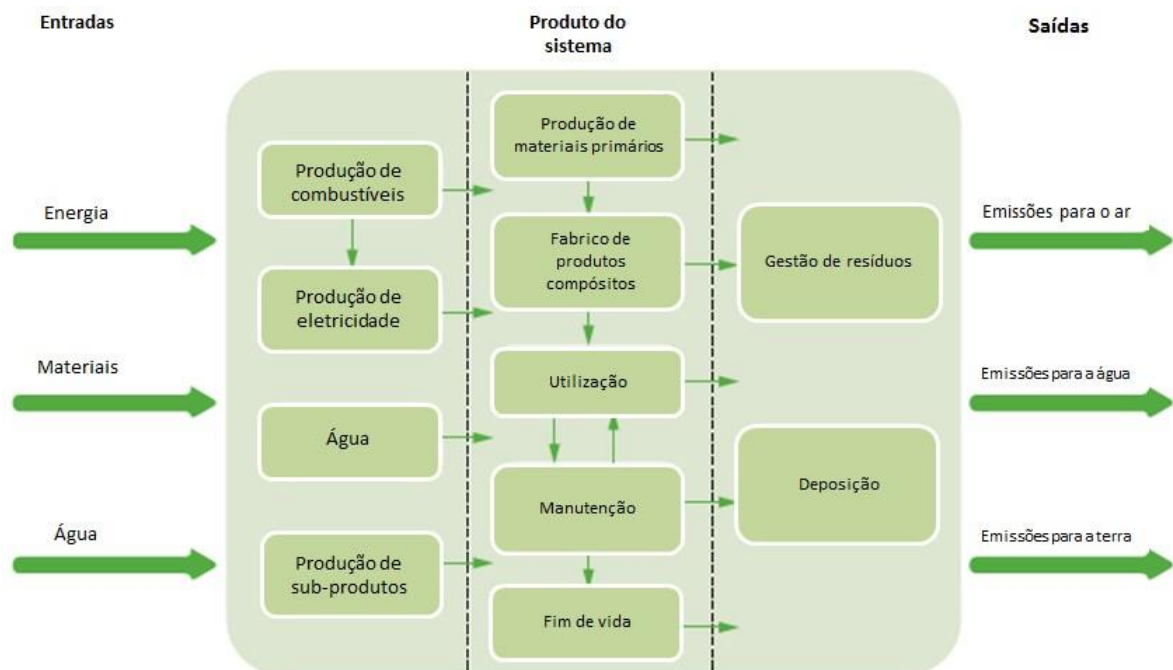


Figura 89\_ Representação do ciclo de vida e das entradas e saídas dos materiais e energia associados a um produto composto por sistemas compósitos (Machado, 2014)

A metodologia da ACV inclui quatro etapas principais, incluindo:

- Definição do objetivo e do âmbito da análise;
- Inventário;
- Avaliação dos impactos ambientais;
- Interpretação dos resultados.

A Figura 90 apresenta as principais etapas da avaliação do ciclo de vida, podendo-se verificar que existe uma interação constante entre a interpretação e as demais etapas. Este processo será executado depois de avaliado em relação aos objetivos inicialmente definidos e refinado ao longo do processo. Essa interação permite que todas as etapas contribuam para um impacto no meio ambiente de uma forma ideal para expressar os objetivos e o âmbito de um determinado ciclo de vida do produto (Machado, 2014).

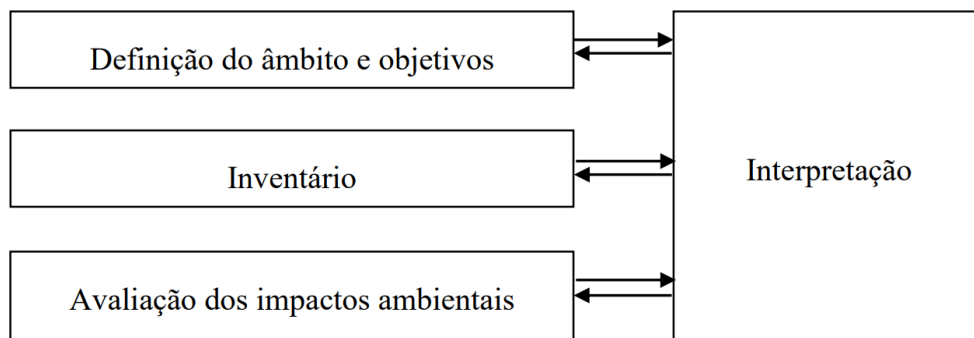


Figura 90\_ Etapas da metodologia de avaliação do ciclo de vida (Machado, 2014)

A primeira etapa na avaliação do ciclo de vida do produto é assim definir o propósito da pesquisa e o motivo da pesquisa. Na definição do âmbito são identificados os limites do estudo que incluem as atividades que fazem parte dos processos ocorridos ao longo do ciclo de vida do produto. No caso de um estudo comparativo entre dois produtos, este só faz sentido entre sistemas, neste caso os caixilhos que tenham funções idênticas. Nestes casos os resultados da ACV são comparados com base na mesma unidade funcional (Machado, 2014).

Na fase de inventário são compiladas as quantidades de recursos necessários, a energia consumida e produzida e ainda emissões (líquidas, sólidas e gasosas) ao longo da vida do produto. Para a realização desta tarefa é feita a esquematização do diagrama de processos do sistema (sistema do produto), recolhida a informação e analisada a sua qualidade, sendo os dados processados e reportados à unidade funcional. A Figura 91 representa o exemplo de um estudo onde são identificadas as fronteiras de um sistema, indicando também os fluxos de entrada e de saída (Machado, 2014).

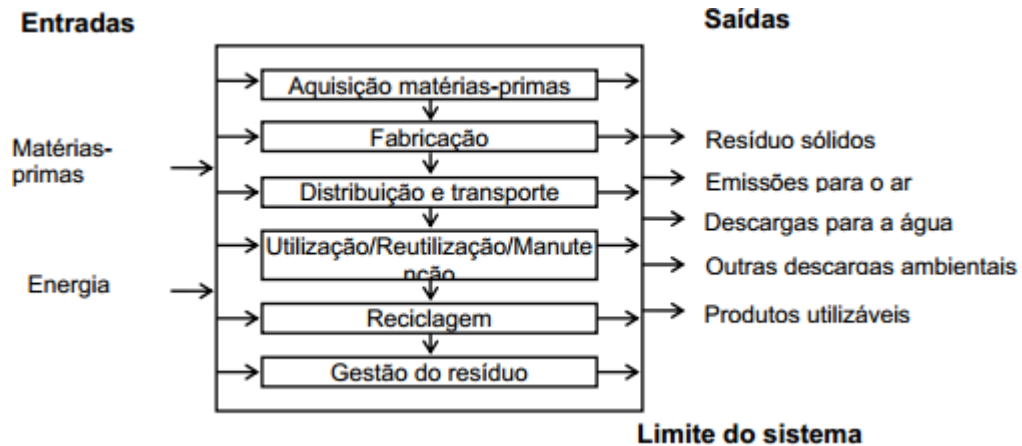


Figura 91\_ Exemplo de definição das fronteiras do sistema (Machado, 2014)

A etapa de avaliação do impacto ambiental inclui os passos de classificação, caracterização, normalização e ponderação. Na classificação são selecionadas as categorias do impacto ambiental e o método de avaliação a utilizar. A ponderação agrega as várias categorias do impacto ambiental num indicador único usando fatores de ponderação. A Figura 92 apresenta os passos da etapa de avaliação dos impactos ambientais, indicando quais os obrigatórios e quais os opcionais (Machado, 2014).

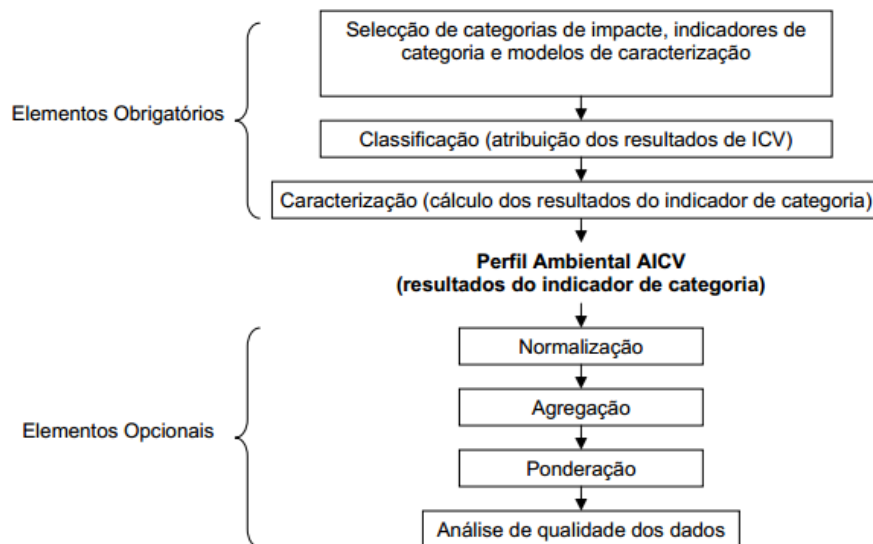


Figura 92\_ Etapas obrigatórias e opcionais para a etapa de avaliação dos impactos ambientais (Machado, 2014)

A interpretação acontece em cada uma das etapas da metodologia permitindo a comparação dos resultados obtidos com os objetivos inicialmente propostos. A interpretação pode ser realizada quando a finalidade da avaliação do ciclo vida é comparar produtos, para avaliar qual o que requer mais recursos, e dela retiradas conclusões qualitativas (Machado, 2014).

#### 4.6.1. Potencial de Reutilização e Reciclagem

Para a redução dos impactos ambientais deve privilegiar-se a escolha de materiais com maior potencial de reutilização do que de reciclagem, pois a reutilização consome muito menos energia. Quanto maior for a taxa de reutilização de um material menor será o custo da sua energia incorporada, pois este acaba por ser amortizado. Contudo se não existir possibilidade de existir espaço para a reutilização, a reciclagem é a melhor solução. No caso do Alumínio a reciclagem pode diminuir em cerca de 90% o consumo energético e a emissão de GEE, enquanto que nos plásticos as taxas de reciclagem são bastante baixas (Pires, 2013).

#### 4.6.2. Emissões de poluentes, toxicidade, consumo de energia e de recursos

A seleção de materiais é dos aspetos mais importantes e complexos, que um projeto de construção sustentável tem que superar. Apesar de no sector de edifícios, admitir se que a fase de utilização é a que provoca maiores impactos ambientais, associado aos elevados consumos de energia, a fase relativa à construção também tem a sua importância visto que os materiais de construção escolhidos condicionam o comportamento ambiental ainda que com menores impactos (Pires, 2013). A energia incorporada corresponde ao total de energia consumida para a produção, transporte, aplicação em obra, manutenção e demolição (Pires, 2013). Materiais cuja energia incorporada é mais elevada contribuem significativamente para as emissões de gases de efeito de estufa, nomeadamente CO<sub>2</sub>, associados ao consumo de energia. Conhecer a energia incorporada de cada material e o seu ciclo de vida é um fator importante na escolha do material mais sustentável. Segundo Pires (2013) citando Kibert (2008) o Alumínio é um material que apresenta elevada energia incorporada, porém a sua elevada durabilidade e reciclabilidade total baixam a energia incorporada de utilização, uma vez que para reduzir a energia incorporada nos edifícios, deve-se dar preferência a produtos locais, que não necessitem de percorrer longas distâncias e utilizar materiais com elevado potencial de reutilização e/ou grande durabilidade. Para Pires (2013) as fases a considerar relativamente aos consumos de energia são as seguintes:

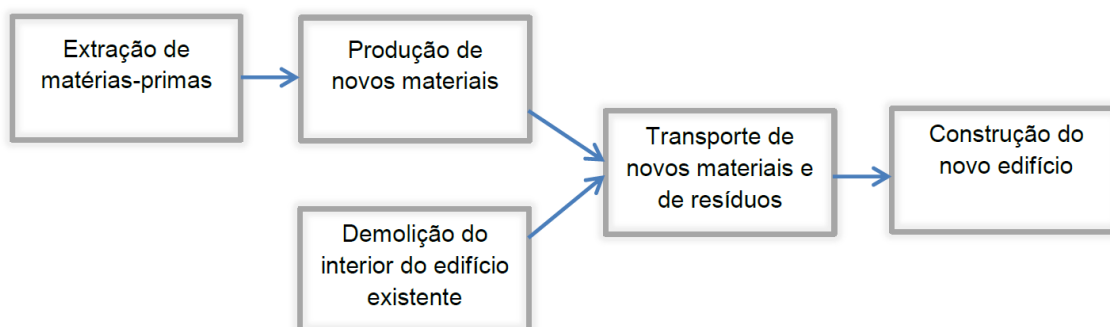


Figura 93\_Fases consideradas numa nova construção (Pires, 2013)

Os edifícios são responsáveis por parte dos impactes ambientais, nomeadamente, nas emissões de dióxido de carbono, devido sobretudo aos consumos energéticos (Pires, 2013). O efeito de estufa é um processo natural que permite que a Terra tenha uma temperatura que possibilita a existência de vida.

Os gases com efeito de estufa (GEE), como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), vapor de água, metano (NH<sub>4</sub>) ou óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), absorvem parte da radiação infravermelha emitida pela Terra, reemitindo-a para a superfície terrestre e evitando que se perca para o espaço. No entanto, um agravamento dos gases de efeito de estufa pode desencadear o aquecimento global, levando à ocorrência de alterações climáticas. Desde a revolução industrial que as emissões de GEE tem vindo a aumentar e o dióxido de carbono é o mais emitido, principalmente devido à queima de combustíveis fósseis, sendo por isso o que mais contribui para o aquecimento global (eCycle, 2021).

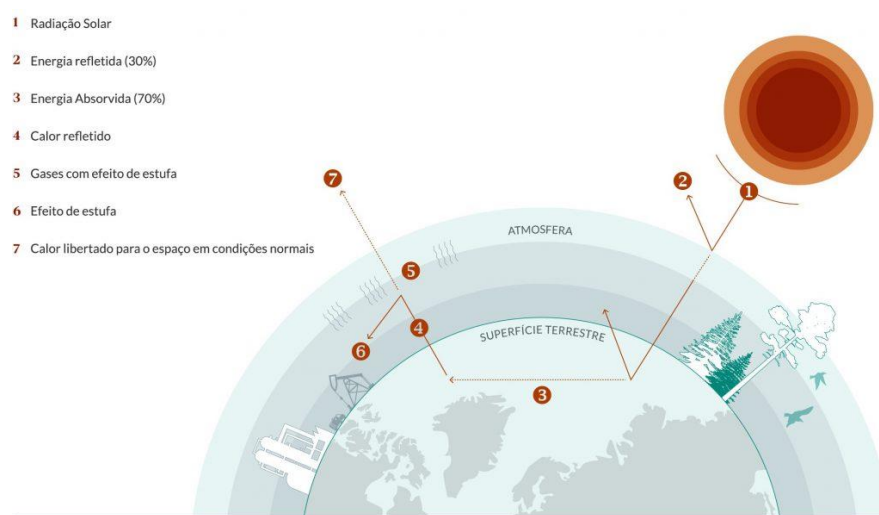


Figura 94\_Processo para a produção de gases com efeito de estufa (Florestas-PT, 2019)

Para Pires (2013), “um material de construção é tóxico se exercer um efeito nocivo sobre o ser humano ou sobre o ecossistema que o rodeia”. É muito importante que a

utilização dos materiais escolhidos não afete a saúde e produtividade dos habitantes de um edifício, bem como das pessoas responsáveis pela construção e manutenção do mesmo. Por isso os projetistas devem ter atenção às fichas técnicas dos diversos materiais de construção, de forma a diminuir a aplicação de componentes com substâncias tóxicas e que podem afetar a qualidade de vida dos ocupantes (Pires, 2013).

Em 2015, Espitia, Gondak, & Silva elaboraram um estudo comparativo para medir os potenciais impactos ambientais do ciclo de vida de um perfil extrudido, feito a partir de dois materiais - o Alumínio e o PVC. A ACV elaborada regeu-se pelo modelo “cradle to grave”, isto é do “nascimento à cova”, neste caso da obtenção da matéria-prima até ao seu pós-uso. Na Tabela 38 estão apresentados os valores por cada categoria de impacto, excluindo todo o processo de transporte e considerando que a capacidade de reciclagem do Alumínio é infinita e que o PVC só pode ser reciclado até seis vezes. Espitia, Gondak, & Silva, concluíram a partir dos dados da Tabela 38 que o perfil de PVC se encontra em vantagem em relação ao perfil de Alumínio, pois este utiliza muito menos energia e recursos renováveis e não renováveis ao longo do ciclo de vida.

*Tabela 38\_ Resultados por categoria de impacto adaptado (Espitia, Gondak, & Silva, 2015)*

Categoria de Impacto	Unidade de medida	Alumínio	PVC	%Alumínio	%PVC
Acidificação potencial	SO <sub>2</sub> -Eq	1,9065	0,0006	99,97%	0,03%
Ecotoxicidade crónica no solo	CO <sub>2</sub> -Eq	0,0001	0	99,96%	0,04%
Enriquecimento potencial de nutrientes	m <sup>3</sup> -Eq	0,3394	0,0001	99,97%	0,03%
Depleção da camada de ozono	NO <sub>3</sub> -Eq	0,0002	0	100,00%	0,00%
Aquecimento global	R <sub>11</sub> -Eq	260,0692	0,102	99,96%	0,04%
Ecotoxicidade aguda na água	m <sup>3</sup> -Eq	0	0	2,18%	97,82%
Ecotoxicidade crónica na água	m <sup>3</sup> -Eq	0	0	25,06%	74,94%
Toxicidade humana via ar	m <sup>3</sup> -Eq	0	0	7,92%	92,08%
Toxicidade humana via terrestre	m <sup>3</sup> -Eq	0	0,0001	25,48%	74,52%
Toxicidade humana via hídrica	m <sup>3</sup> -Eq	0,008	0,0204	28,32%	71,68%

Oxidação fotoquímica potencial (Baixa)	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -Eq	0,0014	0,0576	2,41%	97,59%
--	-----------------------------------	--------	--------	-------	--------

Na Tabela 39 e na Tabela 40, são apresentados os valores de consumos de energia e de recursos renováveis e não renováveis, respetivamente para um perfil de Alumínio e de PVC.

*Tabela 39\_ Valores de consumo de Energia, Recursos Renováveis e Recursos Não Renováveis de um perfil de Alumínio adaptado (Espitia, Gondak, & Silva, 2015)*

Processo Elementares	Energia	Recursos Renováveis	Recursos Não Renováveis
	MJ	Kg	Kg
Obtenção de matéria prima	18,44613692	3,832900297	2,357150766
Produção Industrial	1975,798526	1269,761581	569,151726
Uso			
Pós-uso	-18,030487	-4,445443615	-2,753313701

*Tabela 40\_ Valores de consumo de Energia, Recursos Renováveis e Recursos Não Renováveis de um perfil de PVC adaptado (Espitia, Gondak, & Silva, 2015)*

Processo Elementares	Energia	Recursos Renováveis	Recursos Não Renováveis
	MJ	Kg	Kg
Obtenção de matéria prima	-4,79150024	0,253231399	0,039253777
Produção Industrial	0,0403348	0	0
Uso			
Pós-uso	0,672351572	0,708001909	0,05948982

Num outro estudo elaborado por Gomes e Rodrigues, publicado pela Caixiave, foram obtidos para 4 janelas de um fogo, situado em Lisboa, os seguintes valores para as várias etapas de ciclo de vida de caixilharias de Alumínio, PVC e madeira. Gomes e Rodrigues, concluíram que as etapas do ciclo de vida que mais condicionam os resultados finais são a etapa de utilização, seguida da extração e produção. A caixilharia que maior poupança e maior crédito de emissões tem é a de PVC, tornando-se por isso a mais sustentável.



Tabela 41\_Consumo de energia e emissões de CO2 de caixilharia de Alumínio e PVC (Gomes & Rodrigues)

Etapas ACV	Consumo de energia (kwh)			Emissões de CO <sub>2</sub> (kg)		
	Alumínio	PVC	Madeira	Alumínio	PVC	Madeira
Extração e produção	3449,29	955,14	456,18	785,61	251,56	113,64
Transporte para produção	12,19	16,01	21,32	3,26	4,27	5,69
Fabricação da caixilharia	19,2	19,2	19,2	4,4	4,4	4,4
Transporte até à obra	12,19	16,01	21,32	3,26	4,27	5,69
Utilização (50 anos)						
Eaquec. (Gás natural)	-27911,1	-27688,9	-24316,7	-5607,32	-5562,72	-4855,22
Earref. (Bomba de calor)	6720	5840	6086,67	1545,6	1343,2	1399,93
Transporte para lixeira/aterro	0,35	0,47	11,48	0,11	0,12	3,06
Remoção/deposição final	0,75	1,04	24,34	0,22	0,28	6,51
Transporte para reciclagem	11,81	15,54	5,72	3,15	4,15	1,54
Reciclagem	473,98	492,31	306,6	109,01	142,87	70,52
Consumo e emissões	10699,76	7355,72	6952,83	2454,62	1755,12	1610,98
Poupança	-27911,1	-27688,9	-24316,7	-5607,32	-5562,72	-4855,22
BALANÇO	-17211,4	-20333,2	-17363,8	-3152,7	-3807,6	-3244,24

Carlisle e Friedlander (2016) aplicaram a ACV ao estudo de componentes de caixilharia, comparando quatro tipos de materiais: Alumínio, madeira, madeira folheada com Alumínio e policloreto de polivinilo (PVC). Os resultados obtidos (Figura 95) mostraram que as caixilharias de Alumínio são a opção com menos impacto em todas as categorias face aos restantes materiais para a fase durante a utilização e fase final de vida útil e/ou reciclagem.

SCENARIO 1: RECYCLED CONTENT  
SCENARIO 2: END OF LIFE

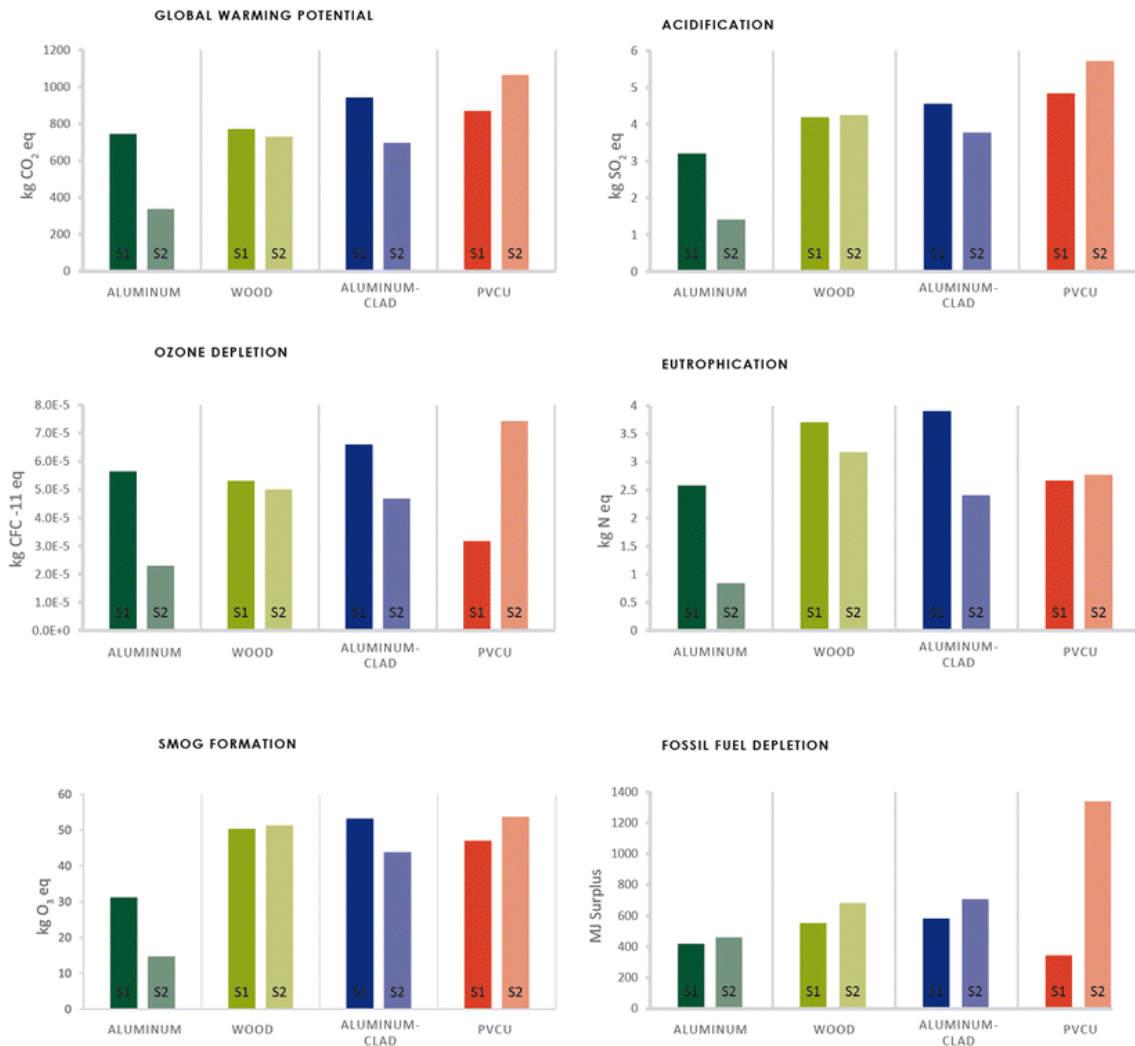


Figura 95\_ Impactos ambientais na etapa da reciclagem e do fim de vida para caixilharia de Alumínio, madeira, madeira folheada com Alumínio e PVC (Carlisle & Friedlander, 2016)

Na produção de Alumínio a energia gerada a partir de carvão e gás contribui para a emissão de poluentes e gases do efeito estufa na atmosfera. Mesmo a energia gerada a partir da chamada matriz energética limpa (hidroelétricas) também representa alguns problemas para os ecossistemas. Em média, é necessário um metro quadrado de terra, incluindo estradas e infraestrutura, para se produzir uma tonelada métrica de Alumínio (Materioteca Sustentável). Alguns dos impactos ambientais causados pela lavra da bauxita destacam-se:

- Alterações da paisagem e impactos sob a biodiversidade, causados pela remoção e restabelecimento da vegetação;
- Erosão dos solos;
- Distúrbios hidrológicos causados pela alteração do curso de água, qualidade e distribuição das águas;

- Poeira e ruídos causados pela mineração e transporte;

Para além disso, outras questões ambientais associadas à produção da alumina são:

- Consumo elevado de energia elétrica;
- A água utilizada no processo e a água superficial da precipitação e escoamento dos depósitos de resíduos de bauxita são limpas antes de serem descarregadas no ambiente;
- Impactos devido à infraestrutura da fábrica e à eliminação dos resíduos da bauxita: quando um depósito está cheio, a área é reflorestada com espécies nativas.

A maioria das empresas de extração de Alumínio adota programas voluntários de melhoramento como, por exemplo, a recuperação do solo.

Relativamente ao PVC, nos anos 90, a organização não governamental Greenpeace começou a debater o tema em alguns países da Europa e lançou uma campanha mundial para banir o PVC isto porque a inclusão do cloro no material provoca graves danos ambientais como a destruição da camada de ozono. Outro problema é a persistência de químicos sintéticos tais como os PCB's (Bisfenilas policloradas) e a produção não intencional de dioxinas e ftalatos de processos industriais (Fonseca, 2004). Segundo a ASAE (2015), dioxinas e PCB's são compostos estáveis, persistentes, altamente tóxicos, cancerígenos, teratogénicos<sup>3</sup>, que podem aparecer em matrizes orgânicas, inorgânicas e biológicas. Os Ftalatos são grupos de compostos químicos derivados do ácido ftálico, utilizado como aditivo para reduzir a rigidez dos materiais plásticos. Existem vários os estudos que comprovam a toxicidade destes compostos para a saúde humana. Segundo a Comissão da Comunidades Europeias (2000) a incineração do PVC pode levar aumento do teor de sais lixiviáveis presentes nos resíduos. Estes sais são, principalmente, cloretos de cálcio, sódio e potássio que devem ser tratados antes da sua eventual descarga para o meio ambiente.

---

<sup>3</sup> Diz-se de agente que provoca malformações congénitas (Porto Editora, 2003-2021.)

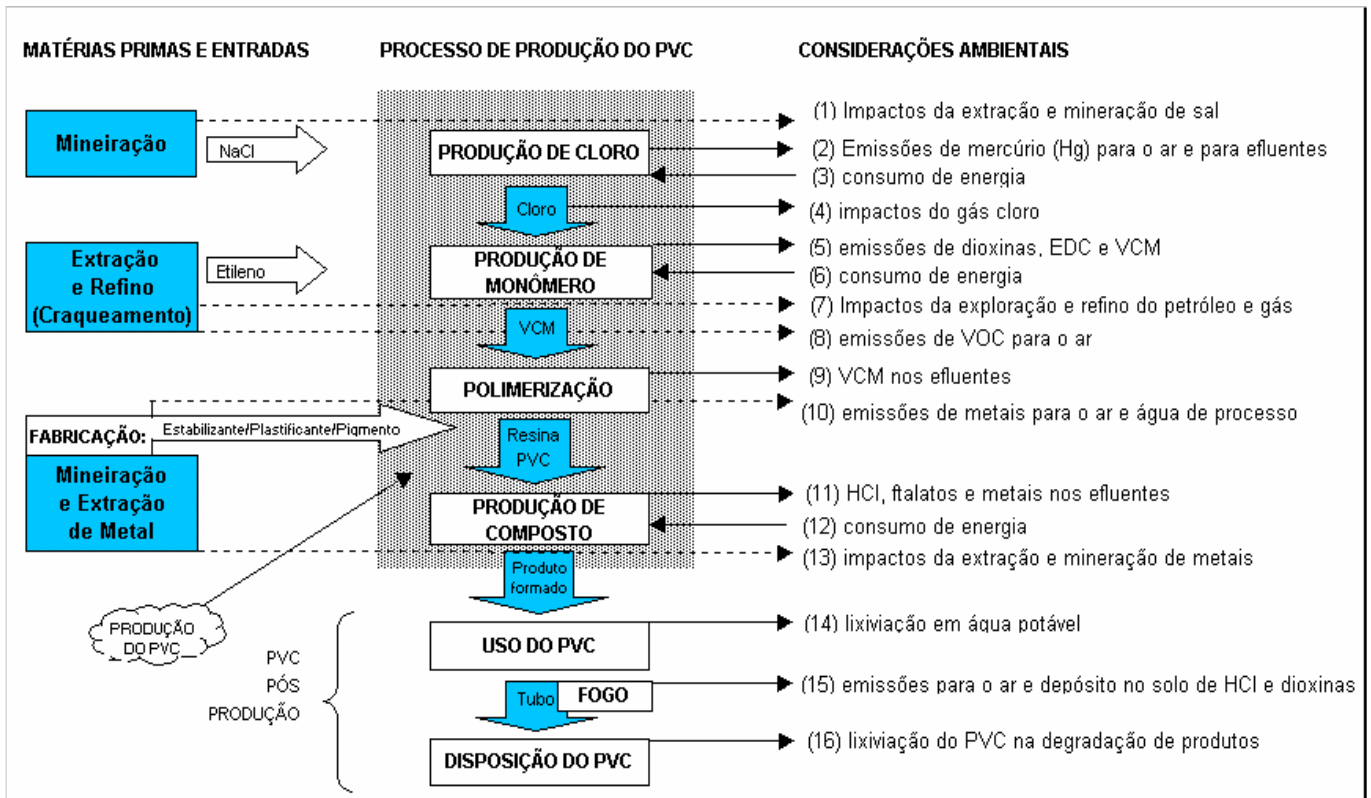


Figura 96\_Esquema representativo do Ciclo de Vida de um perfil de PVC (Fonseca, 2004)

Com o propósito de avaliar os riscos dos impactos identificados ao longo do ciclo de vida do PVC, o Grupo Amanco encomendou um relatório à BAH (Booz Allen Hamilton), usando a linguagem das cores, ou seja, vermelho para o alerta máximo, amarelo para médio e verde para baixo nível de risco, conforme apresentado na Figura 97 (Fonseca, 2004).

Nº	ASPECTOS AMBIENTAIS	AValiação
1	Impactos do NaCl na mineração ou na evaporação	●
2	Emissões de mercúrio (Hg) na produção de Cl <sub>2</sub> pelo método chlor-alkali	●
3	Energia consumida na produção do gás Cl <sub>2</sub>	●
4	Impactos do gás Cl <sub>2</sub>	●
5	Emissões durante a produção de monômero	●
6	Consumo de energia na produção do cloreto de vinila	●
7	Impactos na extração e no refino do petróleo/gás para a produção de etileno	●
8	Emissões de VOC's durante a produção de etileno	●
9	Emissões para o meio ambiente dos resíduos de VCM durante a polimerização	●
10	Emissões de metal proveniente da fabricação dos aditivos de PVC	●
11	Emissões para o meio ambiente durante a produção dos compostos e dos tubos	●
12	Consumo de energia na produção dos compostos e dos tubos	●
13	Impactos da mineração e extração de metais usados em tubos de PVC	●
14	Efeitos na saúde humana pela ingestão de águas provenientes de tubos de PVC	●
15	Emissões da queima do PVC	●
16	Emissões da lixiviação do PVC disposto em aterros sanitários	●
<p>● Risco Significativo      ● Risco Potencial      ● Risco Negligenciável</p>		

Figura 97\_ Avaliação de riscos dos 16 impactos do ciclo de vida do PVC. (BAH e Amanco)

#### 4.6.3. Síntese da análise comparativa do impacto ambiental Alumínio – PVC

Nesta secção, pretende-se apresentar e analisar, em modo de síntese, os valores obtidos para o material Alumínio e PVC com recurso ao software EduPack (2019), relativamente a diferentes aspetos, como a energia incorporada e as emissões de CO<sub>2</sub>.

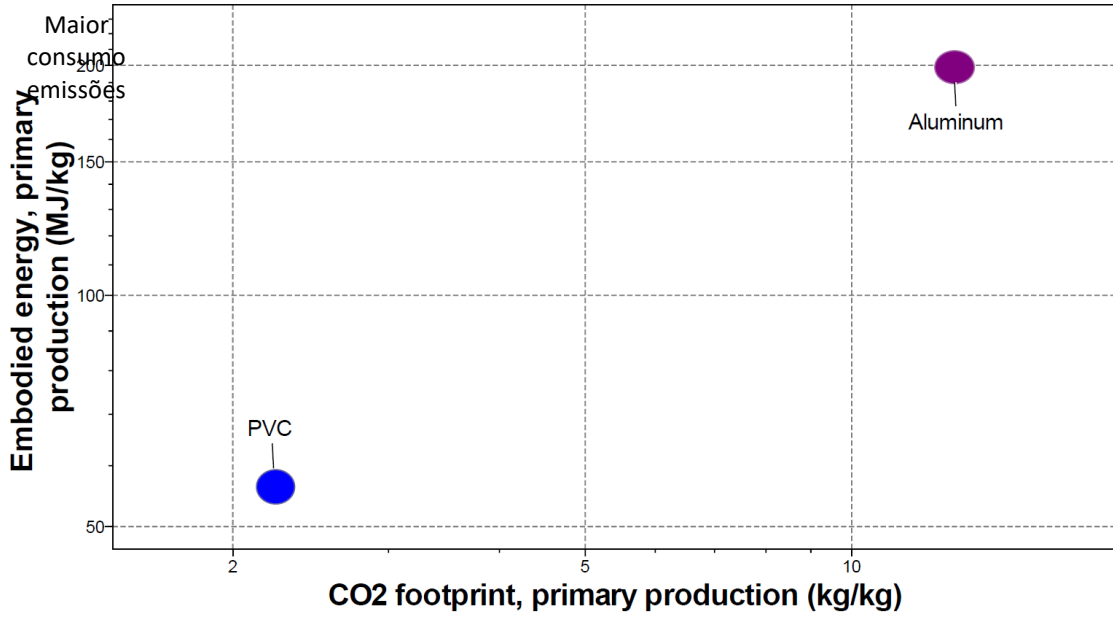


Figura 98\_ Gráfico da relação entre Energia incorporada e a pegada de CO<sub>2</sub> na fase de produção primária do Alumínio e de PVC

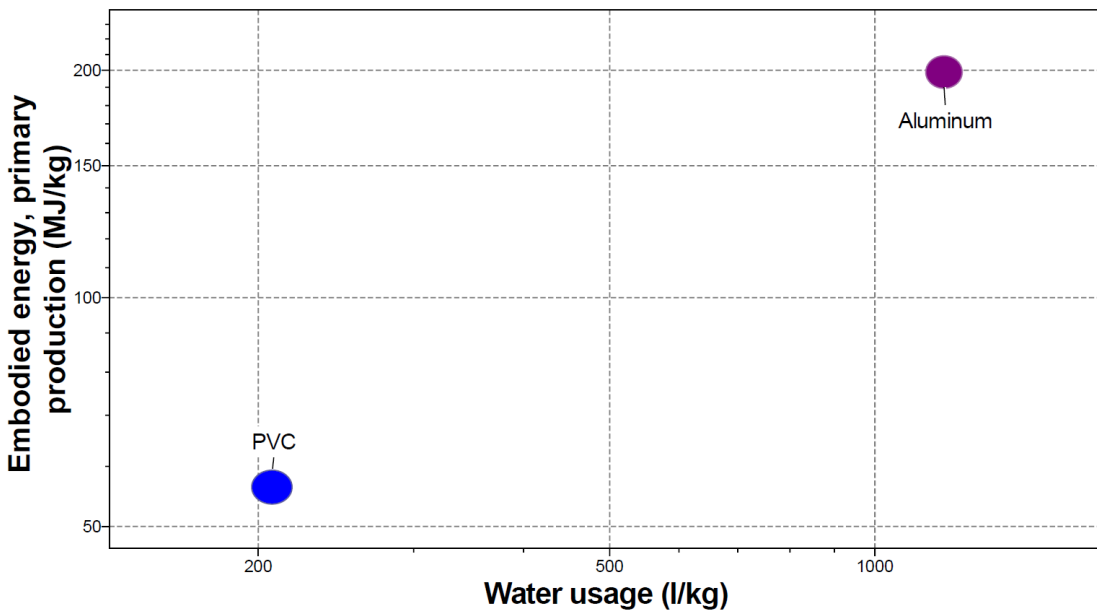


Figura 99\_ Gráfico da relação entre Energia incorporada e a utilização de água na fase de produção primária do Alumínio e de PVC

A partir das figuras anteriores, observa-se que o Alumínio tem valores muito mais elevados do que o PVC no que diz respeito à utilização de água, à pegada de CO<sub>2</sub> e à energia incorporada na fase de produção primária. A energia incorporada é a energia necessária para fazer 1kg do material a partir do seu minério ou matérias primas, o que significa que quanto maior for a sua energia incorporada maior será o seu consumo de recursos. Foram retirados a partir do programa CES EduPack 2019 os valores máximos

relativos à fase de produção dos materiais para cada processo e apresentam-se nas tabelas.

Tabela 42\_ Consumo de energia, água e emissões de CO<sub>2</sub> na fase de produção de Alumínio e PVC

	Alumínio	PVC
Perfilagem, Energia (MJ/kg)	5,88	-
Perfilagem, CO <sub>2</sub> (kg/kg)	0,441	-
Perfilagem, Água (l/kg)	5,74	-
Extrusão, laminagem de folha de Alumínio, Energia (MJ/kg)	11,4	6,25
Extrusão, laminagem de folha de Alumínio, CO <sub>2</sub> (kg/kg)	0,859	0,469
Extrusão, laminagem de folha de Alumínio, Água (l/kg)	8,97	7,14
Formação de pó metálico, Energia (MJ/kg)	25,3	-
Formação de pó metálico, CO <sub>2</sub> (kg/kg)	2,02	-
Formação de pó metálico, Água (l/kg)	37,4	-
Vaporização, Energia (MJ/kg)	1,71E+04	-
Vaporização, CO <sub>2</sub> (kg/kg)	1,28E+03	-
Vaporização, Água (l/kg)	9,69E+03	-
Maquinação grosseira, Energia (MJ/kg)	1,36	0,83
Maquinação grosseira, CO <sub>2</sub> (kg/kg)	0,102	0,0623
Maquinação fina, Energia (MJ/kg)	8,88	3,58
Maquinação grosseira, CO <sub>2</sub> (kg/kg)	0,666	0,268
Moagem, Energia (MJ/kg)	17,2	6,63
Moagem, CO <sub>2</sub> (kg/kg)	1,29	0,498
Maquinação não convencional, Energia (MJ/kg)	171	-
Maquinação não convencional, CO <sub>2</sub> (kg/kg)	12,8	-
Moldagem de polimeros - Energia (MJ/kg)	-	15,4
Moldagem de polimeros - CO <sub>2</sub> (kg/kg)	-	1,16
Moldagem de polimeros - Água (l/kg)	-	15,9

Os valores energéticos retirados a partir do EduPack acima representam a energia consumida pela operação de extrusão local. Isto inclui:

- A energia necessária para operar as extrusoras;
- A energia associada à execução do estabelecimento funciona como extrusoras (tais como: iluminação, aquecimento, arrefecimento, ventilação, A/C, compressores, bombas de água, etc.);
- a energia associada à produção e ao fornecimento de energia à instalação de transformação;

A energia utilizada na execução das extrusoras tem como finalidade:

- Aquecer o material base de forma a que este derreta;
- Aquecer e manter o equipamento de extrusão à sua temperatura de funcionamento e depois o arrefecer;

No geral, o Alumínio apresenta maiores consumos de energia e água e emite durante todos os processos de produção do material mais emissões de CO<sub>2</sub> que o PVC, como se verifica na Tabela 42 onde estão identificados a vermelho os maiores consumos e emissões. Alguns dos processos não tem valores para ambas as colunas porque as fases de produção dos materiais não são iguais, o que dificulta a comparação. No processo de extrusão, o Alumínio, consome 1,83 vezes mais energia e 1,26 vezes mais Água que o PVC. Para além disso, emite 1,84 vezes mais emissões para o ambiente que o PVC na fase de extração durante a sua produção.

Segundo estudos de Espitia, Gondak & Silva (2015) e Gomes & Rodrigues a extração e a produção do Alumínio tem mais consumos de energia e emissões de CO<sub>2</sub> que o PVC e utiliza mais recursos renováveis e não renováveis. Porém, no estudo do pedido pelo grupo Amanco citado por Fonseca (2004), existe um risco significativo para emissões durante a produção do monómero do cloreto de vinilo no PVC.

Conforme análise levada a cabo por Gomes & Rodrigues na fase de fabrico de caixilharia, onde os perfis são montados, tanto o Alumínio como o PVC consomem a mesma energia e produzem a mesma quantidade de emissões de CO<sub>2</sub>. Devido às características do PVC como a baixa condutibilidade, este possui melhores prestações térmicas e que levam a melhores desempenhos energéticos e maior poupança de energia na fase de utilização, como referido no ponto de eficiência energética. O que significa que a caixilharia em PVC consome menor energia e produz menos emissões de CO<sub>2</sub>.

No que toca à toxicidade humana, à oxidação fotoquímica potencial (baixa) e à ecotoxicidade na água os estudos de Espitia, Gondak, & Silva (2015) mostraram que a caixilharia de Alumínio não produz efeitos tão nefastos como a caixilharia de PVC, ao passo que nas categoria de acidificação potencial, ecotoxicidade crónica do solo, depleção da camada de ozono e aquecimento global, enriquecimento potencial de nutrientes, descarbonização, energia incorporada e consumos de recursos renováveis e não renováveis, a caixilharia de PVC tem melhores resultados.

Na fase de utilização e na maior parte das categorias no fim de vida útil da caixilharia analisadas por Carlisle & Friedlander (2016), indicam que a de Alumínio ambientalmente mais favorável, com valores mais reduzidos de acidificação,



aquecimento global potencial, destruição da camada de ozono, eutrofização, acidificação, formação de poluição e esgotamento de combustível fóssil.

No final da vida útil de um produto, segundo a base de dados do programa EduPack, existem seis principais opções de manuseamento dos materiais que estão apresentadas na Figura 100, segundo a ordem correspondente ao respetivo impacto ambiental.


End of Life option	Description	Environmental burden
Reuse	Extension of product life	Lowest
Re-engineer	Incorporation of re-engineered part into new product	
Recycle	Reprocessing of material into primary supply chain	
Downcycle	Reprocessing into a lower grade material	
Combustion	Recovery of the calorific content of the material	
Landfill	Disposal of material	
		Highest

Figura 100\_ Processos possíveis no fim de vida útil de um material (CES EduPack, 2019)

Na Tabela 43, são apresentados os consumos e emissões para a fase da reciclagem.

Tabela 43\_ Emissões de CO<sub>2</sub>, energia incorporada e taxa de reciclagem do Alumínio e PVC

	Alumínio	PVC
Energia incorporada - Reciclagem (MJ/kg)	35,7	21,5
CO <sub>2</sub> - Reciclagem (kg/kg)	2,8	1,05
Taxa de reciclagem atual (%)	44,7	1,58
Calor de combustão (MJ/kg)	-	18,4
Combustão de CO <sub>2</sub> ( kg/kg)	-	1,44

A energia incorporada, correspondente à energia necessária para reciclar 1kg do material, é maior no Alumínio do que no PVC. A massa equivalente a CO<sub>2</sub> de gases com efeito de estufa, em kg, produzida e libertada para a atmosfera em consequência da reciclagem de 1 kg do material é superior no Alumínio. Contudo, o material PVC conta com uma taxa de reciclagem bastante baixa com valores abaixo de 2%, cerca de 28,3 vezes inferior à do Alumínio.

Nos estudos analisados a fase do pós uso e possível reciclagem, o menor consumo de energia e emissões é causado pela caixilharia de Alumínio, contudo valores do CES EduPack 2019 indicam que o material PVC possui menor energia incorporada na reciclagem, isto é necessita de menor energia para reciclar por 1kg do material. Esta

diferença de resultados entre os estudos e o software acontece porque nos estudos é considerada a caixilharia e a energia que se poupou ao recorrer à reciclagem enquanto que no CES EduPack 2019 só é considerado o material.

O Alumínio tem maior potencial de reutilização e de reciclagem que o PVC, podendo por isso vir ainda a amortizar dos impactos ambientais associados ao seu fabrico.

Para Thornton (2002), a baixa taxa de reciclagem de PVC deve-se ao facto de este conter uma mistura exclusiva de aditivos para cada produto que dificulta a reciclagem pós-consumo, para além de não ser possível obter produtos de vinil com uma qualidade semelhante à original. No PVC um dos processos utilizados no fim de vida é a recuperação do material a partir da combustão e, de acordo com o estudo de Amanco, o PVC tem riscos potenciais relativos às emissões da queima do material no caso de se recorrer à incineração.

#### 4.7. Estimativa de custos

O custo direto corresponde à quantidade de dinheiro despendida na fabricação de produtos ou prestação de serviços. Ao determinar o custo de produção, pode-se determinar o preço do produto para o público, ou seja, o preço que resulta da soma do custo com o lucro. O custo de um produto inclui o preço das matérias-primas, o preço da mão de obra direta usada na sua produção, o preço da mão de obra indireta usada nas operações da empresa e o custo amortizado de máquinas e edifícios.

De acordo com a Porto Editora, os custos diretos, são aqueles permitem realizar a imputação direta a um determinado bem ou serviço produzido por uma empresa. Como é o caso das matérias-primas utilizadas para o fabrico de um determinado produto, que são consideradas custos diretos que permitem saber, para cada produto, qual o valor dos materiais utilizados no seu fabrico. A mão de obra também é considerada um custo direto, pois é o custo com o trabalho diretamente imputável a cada produto ou serviço. A maior parte dos custos diretos são custos que podem também ser variáveis, uma vez que o seu valor oscila de acordo com o volume de produção e/ou vendas de cada produto e industriais. Como custos industriais consideram-se normalmente aqueles que estão associados ao processo produtivo por si só, ou seja, os custos das matérias diretas consumidas, os custos com a mão de obra direta (custos com os trabalhadores que se ocupam diretamente do fabrico do produto)

e ainda os encargos gerais de fabrico (restantes custos imputáveis ao produto) (Porto Editora, 2003-2021).

#### 4.7.1. Custos iniciais de fornecimento e instalação

Para estimar os custos diretos iniciais de fornecimento e instalação de caixilharias, a imputar ao cliente, foi feita uma consulta de mercado. Foram consultadas várias empresas para pedir preços para uma lista de caixilharias com diferentes dimensões e tipos de abertura. Foram comparados vários orçamentos de várias empresas, mas, por motivos de confidencialidade, não foi possível obter autorização para expor esses orçamentos comerciais na presente dissertação. A empresa A, da área de serralharia de Alumínio forneceu o orçamento de caixilharia de corte térmico em Alumínio e uma outra empresa, designada por empresa B, apresentou um orçamento do investimento inicial de caixilharia de PVC com reforço. As características das caixilharias cujos orçamentos serão comparados são as especificadas na tabela que se segue e através da sua leitura é possível perceber que o seu desempenho é bastante semelhante, embora com pequenas diferenças em certos itens.

Tabela 44\_Carateristicas de caixilharia de Alumínio com corte térmico e PVC com reforço

Tipologia	Alumínio – Corte térmico	PVC com reforço
Batente	<u>Ensaio janela oscilobatente 1fl +fixo (2100x2100mm):</u> Permeabilidade ao ar: classe 4 Estanquidade á água: classe E1350 Resistência ao vento: classe C5	<u>Ensaio referência para janela batente 2fls (1230X1480mm):</u> Permeabilidade ao ar: classe 4 Estanquidade á água: classe 9A Resistência ao vento: classe C5
	Uw (1fl OB 1,2x2,2m) = 2,17 W/m <sup>2</sup> k com isolamento Uw = 1,83W/ m <sup>2</sup> k Envidraçamento máx.: 56mm	Uw (1fl OB 1,2x2,2m) = 1,6 W/m <sup>2</sup> k Envidraçamento máx.: 41 mm
Correr	<u>Ensaio janela correr 2fls (2800x1400mm):</u> Permeabilidade ao ar: classe 3 Estanquidade á água: classe 7A Resistência ao vento: classe C5	<u>Ensaio referência 2fls (1230 x 1480 mm):</u> Permeabilidade ao ar: classe 3 Estanquidade á água: classe 5A Resistência ao vento: classe C2
	Uw (2fls 2,2x2,2m) = 2,52 W/m <sup>2</sup> k; Envidraçamento máx.: 28 mm	Uw (2fls 2,2x2,2m) = 1,83 W/m <sup>2</sup> k Envidraçamento máx.: 33 mm

Os valores desses orçamentos são os apresentados nas tabelas seguintes em paralelo para o PVC e para o Alumínio, divididos por cada tipologia.

Tabela 45\_Orçamento de fornecimento e instalação de caixilharia em Alumínio e em PVC de oscilobatentes

	Tipologia e Dimensões	Alumínio (€)	PVC (€)	PVC/Alumínio
Oscilobatente	1 folha oscilobatente (500x500mm)	137,9	164,71	1,19
	1 folha oscilobatente (1000x1000mm)	282,4	244,61	0,87
	1 folha oscilobatente (1200x2200mm)	567,6	393,4	0,69
	2 folha oscilobatente (1000x500mm)	257,6	246,65	0,96
	2 folha oscilobatente (1500x1500mm)	529,4	413,96	0,78
	2 folha oscilobatente (2200x2200mm)	826,2	642,4	0,78
Média				0,88

Tabela 46\_ Orçamento de fornecimento e instalação de caixilharia em Alumínio e em PVC de fixos

	Tipologia e Dimensões	Alumínio (€)	PVC (€)	PVC/Alumínio
Fixos	1 fixo (500x500mm)	66,33 €	118,55 €	1,79
	1 fixo (1000x1000mm)	170,23 €	184,25 €	1,08
	1 fixo (1200x2200mm)	378,49 €	314,31 €	0,83
Média				1,23

Tabela 47\_ Orçamento de fornecimento e instalação de caixilharia em Alumínio e em PVC de basculantes

	Tipologia e Dimensões	Alumínio (€)	PVC (€)	PVC/Alumínio
Basculante	1 folha basculante (500x500mm)	134,94 €	165,54 €	1,23
	1 folha basculante (1200x2200mm)	533,18 €	390,84 €	0,73
Média				0,98

Tabela 48\_ Orçamento de fornecimento e instalação de caixilharia em Alumínio e em PVC de correr

	Tipologia e Dimensões	Alumínio (€)	PVC (€)	PVC/Alumínio
Correr	2 folhas de correr (1500x1500mm)	496,83	463,38	0,93
	2 folhas de correr (2200x2200mm)	780,30	741,84	0,95
	2 folhas de correr (2000x2500mm)	990,60	764,21	0,77
Média				0,88

Tabela 49\_ Orçamento de fornecimento e instalação de caixilharia em Alumínio e em PVC de abrir (janelas)

	Tipologia e Dimensões	Alumínio (€)	PVC (€)	PVC/Alumínio
Abrir Janelas	1 folha de abrir (500x500mm)	118,84	158,91	1,34
	1 folha de abrir (1000x1000mm)	280,38	236,67	0,84
	1 folha de abrir (1200x2200mm)	558,76	385,73	0,69
	2 folhas de abrir (1000x500mm)	206,46	238,46	1,16
	2 folhas de abrir (1500x1500mm)	489,48	407,79	0,83
Média				0,97

Tabela 50\_ Orçamento de fornecimento e instalação de caixilharia em Alumínio e em PVC de abrir (portas)

	Tipologia e Dimensões	Alumínio (€)	PVC (€)	PVC/Alumínio
Abrir Portas	1 folha de abrir de porta (900x2000)	479,80	638,93	1,33
	1 folha de abrir de porta (1100x2200)	568,68	698,02	1,23
	2 folhas de abrir de porta (1500x2000)	663,43	888,66	1,34
	2 folhas de abrir de porta (2000x2000)	751,06	982,41	1,31
	2 folhas de abrir de porta (2000x2200)	797,95	1 017,71	1,28
	Média			1,30

A partir das tabelas anteriores foram elaborados gráficos com os custos iniciais de caixilharia de Alumínio e PVC para cada grupo de tipologia, que se apresentam nos gráficos das figuras seguintes.

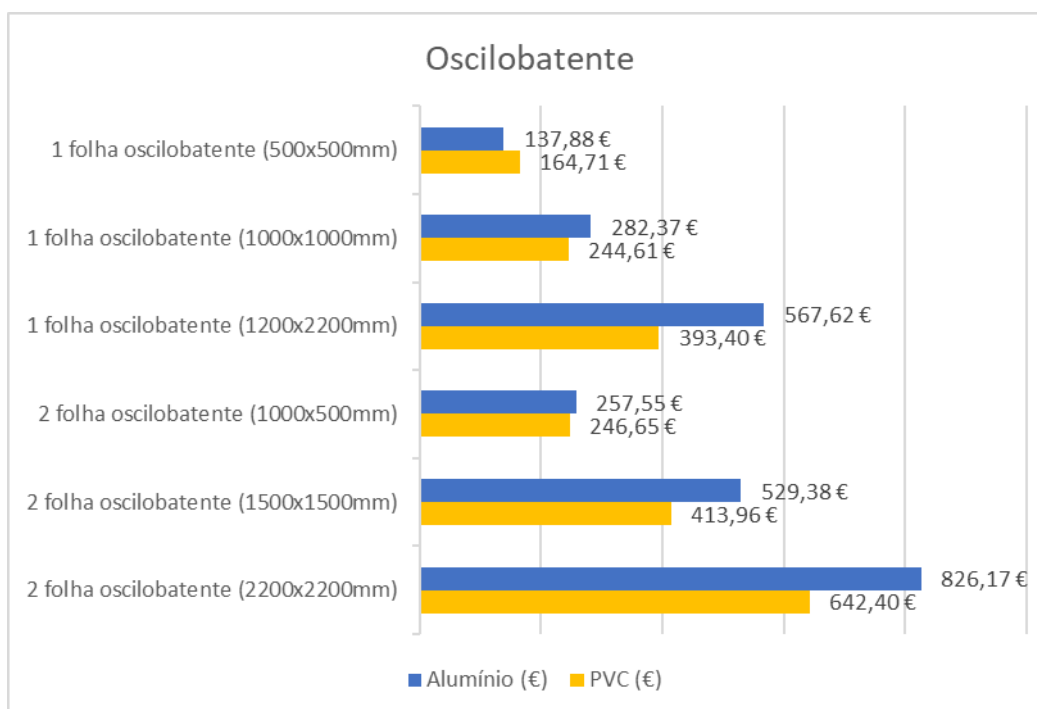


Figura 101\_ Custo de fornecimento e instalação de caixilharia de Alumínio e PVC para oscilobatente

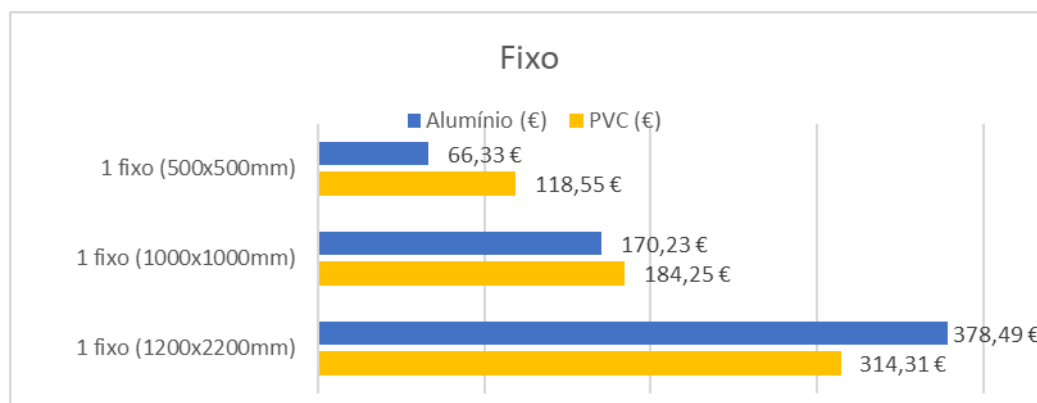


Figura 102\_ Custo de fornecimento e instalação de caixilharia de Alumínio e PVC para fixos

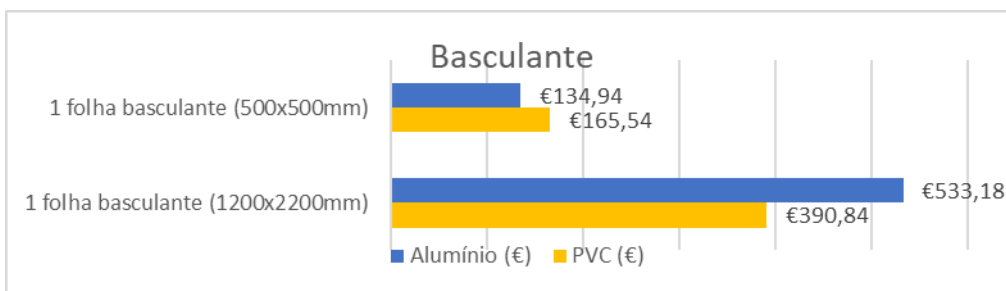


Figura 103\_ Custo de fornecimento e instalação de caixilharia de Alumínio e PVC para basculantes

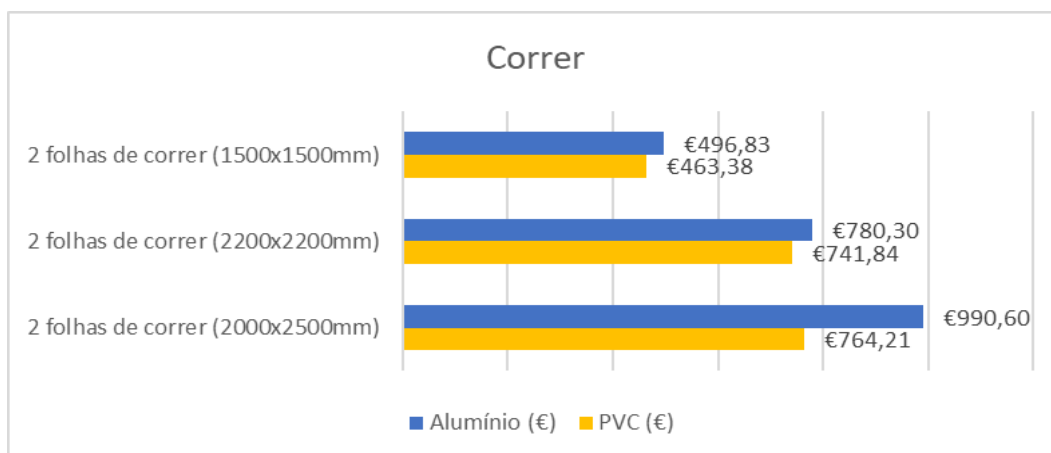


Figura 104\_ Custo de fornecimento e instalação de caixilharia de Alumínio e PVC para correr

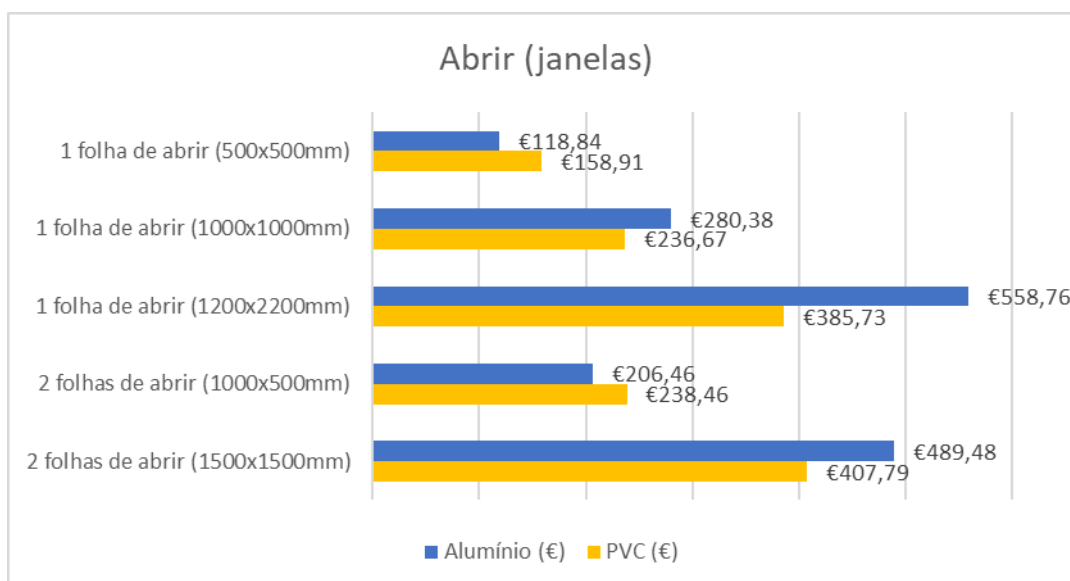
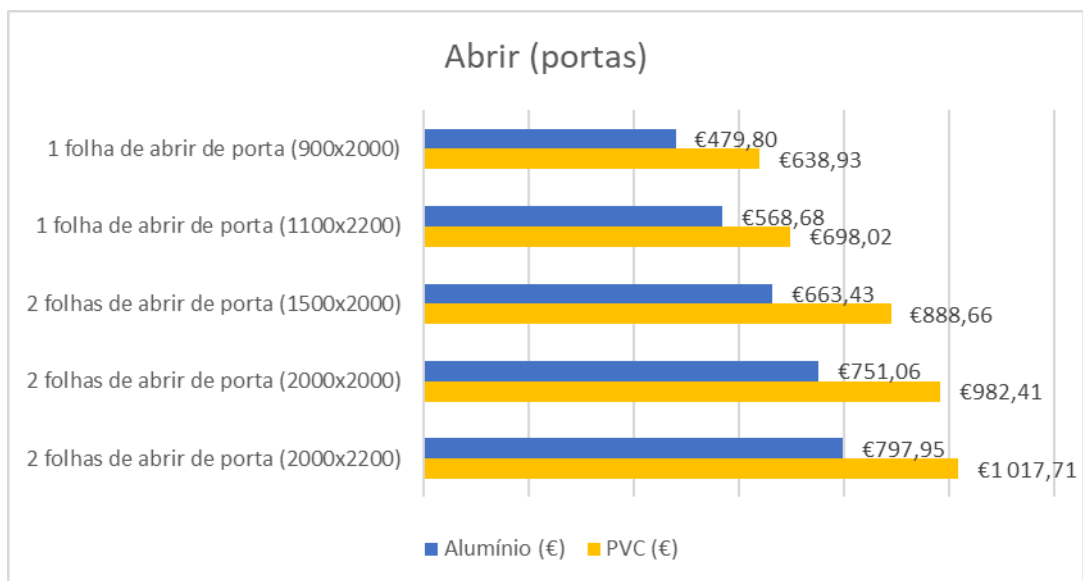


Figura 105\_ Custo de fornecimento e instalação de caixilharia de Alumínio e PVC para abrir (janelas)



*Figura 106\_Custo de fornecimento e instalação de caixilharia de Alumínio e PVC para abrir (portas)*

Observando a informação apresentada nas tabelas e nos gráficos das figuras anteriores verifica-se que a caixilharia de PVC é mais barata em vãos de correr, abrir (janelas) e na maior parte das oscilobatentes, exceto nas dimensões 500 mm de largura e 500 mm de altura. Em basculantes e janelas de abrir cujas alturas são iguais a 500mm a caixilharia de Alumínio é mais económica. Nos vãos de porta de abrir a caixilharia de PVC é mais dispendiosa relativamente à de Alumínio.

De todos os custos, a tipologia que apresenta maior discrepância de valores entre os dois materiais de caixilharia, é o fixo com 500 x 500 mm, no qual a caixilharia em PVC é quase duas vezes mais cara que a de Alumínio.

#### 4.7.2. Custos de Manutenção

A quantificação dos custos de manutenção ao longo de um período da vida útil de um ativo, permite medir o desempenho das ações de conservação executadas durante um determinado período de tempo e constitui uma das medidas mais importantes da gestão da fase de utilização. A viabilidade económica de uma determinada solução está também muito dependente desses custos, podendo por vezes chegar a inverter os resultados de uma comparação simples de custos iniciais.

No estudo que se apresenta, a estimativa dos custos de manutenção foi feita com base nos valores apresentados no módulo de Manutenção da CYPE, um software que

permite fazer uma estimativa do custo de manutenção decenal de cada unidade de obra (CYPE, 2008). O custo de manutenção decenal de um edifício corresponde à valorização do montante económico previsto para a manutenção do edifício nos primeiros dez anos após a sua construção, atendendo às operações de manutenção contidas no calendário de manutenção. Os custos reais de manutenção poderão variar depois face a estes valores de referência pois são dependentes de diversos fatores, com influência por exemplo da relação comercial entre o dono de um edifício e a empresa contratada para a manutenção do condomínio. A Quantificação de Manutenção Decenal (QMD) feita no CYPE apresenta a descrição, a medição sem detalhe, o custo de execução, o custo de manutenção, o Orçamento de Execução Material (OEM), a quantificação da manutenção decenal (QMD) e a relação percentual QMD/OEM de cada unidade de obra, capítulo e total do edifício como representado na Figura 107.



**Projecto:** CAIXILHARIA  
**Localizaç...** Viana do Castelo  
**Promotor:**

		Quantidade	Custo (€)	Custo Manut. (€)	OEM (€)	QMD (€)	QMD/OEM (%)					
<b>Caixilharia: Cáfia Campos</b>												
					<b>12 791,03</b>	<b>1 707,54</b>	<b>13,35</b>					
<b>Capítulo 1 Vãos</b>												
1.1	Ud	Janela de alumínio, série Cor-80 Industrial "CORTIZO", com ruptura de ponte térmica, duas folhas de batente, com abertura para o interior, dimensões 800x700 mm, acabamento lacado cor branca, com o selo QUALICOAT, que garante a espessura e a qualidade do processo de lacagem, composta de folha de 88 mm e aro de 80 mm, bites, rebaixo, juntas de estanquidade de EPDM, puxador standard e ferragens, segundo NP EN 14351-1; coeficiente de transmissão térmica do aro: Uh,m = desde 1,3 W/(m²°C); espessura máxima do envidraçado: 65 mm, com classificação à permeabilidade ao ar classe 4, segundo EN 12207, classificação à estanquidade à água classe E1950, segundo EN 12208, e classificação à resistência à carga do vento classe C5, segundo EN 12210, sem pré-aro e sem persiana. Inclusive ganchos para a fixação da caixilharia, silicone para vedação perimetral da junta entre a caixilharia exterior e o paramento. TSAC.					0,000	448,27	49,31	0,00	0,00	11,00
1.2.1.2	Ud	Janela de PVC, uma folha de batente com abertura para o interior, dimensões 600x1200 mm, composta de aro, folha e bites, acabamento standard nas duas faces, cor branca, perfis de 70 mm de largura, soldados a meia-esquadria, que incorporam cinco câmaras interiores, tanto na secção da folha como na do aro, para melhoria do isolamento térmico; rebaixo com pendente de 5% para facilitar a drenagem; com reforços interiores, juntas de estanquidade de EPDM, puxador e ferragens; coeficiente de transmissão térmica do aro: Uh,m = 1,3 W/(m²°C); espessura máxima do vidro: 40 mm; composta por aro, folhas, ferragens de pendurar e abertura, com fechadura de segurança, elementos de estanquidade e acessórios homologados, com classificação à permeabilidade ao ar classe 4, segundo EN 12207, classificação à estanquidade à água classe E750, segundo EN 12208, e classificação à resistência à carga do vento classe C5, segundo EN 12210, com pré-aro caixa de estore básica incorporada (monobloco), persiana de réguas de PVC, com accionamento manual com fita e recolhedor. Inclusive silicone para vedação perimetral da junta entre a caixilharia exterior e o paramento.					1,000	267,95	24,12	267,95	24,12	9,00

Figura 107\_ Quantificação de Manutenção decenal de elementos de caixilharia de um edifício multifamiliar isolado. (CYPE, 2008)

Na metodologia de cálculo usada no Gerador de Preços do CYPE, os custos de manutenção são determinados a partir de uma percentagem do custo total da unidade em análise, incluindo custos de materiais, mão de obra e instalação. Como se pode verificar na Figura 107, no caso de caixilharias em Alumínio essa percentagem é de 11% e no caso de caixilharias em PVC é de 9%. Apesar de na generalidade as



atividades de manutenção serem muito idênticas entre os dois materiais de caixilharia, os custos dos produtos a aplicar por cada material podem variar pois o plástico tem maior facilidade de limpeza que o Alumínio. Estes valores correspondem aos custos associados às atividades relacionadas com a preservação da caixilharia, anteriormente referidas no capítulo 4.4. Estes valores devem, no entanto, ser vistos apenas como um valor de referência. Os custos reais de manutenção poderão variar depois face a estes valores de referência, porque podem ir sofrendo algum incremento ao longo do tempo e porque podem ainda depender de fatores difíceis de controlar, como por exemplo, a relação comercial entre o dono de um edifício e a empresa contratada para a manutenção do condomínio.

Apresentam-se nas tabelas seguintes os custos de manutenção obtidos a partir da multiplicação dos custos iniciais de fornecimento e instalação obtidos a partir da consulta de orçamentos, pelas percentagens acima mencionadas (11% para caixilharia em Alumínio e 9% para caixilharia em PVC).

Tabela 51\_ Custo de manutenção decenal de caixilharia de Alumínio e PVC

Tipologia		Alumínio (€)	PVC (€)	PVC/Alumínio
Oscilobatente	1 folha oscilobatente (500x500mm)	15,17	14,82	0,98
	1 folha oscilobatente (1000x1000mm)	31,06	22,01	0,71
	1 folha oscilobatente (1200x2200mm)	62,44	35,41	0,57
	2 folha oscilobatente (1000x500mm)	28,33	22,20	0,78
	2 folha oscilobatente (1500x1500mm)	58,23	37,26	0,64
	2 folha oscilobatente (2200x2200mm)	90,88	57,82	0,64
Média				0,72

Tabela 52\_ Custo de manutenção decenal de caixilharia de Alumínio e PVC

Tipologia		Alumínio (€)	PVC (€)	PVC/Alumínio
Fixos	1 fixo (500x500mm)	7,30	10,67	1,46
	1 fixo (1000x1000mm)	18,73	16,58	0,89
	1 fixo (1200x2200mm)	41,63	28,29	0,68
Média				1,01

Tabela 53\_ Custo de manutenção decenal de caixilharia de Alumínio e PVC

Tipologia		Alumínio (€)	PVC (€)	PVC/Alumínio
Basculante	1 folha basculante (500x500mm)	14,84	14,90	1,00
	1 folha basculante (1200x2200mm)	58,65	35,18	0,60
Média				0,80

Tabela 54\_ Custo de manutenção decenal de caixilharia de Alumínio e PVC

	Tipologia	Alumínio (€)	PVC (€)	PVC/Alumínio
Correr	2 folhas de correr (1500x1500mm)	54,65 €	41,70 €	0,76
	2 folhas de correr (2200x2200mm)	85,83 €	66,77 €	0,78
	2 folhas de correr (2000x2500mm)	108,97 €	68,78 €	0,63
Média				0,72

Tabela 55\_ Custo de manutenção decenal de caixilharia de Alumínio e PVC

	Tipologia	Alumínio (€)	PVC (€)	PVC/Alumínio
Abrir Janelas	1 folha de abrir (500x500mm)	13,07 €	14,30 €	1,09
	1 folha de abrir (1000x1000mm)	30,84 €	21,30 €	0,69
	1 folha de abrir (1200x2200mm)	61,46 €	34,72 €	0,56
	2 folhas de abrir (1000x500mm)	22,71 €	21,46 €	0,95
	2 folhas de abrir (1500x1500mm)	53,84 €	36,70 €	0,68
Média				0,80

Tabela 56\_ Custo de manutenção decenal de caixilharia de Alumínio e PVC

	Tipologia	Alumínio (€)	PVC (€)	PVC/Alumínio
Abrir Portas	1 folha de abrir de porta (900x2000)	52,78 €	57,50 €	1,09
	1 folha de abrir de porta (1100x2200)	62,55 €	62,82 €	1,00
	2 folhas de abrir de porta (1500x2000)	72,98 €	79,98 €	1,10
	2 folhas de abrir de porta (2000x2000)	82,62 €	88,42 €	1,07
	2 folhas de abrir de porta (2000x2200)	87,77 €	91,59 €	1,04
Média				1,06

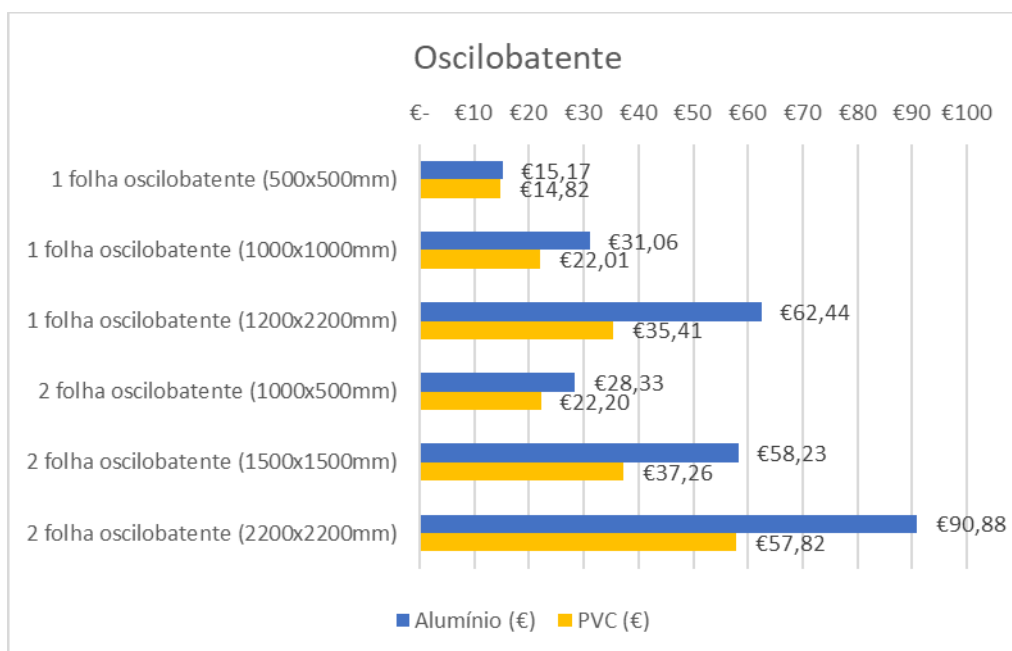


Figura 108\_ Custo de manutenção decenal de caixilharia oscilobatente de Alumínio e de PVC

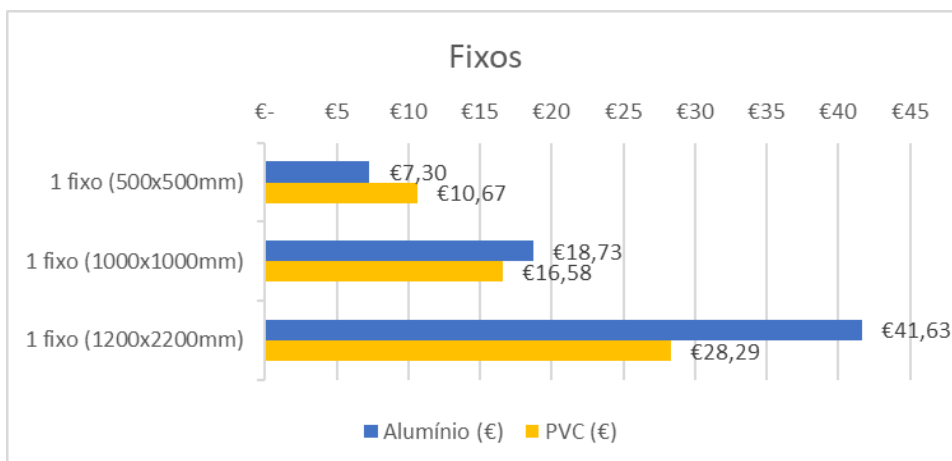


Figura 109\_ Custo de manutenção decenal de caixilharia fixa de Alumínio e de PVC

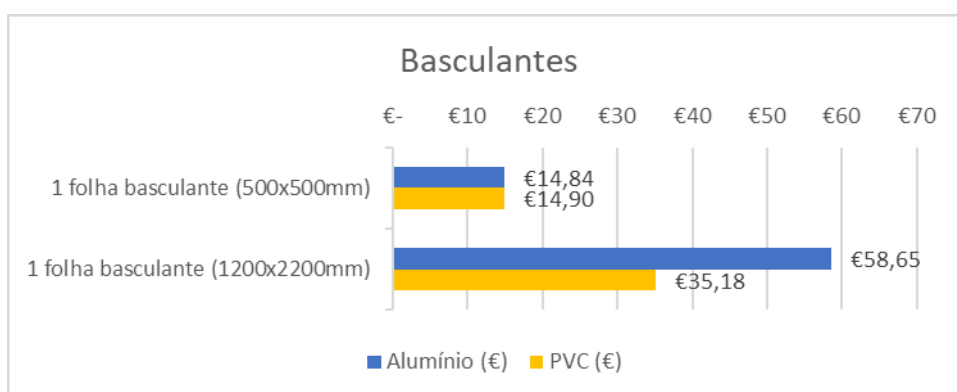


Figura 110\_ Custo de manutenção decenal de caixilharia basculante de Alumínio e de PVC

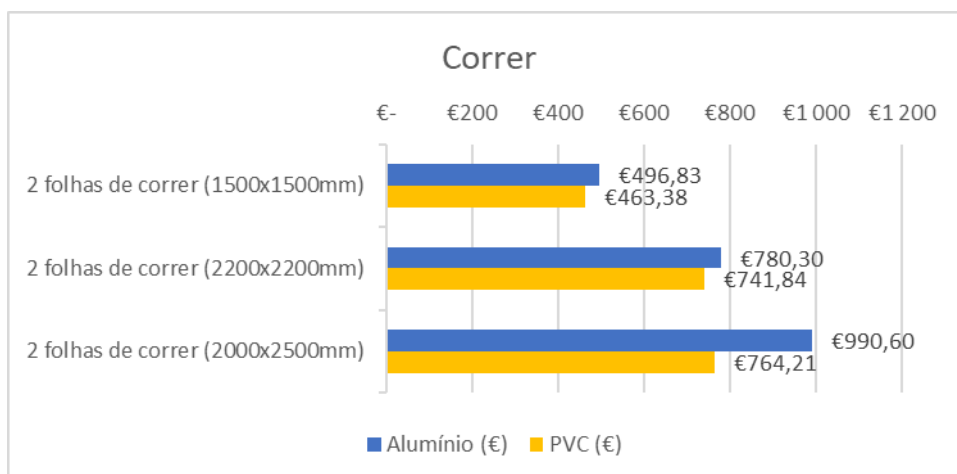


Figura 111\_ Custo de manutenção decenal de caixilharia correr de Alumínio e de PVC

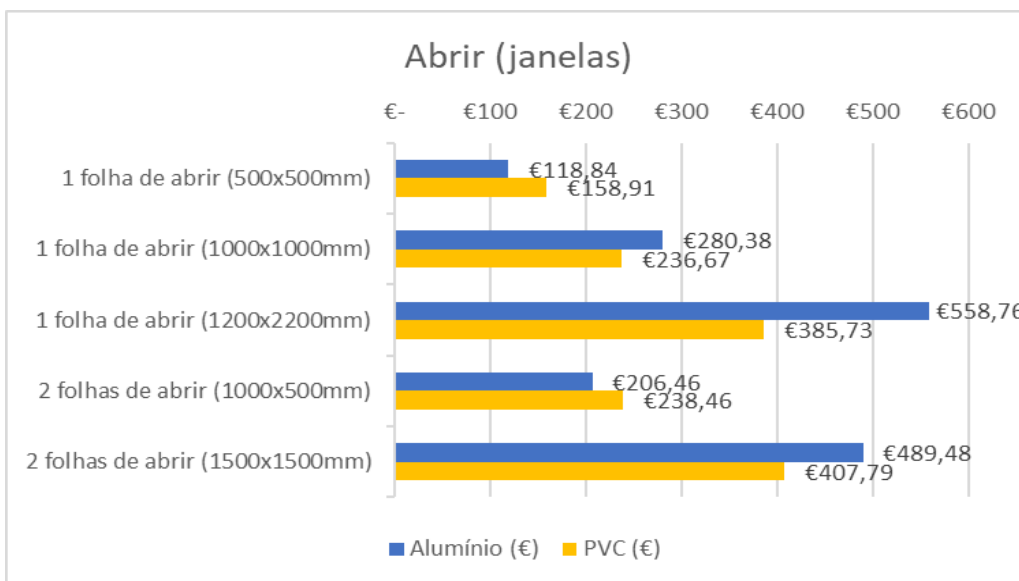


Figura 112\_ Custo de manutenção decenal de caixilharia correr de Alumínio e de PVC

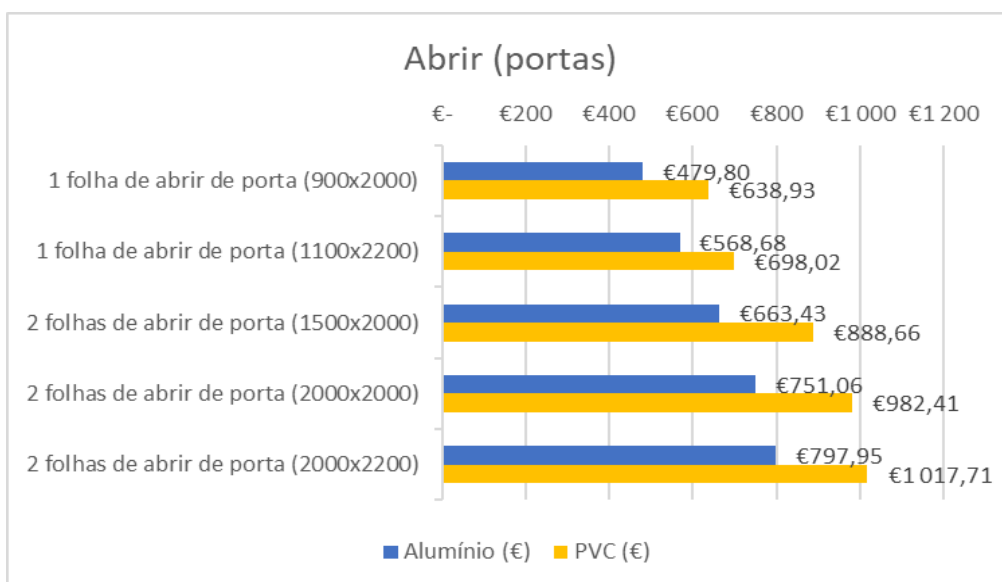


Figura 113\_ Custo de manutenção decenal de caixilharia correr de Alumínio e de PVC

Analisando as tabelas e gráficos anteriores, verifica-se que na maior parte das tipologias o PVC é mais económico e excetuando o grupo das portas de abrir, onde os valores são significativamente mais altos que os valores de manutenção calculados para a caixilharia de Alumínio.

#### 4.7.3. Custo do ciclo de vida

O Eurocódigo 0 (EN 1990:2009) considera que as estruturas de edifícios e outras estruturas correntes devem ser projetadas para assegurarem uma vida útil de 50 anos.

O tempo de vida de uma caixilharia em Alumínio é superior ao de uma caixilharia de PVC, tal como já tinha sido referido anteriormente no ponto relativo à análise comparativa da durabilidade, a propósito de um estudo elaborado por Asif, Davidson, & Muneer (2002). Tendo por base os resultados desse estudo, no presente trabalho irá considerar-se que a caixilharia de Alumínio tem uma durabilidade de 50 anos e que a caixilharia de PVC tem uma durabilidade de 25 anos. Por essa razão, durante o período de vida útil regulamentar de um edifício, a caixilharia de PVC terá que ser substituída quando atingir 25 anos.

Os custos económicos imputados ao cliente durante o ciclo de vida útil da caixilharia no Alumínio englobam, numa fase inicial, a implantação (incluindo mão de obra e custo da caixilharia) e depois todas as manutenções e/ou reparações que terão de ser feitas ao longo da sua utilização. Para a caixilharia de PVC e considerando que vai ser substituída a meio do período de vida útil do edifício, considera-se que o custo a imputar ao cliente inclui dois ciclos de vida útil de caixilharia de PVC e o valor da sua substituição, conforme se ilustra na Figura 114.

Para além disso, no caso de ser uma obra de remodelação o valor dos envidraçados a substituir aumenta pois incluirá o valor da preparação do local a instalar o produto bem como a remoção de janelas e/ou portas existentes. Segundo uma empresa anónima fabricante de Alumínio, PVC e vidro, o valor fixo para a substituição de um vão de janela ou porta é de 150€, para a remoção seja de caixilharia em Alumínio seja em madeira independentemente da sua dimensão ou material a retirar.

Para a determinação do custo de manutenção durante o período de vida útil de um edifício (50 anos), foram consideradas as percentagens decenais fornecidas pelo CYPE. Isto é, para o cálculo da manutenção, de dez em dez anos é imputado ao cliente, no caso de caixilharia de Alumínio, 11% do valor inicial. Como foi considerado 50 anos de período de vida útil para o caixilho em Alumínio, o custo de manutenção decenal será calculado 5 vezes durante o período total do seu ciclo de vida. No caso de caixilharia de PVC, o custo de manutenção é apenas considerado correspondente a 9% do valor inicial e tratando-se de uma percentagem decenal, tal como na caixilharia de alumínio, é feita 5 vezes ao longo do período expectável de um edifício. É importante referir que todos

os valores de manutenção calculados são procedentes de estimativas pelo que os custos apresentados são apenas indicativos da sua ordem de grandeza.

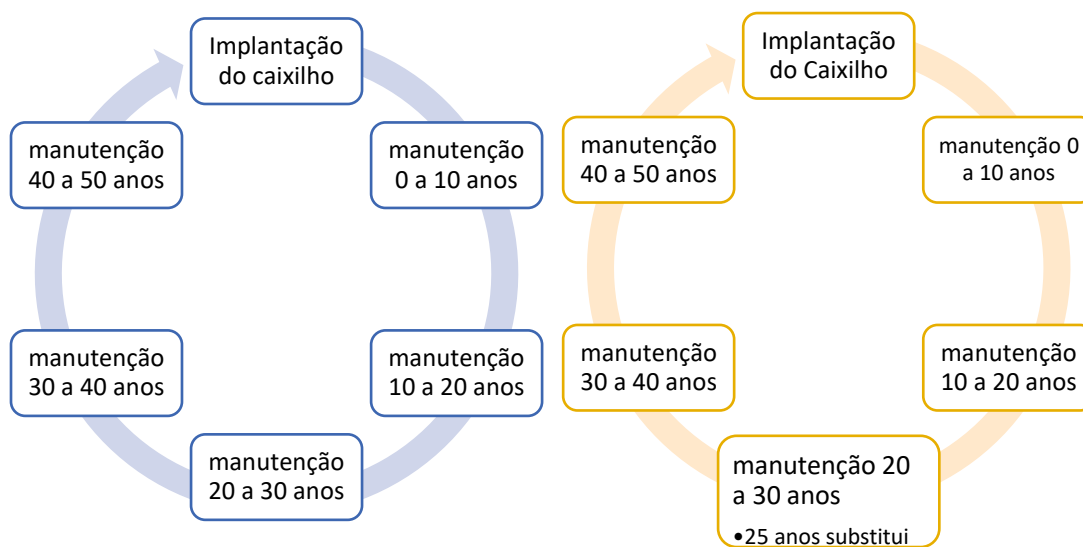


Figura 114\_ Diagrama de custo direto de ciclo de vida de caixilharia de Alumínio e PVC a imputar ao cliente final

O estudo económico recai sobre aspetos da obra, ou parte dos trabalhos, processos ou serviços relativos a todo o seu ciclo de vida. Conhecer os custos de uma solução facilita a avaliação da viabilidade da aplicação de recursos financeiros, quer no investimento inicial quer nos investimentos futuros.

Uma vez que um custo alocado ao instante presente pode ter para o investidor um significado diferente de um mesmo custo alocado a um instante futuro, importa que o fator tempo seja refletido na análise. Para tal pode calcular-se o Valor Presente Líquido (VPL), correspondente à soma de todas as entradas e saídas de dinheiro durante a vida útil de um projeto, atualizada para o momento presente através da aplicação de uma taxa de atualização monetária adequada. A determinação do VPL de um determinado investimento futuro, correspondente a um determinado ano (t) posterior ao ano atual (t<sub>0</sub>), pode obter-se a partir da sua multiplicação por um Fator de Correção Monetário (FCM), de acordo com a seguinte expressão (Almeida, 2013).

$$VPL = Custo_{t_0} = FCM_{t,t_0} \cdot Custo_t$$

O Fator de Correção Monetária (FCM) é determinado a partir da taxa de atualização monetária para um determinado ano (t) de acordo com a expressão que se segue.

$$FCM_{t,t_0} = \frac{1}{(1 + TA)^{(t-t_0)}}$$

A Taxa de Atualização monetária (TA) é um fator que relaciona o valor do dinheiro aplicado em diferentes instantes de tempo, tendo em conta a oportunidade de capital, o risco financeiro associado ao investimento e a taxa de inflação esperada. Para o efeito, essa taxa pode ser determinada pela seguinte expressão:

$$TA = (1+u).(1+f).(1+i)-1$$

onde,

u - oportunidade de capital;

f - prêmio associado ao risco financeiro do investimento em análise;

i - taxa de inflação esperada.

Segundo Almeida (2013), quando a taxa de inflação é negativa com um valor absoluto igual ao da taxa esperada de financiamento, a taxa de atualização corresponde ao valor da oportunidade de capital.

Quanto maior for a taxa de atualização considerada e mais distante do presente for o instante temporal associado ao custo, menor será o fator de correção monetária ao longo do tempo, provocando uma redução mais drástica do custo na sua atualização ao instante presente (Figura 115).

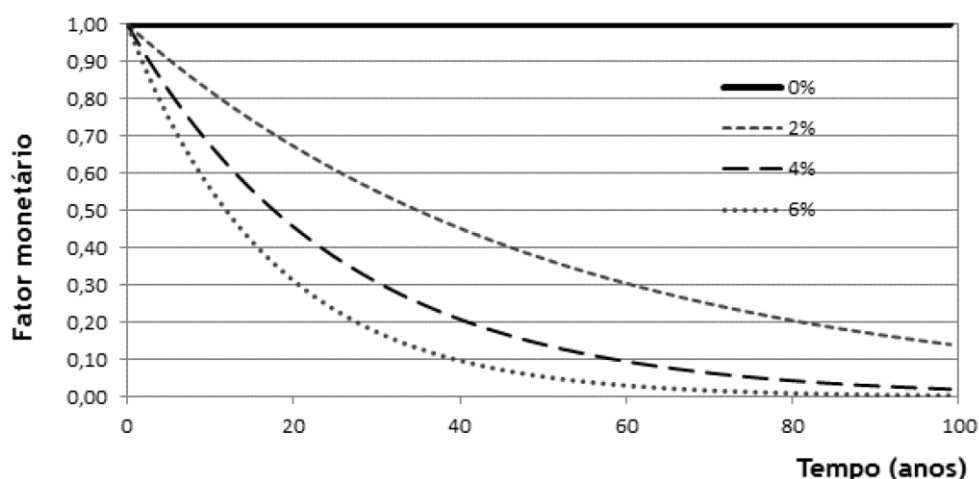


Figura 115\_ Fator de correção monetário em função do tempo e da taxa de atualização monetária anual (Almeida, 2013)

Tendo em conta o cálculo do valor presente líquido correspondente ao ciclo de vida da caixilharia durante os 50 anos de tempo de vida útil de um edifício, com base

nos valores dos orçamentos anteriormente apresentados (Tabela 45 a Tabela 50), foi feito o cálculo para três cenários - o cenário 1 com uma taxa de atualização de 0%, o cenário 2, com uma taxa de atualização monetária de 2% e o cenário 3 com uma taxa de atualização de 4% - e os resultados obtidos são os apresentados nas Tabela 57 a Tabela 62.

A análise com taxa de atualização 0% permite comparar os custos sem qualquer referência ao ano em que são aplicados. Em paralelo será feita uma outra análise com um ligeiro acerto dos preços ao longo dos anos de forma a refletir a vantagem que o dono de obra tem em não despende do dinheiro todo no momento inicial. Considerando o alargado período de análise e o baixo nível de risco associado a um investimento em caixilharia, a taxa de atualização monetária a considerar não necessita de ser alta. No entanto, uma vez que para um cliente que coloque caixilharia no seu edifício será preferível gastar metade do dinheiro agora e metade do dinheiro no futuro, do que gastar tudo no momento inicial, pode refletir-se essa vantagem financeira para o dono do edifício, considerando uma ligeira minoração dos investimentos futuros através da aplicação de uma taxa de atualização monetária de 2%. E para o último cenário a taxa de atualização foi considerada de acordo com o Despacho nº13 - 208 da II Série do Diário da República, do ano de 2003, que recomenda uma taxa de atualização monetária de 4% a ter em conta em estudos económico-financeiros de análise de propostas de parcerias público-privadas.

Nas tabelas que se seguem são apresentados os valores obtidos, com base nos pressupostos explicados, para a estimativa de custo de ciclo de vida de diferentes tipologias e caixilharia em alumínio e PVC, considerando esses três diferentes cenários em termos de taxa de atualização monetária.



Tabela 57\_Cenário 1: Custo do ciclo de vida útil a imputar ao cliente final de caixilharia de Alumínio com taxa de 0%

Tipologia	Implantação	Manutenção					Total
	0 anos	0 - 10 anos	10 - 20 anos	20 - 30 anos	30 - 40 anos	40 - 50 anos	(€)
1 folha oscilobatente (500x500mm)	137,88	15,17	15,17	15,17	15,17	15,17	213,71
1 folha oscilobatente (1000x1000mm)	282,366	31,06	31,06	31,06	31,06	31,06	437,67
1 folha oscilobatente (1200x2200mm)	567,622	62,44	62,44	62,44	62,44	62,44	879,81
1 fixo (500x500mm)	66,33	7,30	7,30	7,30	7,30	7,30	102,81
1 fixo (1000x1000mm)	170,23	18,73	18,73	18,73	18,73	18,73	263,86
1 fixo (1200x2200mm)	378,49	41,63	41,63	41,63	41,63	41,63	586,66
1 folha basculante (500x500mm)	134,94	14,84	14,84	14,84	14,84	14,84	209,16
1 folha basculante (1200x2200mm)	533,182	58,65	58,65	58,65	58,65	58,65	826,43
2 folha oscilobatente (1000x500mm)	257,55	28,33	28,33	28,33	28,33	28,33	399,20
2 folha oscilobatente (1500x1500mm)	529,381	58,23	58,23	58,23	58,23	58,23	820,54
2 folha oscilobatente (2200x2200mm)	826,169	90,88	90,88	90,88	90,88	90,88	1280,56
2 folhas de correr (1500x1500mm)	496,833	54,65	54,65	54,65	54,65	54,65	770,09
2 folhas de correr (2200x2200mm)	780,298	85,83	85,83	85,83	85,83	85,83	1209,46
2 folhas de correr (2000x2500mm)	990,599	108,97	108,97	108,97	108,97	108,97	1535,43
1 folha de abrir (500x500mm)	118,84	13,07	13,07	13,07	13,07	13,07	184,20
1 folha de abrir (1000x1000mm)	280,376	30,84	30,84	30,84	30,84	30,84	434,58
1 folha de abrir (1200x2200mm)	558,762	61,46	61,46	61,46	61,46	61,46	866,08
2 folhas de abrir (1000x500mm)	206,455	22,71	22,71	22,71	22,71	22,71	320,01
2 folhas de abrir (1500x1500mm)	489,481	53,84	53,84	53,84	53,84	53,84	758,70
1 folha de abrir de porta (900x2000)	479,797	52,78	52,78	52,78	52,78	52,78	743,69
1 folha de abrir de porta (1100x2200)	568,679	62,55	62,55	62,55	62,55	62,55	881,45
2 folhas de abrir de porta (1500x2000)	663,427	72,98	72,98	72,98	72,98	72,98	1028,31
2 folhas de abrir de porta (2000x2000)	751,061	82,62	82,62	82,62	82,62	82,62	1164,14
2 folhas de abrir de porta (2000x2200)	797,947	87,77	87,77	87,77	87,77	87,77	1236,82

Tabela 58\_Cenário 1: Custo do ciclo de vida útil a imputar ao cliente final de caixilharia de PVC com taxa de 0%

Tipologia	Implantação	Manutenção + Substituição (€)						Total	
	0 anos	0-10 anos	10-20 anos	20-30 anos	Substituição	Implantação	30-40 anos	40-50 anos	(€)
1 folha oscilobatente (500x500mm)	164,71	14,82	14,82	14,82	150,00	164,71	14,82	14,82	553,54
1 folha oscilobatente (1000x1000mm)	244,61	22,01	22,01	22,01	150,00	244,61	22,01	22,01	749,29
1 folha oscilobatente (1200x2200mm)	393,4	35,41	35,41	35,41	150,00	393,4	35,41	35,41	1113,83
1 fixo (500x500mm)	118,55	10,67	10,67	10,67	150,00	118,55	10,67	10,67	440,45
1 fixo (1000x1000mm)	184,25	16,58	16,58	16,58	150,00	184,25	16,58	16,58	601,41
1 fixo (1200x2200mm)	314,31	28,29	28,29	28,29	150,00	314,31	28,29	28,29	920,06
1 folha basculante (500x500mm)	165,54	14,90	14,90	14,90	150,00	165,54	14,90	14,90	555,57
1 folha basculante (1200x2200mm)	390,84	35,18	35,18	35,18	150,00	390,84	35,18	35,18	1107,56
2 folha oscilobatente (1000x500mm)	246,65	22,20	22,20	22,20	150,00	246,65	22,20	22,20	754,29
2 folha oscilobatente (1500x1500mm)	413,96	37,26	37,26	37,26	150,00	413,96	37,26	37,26	1164,20
2 folha oscilobatente (2200x2200mm)	642,4	57,82	57,82	57,82	150,00	642,4	57,82	57,82	1723,88
2 folhas de correr (1500x1500mm)	463,38	41,70	41,70	41,70	150,00	463,38	41,70	41,70	1285,28
2 folhas de correr (2200x2200mm)	741,84	66,77	66,77	66,77	150,00	741,84	66,77	66,77	1967,51
2 folhas de correr (2000x2500mm)	764,21	68,78	68,78	68,78	150,00	764,21	68,78	68,78	2022,31
1 folha de abrir (500x500mm)	158,91	14,30	14,30	14,30	150,00	158,91	14,30	14,30	539,33
1 folha de abrir (1000x1000mm)	236,67	21,30	21,30	21,30	150,00	236,67	21,30	21,30	729,84
1 folha de abrir (1200x2200mm)	385,73	34,72	34,72	34,72	150,00	385,73	34,72	34,72	1095,04
2 folhas de abrir (1000x500mm)	238,46	21,46	21,46	21,46	150,00	238,46	21,46	21,46	734,23
2 folhas de abrir (1500x1500mm)	407,79	36,70	36,70	36,70	150,00	407,79	36,70	36,70	1149,09
1 folha de abrir de porta (900x2000)	638,93	57,50	57,50	57,50	150,00	638,93	57,50	57,50	1715,38
1 folha de abrir de porta (1100x2200)	698,02	62,82	62,82	62,82	150,00	698,02	62,82	62,82	1860,15
2 folhas de abrir de porta (1500x2000)	888,66	79,98	79,98	79,98	150,00	888,66	79,98	79,98	2327,22
2 folhas de abrir de porta (2000x2000)	982,41	88,42	88,42	88,42	150,00	982,41	88,42	88,42	2556,90
2 folhas de abrir de porta (2000x2200)	1 017,71	91,59	91,59	91,59	150,00	1017,71	91,59	91,59	2643,39

Tabela 59\_Cenário 2: Custo do ciclo de vida útil a imputar ao cliente final de caixilharia de Alumínio com taxa de 2%

Tipologia	Implantação	Manutenção (anos) (€)					Total
	(€)	0 - 10 anos	10 - 20 anos	20 - 30 anos	30 - 40 anos	40 - 50 anos	(€)
1 folha oscilobatente (500x500mm)	137,88	12,44	10,21	8,37	6,87	5,63	181,41
1 folha oscilobatente (1000x1000mm)	282,37	25,48	20,90	17,15	14,07	11,54	371,50
1 folha oscilobatente (1200x2200mm)	567,62	51,22	42,02	34,47	28,28	23,20	746,81
1 fixo (500x500mm)	66,33	5,99	4,91	4,03	3,30	2,71	87,27
1 fixo (1000x1000mm)	170,23	15,36	12,60	10,34	8,48	6,96	223,97
1 fixo (1200x2200mm)	378,49	34,15	28,02	22,98	18,86	15,47	497,97
1 folha basculante (500x500mm)	134,94	12,18	9,99	8,19	6,72	5,51	177,54
1 folha basculante (1200x2200mm)	533,18	48,11	39,47	32,38	26,56	21,79	701,50
2 folhas oscilobatente (1000x500mm)	257,55	23,24	19,07	15,64	12,83	10,53	338,85
2 folhas oscilobatente (1500x1500mm)	529,38	47,77	39,19	32,15	26,37	21,63	696,50
2 folhas oscilobatente (2200x2200mm)	826,17	74,55	61,16	50,17	41,16	33,76	1086,97
2 folhas de correr (1500x1500mm)	496,83	44,83	36,78	30,17	24,75	20,30	653,67
2 folhas de correr (2200x2200mm)	780,30	70,41	57,76	47,39	38,87	31,89	1026,62
2 folhas de correr (2000x2500mm)	990,60	89,39	73,33	60,16	49,35	40,48	1303,31
1 folha de abrir (500x500mm)	118,84	10,72	8,80	7,22	5,92	4,86	156,36
1 folha de abrir (1000x1000mm)	280,38	25,30	20,76	17,03	13,97	11,46	368,88
1 folha de abrir (1200x2200mm)	558,76	50,42	41,36	33,93	27,84	22,84	735,15
2 folhas de abrir (1000x500mm)	206,46	18,63	15,28	12,54	10,29	8,44	271,63
2 folhas de abrir (1500x1500mm)	489,48	44,17	36,23	29,73	24,38	20,00	644,00
1 folha de abrir de porta (900x2000)	479,80	43,30	35,52	29,14	23,90	19,61	631,26
1 folha de abrir de porta (1100x2200)	568,68	51,32	42,10	34,53	28,33	23,24	748,20
2 folhas de abrir de porta (1500x2000)	663,43	59,87	49,11	40,29	33,05	27,11	872,86
2 folhas de abrir de porta (2000x2000)	751,06	67,77	55,60	45,61	37,42	30,69	988,16
2 folhas de abrir de porta (2000x2200)	797,95	72,01	59,07	48,46	39,75	32,61	1049,84

Tabela 60\_Cenário 2: Custo do ciclo de vida útil a imputar ao cliente final de caixilharia de PVC com taxa de 2%

Tipologia	Implantação	Manutenção + Substituição (€)							CCV
	0 anos	0-10 anos	10-20 anos	20-30 anos	Substituição	Implantação	30-40 anos	40-50 anos	
1 folha oscilobatente (500x500mm)	164,71	12,16	9,98	8,18	91,43	100,40	6,71	5,51	399,08
1 folha oscilobatente (1000x1000mm)	244,61	18,06	14,82	12,15	91,43	149,10	9,97	8,18	548,32
1 folha oscilobatente (1200x2200mm)	393,40	29,05	23,83	19,55	91,43	239,79	16,04	13,15	826,23
1 fixo (500x500mm)	118,55	8,75	7,18	5,89	91,43	72,26	4,83	3,96	312,86
1 fixo (1000x1000mm)	184,25	13,60	11,16	9,15	91,43	112,31	7,51	6,16	435,57
1 fixo (1200x2200mm)	314,31	23,21	19,04	15,62	91,43	191,58	12,81	10,51	678,50
1 folha basculante (500x500mm)	165,54	12,22	10,03	8,23	91,43	100,90	6,75	5,54	400,63
1 folha basculante (1200x2200mm)	390,84	28,86	23,67	19,42	91,43	238,23	15,93	13,07	821,45
2 folhas oscilobatente (1000x500mm)	246,65	18,21	14,94	12,26	91,43	150,34	10,05	8,25	552,13
2 folhas oscilobatente (1500x1500mm)	413,96	30,56	25,07	20,57	91,43	252,32	16,87	13,84	864,63
2 folhas oscilobatente (2200x2200mm)	642,40	47,43	38,91	31,92	91,43	391,56	26,18	21,48	1291,31
2 folhas de correr (1500x1500mm)	463,38	34,21	28,07	23,02	91,43	282,44	18,89	15,49	956,94
2 folhas de correr (2200x2200mm)	741,84	54,77	44,93	36,86	91,43	452,17	30,24	24,81	1477,05
2 folhas de correr (2000x2500mm)	764,21	56,42	46,29	37,97	91,43	465,81	31,15	25,55	1518,83
1 folha de abrir (500x500mm)	158,91	11,73	9,62	7,90	91,43	96,86	6,48	5,31	388,24
1 folha de abrir (1000x1000mm)	236,67	17,47	14,33	11,76	91,43	144,26	9,65	7,91	533,49
1 folha de abrir (1200x2200mm)	385,73	28,48	23,36	19,17	91,43	235,11	15,72	12,90	811,90
2 folhas de abrir (1000x500mm)	238,46	17,61	14,44	11,85	91,43	145,35	9,72	7,97	536,83
2 folhas de abrir (1500x1500mm)	407,79	30,11	24,70	20,26	91,43	248,56	16,62	13,64	853,11
1 folha de abrir de porta (900x2000)	638,93	47,17	38,70	31,75	91,43	389,45	26,04	21,36	1284,83
1 folha de abrir de porta (1100x2200)	698,02	51,54	42,28	34,68	91,43	425,46	28,45	23,34	1395,20
2 folhas de abrir de porta (1500x2000)	888,66	65,61	53,82	44,15	91,43	541,67	36,22	29,71	1751,28
2 folhas de abrir de porta (2000x2000)	982,41	72,53	59,50	48,81	91,43	598,81	40,04	32,85	1926,39
2 folhas de abrir de porta (2000x2200)	1017,71	75,14	61,64	50,57	91,43	620,33	41,48	34,03	1992,32

Tabela 61\_ Cenário 3: Custo do ciclo de vida útil a imputar ao cliente final de caixilharia de Alumínio com taxa de 4%

Tipologia	Implantação	Manutenção (€)						Total (€)
	0 anos	0 - 10 anos	10 - 20 anos	20 - 30 anos	30 - 40 anos	40 - 50 anos		
1 folha oscilobatente (500x500mm)	137,88	10,25	6,92	4,68	3,16	2,13	165,02	
1 folha oscilobatente (1000x1000mm)	282,37	20,98	14,18	9,58	6,47	4,37	337,94	
1 folha oscilobatente (1200x2200mm)	567,62	42,18	28,50	19,25	13,01	8,79	679,34	
1 fixo (500x500mm)	66,33	4,93	3,33	2,25	1,52	1,03	79,39	
1 fixo (1000x1000mm)	170,23	12,65	8,55	5,77	3,90	2,63	203,73	
1 fixo (1200x2200mm)	378,49	28,13	19,00	12,84	8,67	5,86	452,98	
1 folha basculante (500x500mm)	134,94	10,03	6,77	4,58	3,09	2,09	161,50	
1 folha basculante (1200x2200mm)	533,18	39,62	26,77	18,08	12,22	8,25	638,12	
2 folhas oscilobatente (1000x500mm)	257,55	19,14	12,93	8,73	5,90	3,99	308,24	
2 folhas oscilobatente (1500x1500mm)	529,38	39,34	26,58	17,95	12,13	8,19	633,57	
2 folhas oscilobatente (2200x2200mm)	826,17	61,39	41,48	28,02	18,93	12,79	988,78	
2 folhas de correr (1500x1500mm)	496,83	36,92	24,94	16,85	11,38	7,69	594,62	
2 folhas de correr (2200x2200mm)	780,30	57,99	39,17	26,46	17,88	12,08	933,88	
2 folhas de correr (2000x2500mm)	990,60	73,61	49,73	33,60	22,70	15,33	1185,57	
1 folha de abrir (500x500mm)	118,84	8,83	5,97	4,03	2,72	1,84	142,23	
1 folha de abrir (1000x1000mm)	280,38	20,84	14,08	9,51	6,42	4,34	335,56	
1 folha de abrir (1200x2200mm)	558,76	41,52	28,05	18,95	12,80	8,65	668,74	
2 folhas de abrir (1000x500mm)	206,46	15,34	10,36	7,00	4,73	3,20	247,09	
2 folhas de abrir (1500x1500mm)	489,48	36,37	24,57	16,60	11,21	7,58	585,82	
1 folha de abrir de porta (900x2000)	479,80	35,65	24,09	16,27	10,99	7,43	574,23	
1 folha de abrir de porta (1100x2200)	568,68	42,26	28,55	19,29	13,03	8,80	680,61	
2 folhas de abrir de porta (1500x2000)	663,43	49,30	33,31	22,50	15,20	10,27	794,00	
2 folhas de abrir de porta (2000x2000)	751,06	55,81	37,71	25,47	17,21	11,63	898,88	
2 folhas de abrir de porta (2000x2200)	797,95	59,30	40,06	27,06	18,28	12,35	955,00	

Tabela 62\_ Cenário 3: Custo do ciclo de vida útil a imputar ao cliente final de caixilharia de PVC com taxa de 4%

Tipologia	Implantação	Manutenção + Substituição (€)						Total (€)	
	0 anos	0-10 anos	10-20 anos	20-30 anos	Substituição	Implantação	30-40 anos		40-50 anos
1 folha oscilobatente (500x500mm)	164,71	10,01	6,77	4,57	56,27	61,79	3,09	2,09	309,29
1 folha oscilobatente (1000x1000mm)	244,61	14,87	10,05	6,79	56,27	91,76	4,59	3,10	432,03
1 folha oscilobatente (1200x2200mm)	393,40	23,92	16,16	10,92	56,27	147,57	7,37	4,98	660,59
1 fixo (500x500mm)	118,55	7,21	4,87	3,29	56,27	44,47	2,22	1,50	238,38
1 fixo (1000x1000mm)	184,25	11,20	7,57	5,11	56,27	69,12	3,45	2,33	339,30
1 fixo (1200x2200mm)	314,31	19,11	12,91	8,72	56,27	117,90	5,89	3,98	539,10
1 folha basculante (500x500mm)	165,54	10,06	6,80	4,59	56,27	62,10	3,10	2,10	310,56
1 folha basculante (1200x2200mm)	390,84	23,76	16,05	10,85	56,27	146,61	7,33	4,95	656,66
2 folhas oscilobatente (1000x500mm)	246,65	15,00	10,13	6,84	56,27	92,52	4,62	3,12	435,16
2 folhas oscilobatente (1500x1500mm)	413,96	25,17	17,00	11,49	56,27	155,28	7,76	5,24	692,17
2 folhas oscilobatente (2200x2200mm)	642,40	39,06	26,39	17,83	56,27	240,98	12,04	8,14	1043,09
2 folhas de correr (1500x1500mm)	463,38	28,17	19,03	12,86	56,27	173,82	8,69	5,87	768,09
2 folhas de correr (2200x2200mm)	741,84	45,10	30,47	20,59	56,27	278,28	13,91	9,39	1195,85
2 folhas de correr (2000x2500mm)	764,21	46,46	31,39	21,21	56,27	286,67	14,33	9,68	1230,21
1 folha de abrir (500x500mm)	158,91	9,66	6,53	4,41	56,27	59,61	2,98	2,01	300,38
1 folha de abrir (1000x1000mm)	236,67	14,39	9,72	6,57	56,27	88,78	4,44	3,00	419,83
1 folha de abrir (1200x2200mm)	385,73	23,45	15,84	10,70	56,27	144,69	7,23	4,88	648,81
2 folhas de abrir (1000x500mm)	238,46	14,50	9,79	6,62	56,27	89,45	4,47	3,02	422,58
2 folhas de abrir (1500x1500mm)	407,79	24,79	16,75	11,32	56,27	152,97	7,64	5,16	682,69
1 folha de abrir de porta (900x2000)	638,93	38,85	26,24	17,73	56,27	239,67	11,98	8,09	1037,76
1 folha de abrir de porta (1100x2200)	698,02	42,44	28,67	19,37	56,27	261,84	13,09	8,84	1128,53
2 folhas de abrir de porta (1500x2000)	888,66	54,03	36,50	24,66	56,27	333,35	16,66	11,25	1421,38
2 folhas de abrir de porta (2000x2000)	982,41	59,73	40,35	27,26	56,27	368,52	18,42	12,44	1565,40
2 folhas de abrir de porta (2000x2200)	1017,71	61,88	41,80	28,24	56,27	381,76	19,08	12,89	1619,62

As tabelas seguintes apresentam os resultados totais das tabelas anteriores em paralelo, de forma a permitir uma comparação dos resultados obtidos para o Alumínio e para o PVC. Como seria de esperar, para as taxas de atualização não nulas verificou-se que os custos totais atualizados ao instante presente tendem a baixar em relação aos valores sem fator de correção monetária, o que resulta da minoração dos custos associados a instantes futuros. No entanto, tanto no cenário 1 (taxa de atualização monetária de 0%) como no cenário 2 (taxa de atualização monetária de 2%), o custo total ao longo de 50 anos da caixilharia de Alumínio é mais económica que a caixilharia

de PVC. Essa diferença verifica-se porque, apesar da manutenção ser mais acessível na caixilharia de PVC, esses caixilhos têm de ser substituídos uma vez durante o período de vida útil do edifício.

Tabela 63\_ Custo total para período de 50 anos de caixilharia de Alumínio e PVC considerando taxa de atualização de 0, 2 e 4% para oscilobatentes

Tipologia	TA 0%			TA 2%			TA 4%											
	Alumínio	PVC	PVC/Al	Alumínio	PVC	PVC/Al	Alumínio	PVC	PVC/Al									
1 folha oscilobatente (500x500mm)	213,71	553,54	2,6	181,41	399,08	2,2	165,02	309,29	1,9									
1 folha oscilobatente (1000x1000mm)	437,67	749,29	1,7	371,5	548,32	1,5	337,94	432,03	1,3									
1 folha oscilobatente (1200x2200mm)	879,81	1113,83	1,3	746,81	826,23	1,1	679,34	660,59	1,0									
2 folha oscilobatente (1000x500mm)	399,20	754,29	1,9	338,85	552,13	1,6	308,24	435,16	1,4									
2 folha oscilobatente (1500x1500mm)	820,54	1164,2	1,4	696,5	864,63	1,2	633,57	692,17	1,1									
2 folha oscilobatente (2200x2200mm)	1280,56	1723,88	1,3	1086,97	1291,31	1,2	988,78	1043,09	1,1									
	Média			1,7			Média			1,5			Média			1,3		

Tabela 64\_ Custo total para período de 50 anos de caixilharia de Alumínio e PVC considerando taxa de atualização de 0, 2 e 4% para fixos

Tipologia	TA 0%			TA 2%			TA 4%											
	Alumínio	PVC	PVC/Al	Alumínio	PVC	PVC/Al	Alumínio	PVC	PVC/Al									
1 fixo (500x500mm)	102,81	440,45	4,3	87,27	312,86	3,6	79,39	238,38	3,0									
1 fixo (1000x1000mm)	263,86	601,41	2,3	223,97	435,57	1,9	203,73	339,30	1,7									
1 fixo (1200x2200mm)	586,66	920,06	1,6	497,97	678,5	1,4	452,98	539,10	1,2									
	Média			2,7			Média			2,3			Média			2,0		

Tabela 65\_ Custo total para período de 50 anos de caixilharia de Alumínio e PVC considerando taxa de atualização de 0, 2 e 4% para basculantes

Tipologia	TA 0%			TA 2%			TA 4%											
	Alumínio	PVC	PVC/Al	Alumínio	PVC	PVC/Al	Alumínio	PVC	PVC/Al									
1 folha basculante (500x500mm)	209,16	555,57	2,7	177,54	400,63	2,3	161,50	310,56	1,9									
1 folha basculante (1200x2200mm)	826,43	1107,56	1,3	701,5	821,45	1,2	638,12	656,66	1,0									
	Média			2,0			Média			1,7			Média			1,5		

Tabela 66\_ Custo total para período de 50 anos de caixilharia de Alumínio e PVC considerando taxa de atualização de 0, 2 e 4% para correr

Tipologia	TA 0%			TA 2%			TA 4%											
	Alumínio	PVC	PVC/Al	Alumínio	PVC	PVC/Al	Alumínio	PVC	PVC/Al									
2 folhas de correr (1500x1500mm)	770,09	1285,28	1,7	653,67	956,94	1,5	594,62	768,09	1,3									
2 folhas de correr (2200x2200mm)	1209,46	1967,51	1,6	1026,62	1477,05	1,4	933,88	1195,85	1,3									
2 folhas de correr (2000x2500mm)	1535,43	2022,31	1,3	1303,31	1518,83	1,2	1185,57	1230,21	1,0									
	Média			1,5			Média			1,4			Média			1,2		

Tabela 67\_ Custo total para período de 50 anos de caixilharia de Alumínio e PVC considerando taxa de atualização de 0, 2 e 4% para abrir (janelas)

Tipologia	TA 0%			TA 2%			TA 4%											
	Alumínio	PVC	PVC/Al	Alumínio	PVC	PVC/Al	Alumínio	PVC	PVC/Al									
1 folha de abrir (500x500mm)	184,20	539,33	2,9	156,36	388,24	2,5	142,23	300,38	2,1									
1 folha de abrir (1000x1000mm)	434,58	729,84	1,7	368,88	533,49	1,4	335,56	419,83	1,3									
1 folha de abrir (1200x2200mm)	866,08	1095,04	1,3	735,15	811,9	1,1	668,74	648,81	1,0									
2 folhas de abrir (1000x500mm)	320,01	734,23	2,3	271,63	536,83	2,0	247,09	422,58	1,7									
2 folhas de abrir (1500x1500mm)	758,70	1149,09	1,5	644	853,11	1,3	585,82	682,69	1,2									
	Média			1,9			Média			1,7			Média			1,4		



Tabela 68\_Custo total para período de 50 anos de caixilharia de Alumínio e PVC considerando taxa de atualização de 0, 2 e 4% para abrir (portas)

Tipologia	TA 0%			TA 2%			TA 4%		
	Alumínio	PVC	PVC/Al	Alumínio	PVC	PVC/Al	Alumínio	PVC	PVC/Al
1 folha de abrir de porta (900x2000)	743,69	1715,38	2,3	631,26	1284,83	2,0	574,23	1037,76	1,8
1 folha de abrir de porta (1100x2200)	881,45	1860,15	2,1	748,2	1395,2	1,9	680,61	1128,53	1,7
2 folhas de abrir de porta (1500x2000)	1028,31	2327,22	2,3	872,86	1751,28	2,0	794,00	1421,38	1,8
2 folhas de abrir de porta (2000x2000)	1164,14	2556,9	2,2	988,16	1926,39	1,9	898,88	1565,40	1,7
2 folhas de abrir de porta (2000x2200)	1236,82	2643,39	2,1	1049,84	1992,32	1,9	955,00	1619,62	1,7
		Média	2,2		Média	2,0		Média	1,7

Foram também calculados outros parâmetros como a mediana, valor máximo e mínimo que serão apresentados na Tabela 69 em conjunto com os valores da média das tabelas acima, para cada tipologia e cenário.

Tabela 69\_Resumo da média, mediana, valor mínimo e máximo do rácio PVC /Alumínio por tipologia e cenários (taxas de atualização)

	Taxa de Atualização	Oscilobatente	Fixo	Basculante	Correr	Abrir (janelas)	Abrir (portas)	Total
Média	Cenário 1 - TA = 0%	1,7	2,7	2,0	1,5	1,9	2,2	2,0
	Cenário 2 - TA = 2%	1,5	2,3	1,7	1,4	1,7	2,0	1,7
	Cenário 3 - TA = 4%	1,3	2,0	1,5	1,2	1,4	1,7	1,5
Mediana	Cenário 1 - TA = 0%	1,6	2,3	2,0	1,6	1,7	2,2	1,8
	Cenário 2 - TA = 2%	1,4	1,9	1,7	1,4	1,4	1,9	1,6
	Cenário 3 - TA = 4%	1,2	1,7	1,5	1,3	1,3	1,7	1,4
Mínimo	Cenário 1 - TA = 0%	1,3	1,6	1,3	1,3	1,3	2,1	1,3
	Cenário 2 - TA = 2%	1,1	1,4	1,2	1,2	1,1	1,9	1,1
	Cenário 3 - TA = 4%	1,0	1,2	1,0	1,0	1,0	1,7	1,0
Máximo	Cenário 1 - TA = 0%	2,6	4,3	2,2	1,7	2,9	2,2	4,3
	Cenário 2 - TA = 2%	2,2	3,6	2,3	1,5	2,5	2,0	3,6
	Cenário 3 - TA = 4%	1,9	3,0	1,9	1,3	2,1	1,7	3,0

Em média, no cenário 1 o custo total de caixilharia de PVC é 2 vezes mais cara que a caixilharia de Alumínio. No cenário 2 e 3, essa proporção reduz devido à taxa de atualização monetária considerada, fazendo com que a caixilharia em PVC seja 1,7 e 1,5 vezes mais cara que a do Alumínio, para taxas de 2% e 4%, respetivamente. O valor máximo da relação PVC/Alumínio em todos os cenários é o fixo com 500 x 500 mm e os valores mais baixos nas tipologias de 1 folha oscilobatente (1200x2200mm) e 1 folha de abrir (1200x2200) para os três cenários. Essa variação faz-se notar na figura do gráfico que se segue. A partir da análise dos resultados apresentados, pode concluir-se que na maior parte dos casos analisados, com diferentes dimensões e tipologias de aberturas, e nos cenários de taxa de atualização monetária equacionados, os custos totais das caixilharias de alumínio durante os 50 anos do período de vida útil dos edifícios, não são superiores aos das caixilharias em PVC, podendo chegar até a ser bem mais reduzidos. Apenas nas tipologias de 1 folha oscilobatente e 1 folha de abrir (janela) de 1200 x 2200, no cenário 3, se verifica que o custo total das caixilharia de PVC são ligeiramente mais económicas que as de Alumínio.

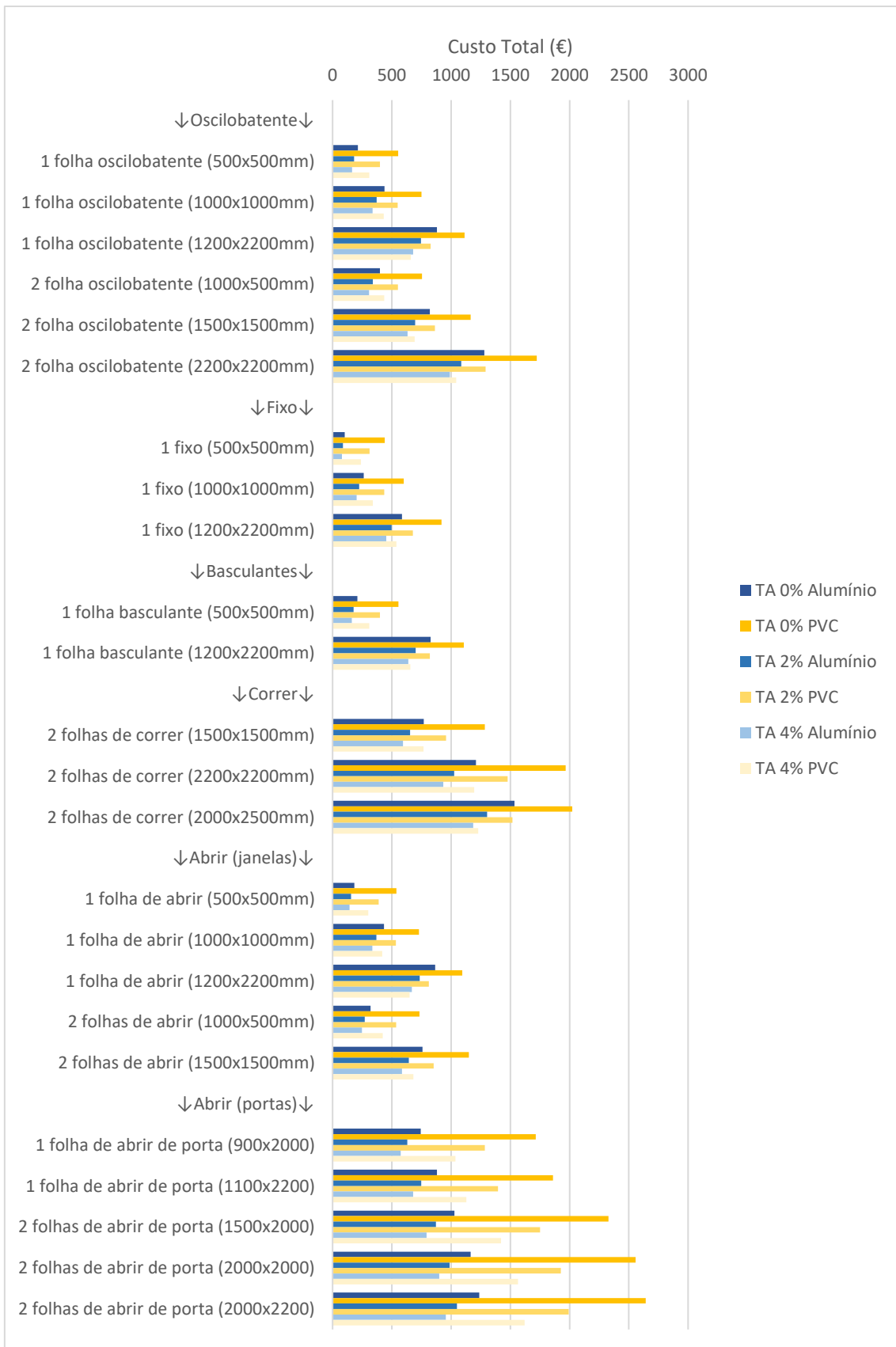


Figura 116\_Custo total de caixilharia em Alumínio com corte térmico e PVC com reforço para as diferentes tipologias e taxas de atualização.

Na Figura 116 constata-se que como o valor dos custos a longo prazo diminui, o custo da substituição do PVC também reduz. A manutenção da caixilharia de Alumínio é superior, os custos futuros da mesma também, aplicando a taxa de atualização vão ser menores relativamente ao momento presente mas superiores ao do custo de manutenção de caixilharia de PVC, o que faz com que o custo total entre os dois materiais a longo prazo se aproxime.

Para facilitar a observação dos dados apresentados na Figura 116 foram escolhidas três tipologias, com valor mínimo, médio e máximo de relação PVC/Alumínio. O primeiro gráfico representa a tipologia de 2 folhas oscilobatente de 2200mm de largura e 2200mm de altura, com a menor diferença de custos entre a caixilharia de Alumínio e PVC, seguida do gráfico da Figura 118 de 1 folha de abrir de porta de 1100mm de largura e 2200mm de altura por possuir a relação PVC/Alumínio mais próxima da média total nos três cenários e por fim o gráfico da Figura 119 de 1 fixo de 500mm de largura e altura com a maior variação entre ma e passa-se a apresentar no gráfico seguinte.

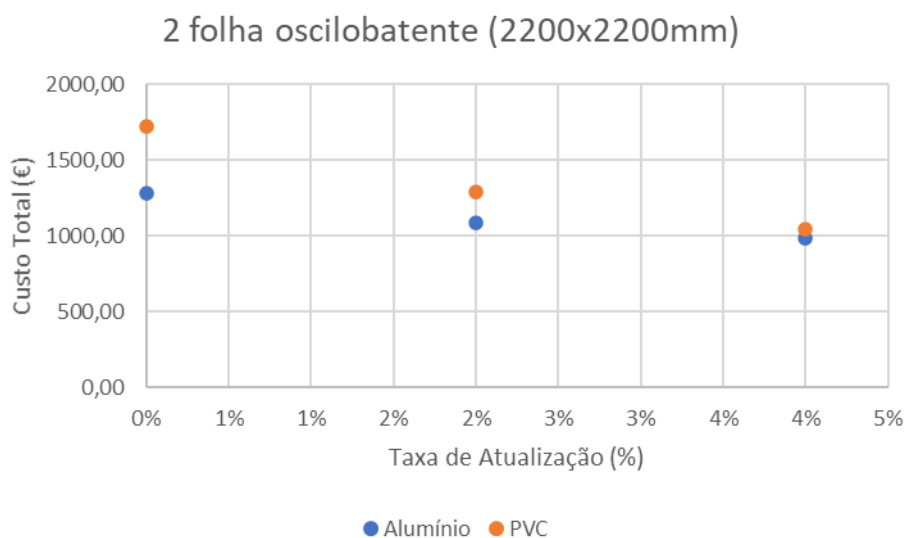


Figura 117\_Gráfico que relaciona as taxas de atualização de 0, 2 e 4% com os custos totais da tipologia em estudo

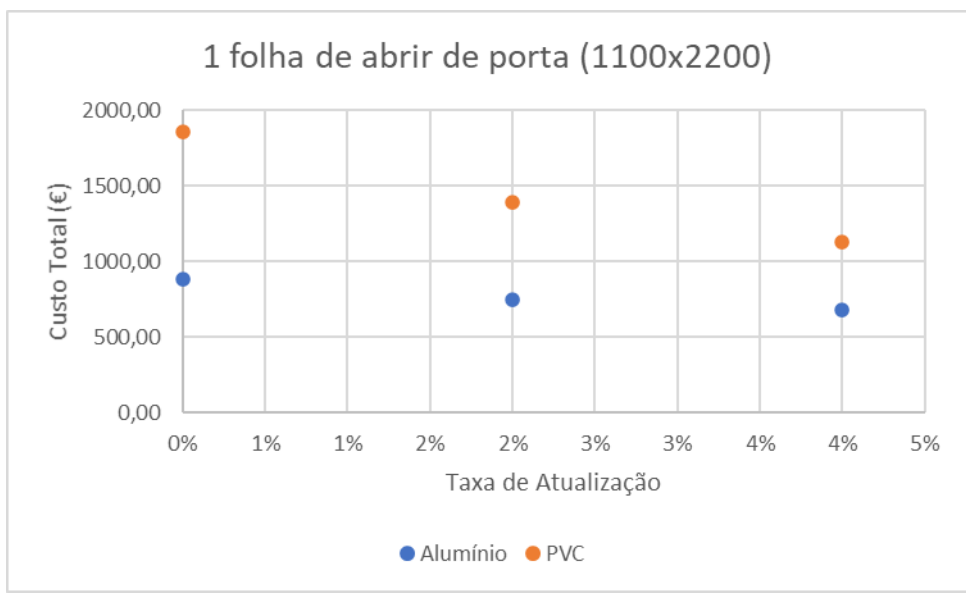


Figura 118\_ Gráfico que relaciona as taxas de atualização de 0, 2 e 4% com os custos totais da tipologia em estudo

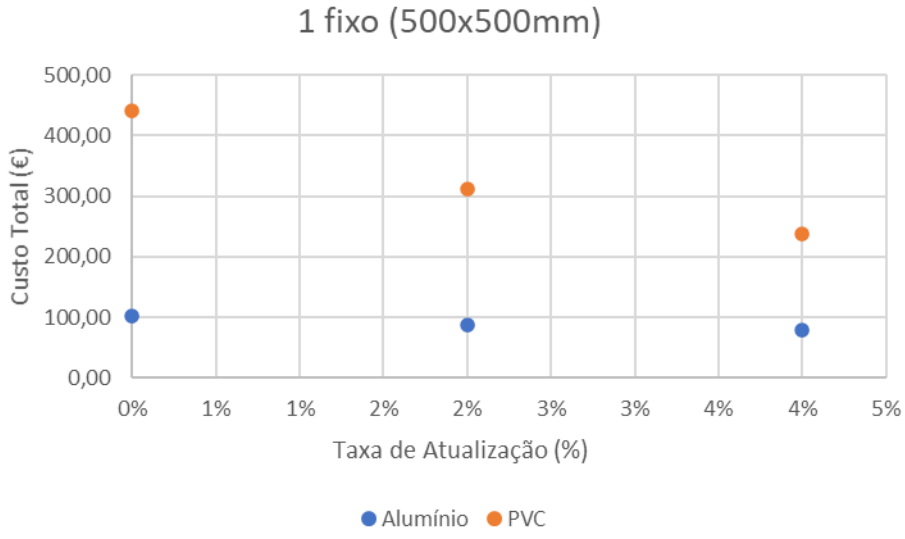


Figura 119\_ Gráfico que relaciona as taxas de atualização de 0, 2 e 4% com os custos totais da tipologia em estudo

À medida que a taxa de atualização aumenta, os custos totais diminuem. Mesmo assim a variação não é proporcional entre taxas, pois o cálculo para a manutenção de caixilharia de Alumínio é superior à de PVC. Quando o rácio dos custos totais de PVC/Alumínio para as tipologias em estudo, é menor à média dos mesmos observa-se para uma taxa de atualização de 4% que os custos são muito semelhantes (Figura 117), enquanto que para os gráficos das Figura 118 e Figura 119, os custos vão se aproximando, mantendo uma diferença de custos totais significativa entre caixilharia de Alumínio e PVC.



## 5. Inquéritos

No âmbito do presente trabalho, foi realizado um inquérito aos profissionais das áreas de arquitetura, engenharia, serralharia e possíveis clientes finais de caixilharia, para conhecer melhor a sua opinião sobre caixilharias.

O questionário elaborado foi composto um conjunto de questões e foi distribuído por email junto de profissionais e possíveis clientes finais, tendo sido respondido por 97 participantes. As respostas foram obtidas junto de profissionais da área da Engenharia Civil (Eng.), de possíveis clientes finais (C.F.), de profissionais da área comercial de caixilharia e serralharia e pela área de arquitetura (Arq.), de acordo com as percentagens apresentadas na Figura 120.

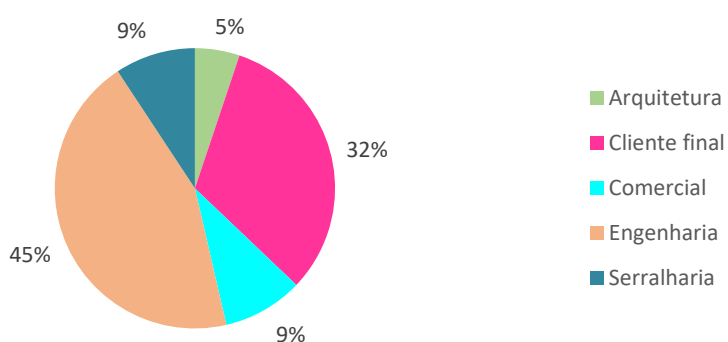


Figura 120\_Área a que pertencem os inquiridos

Os resultados em cada uma das questões do inquérito são os apresentados nas figuras que se seguem. As respostas a cada uma das questões foram organizados em subgrupos, um primeiro com os resultados dos profissionais de Engenharia (45%) e de Arquitetura (5%), correspondente a praticamente metade dos inquiridos, e um segundo com as respostas dadas por clientes finais, estes correspondentes a cerca de um terço das respostas. Para além disso, também são apresentados os resultados do coletivo de participantes, englobando esses dois subgrupos mais os profissionais da área da serralharia e da comercialização de caixilharias.

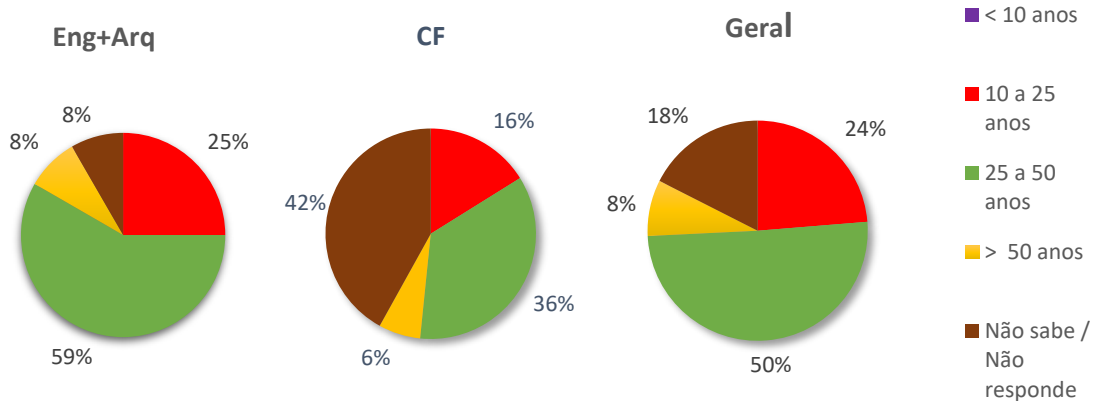


Figura 121\_ Tempo médio de vida útil de um caixilho de Alumínio

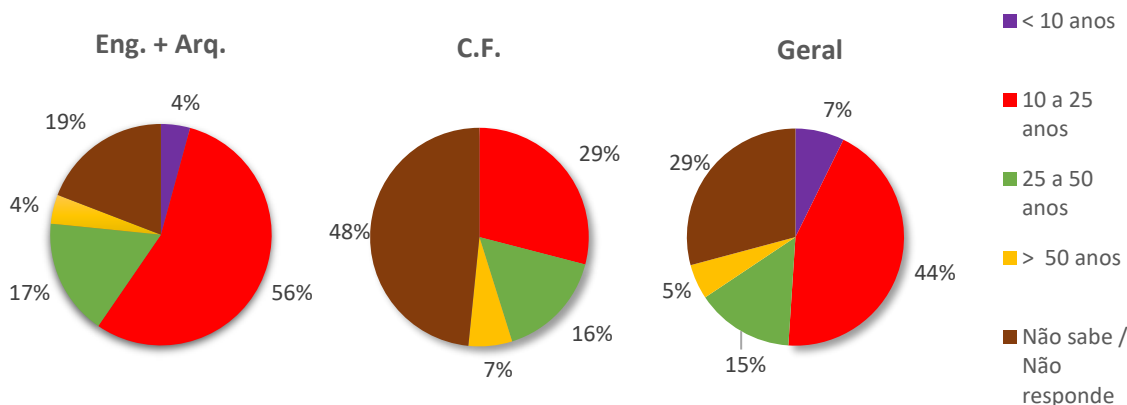


Figura 122\_ Tempo médio de vida útil de um caixilho de PVC

Pela análise das Figura 121 e Figura 122 pode verificar-se que, no geral, metade dos inquiridos acredita que o Alumínio tem uma vida útil estimada entre 25 e os 50 anos, enquanto que 44% admite que o PVC dura entre 10 a 25 anos. O resultado dessas questões é ainda mais evidenciado no grupo de Engenheiros e Arquitetos. Um dado interessante a reter desta questão acerca da vida útil de cada um dos materiais é o facto de em caixilharia de PVC, 7% dos inquiridos considerarem que a sua durabilidade é inferior a 10 anos, ao passo que, em caixilharia de Alumínio ninguém considera esse intervalo. De facto, a caixilharia de PVC apresenta uma durabilidade inferior à da Alumínio, conforme se referiu anteriormente com base nos resultados do estudo de Asif, Davidson, & Muneer, (2002). A diferença de tempo médio de vida útil expectável entre caixilharia de Alumínio e PVC estará sobretudo relacionada com o facto do PVC ser um material termoplástico, que pode apresentar deformações acentuadas ao longo do tempo de vida útil, o que pode culminar na sua substituição total, visto que também não poderá ser reparado com a mesma facilidade que o Alumínio pois a caixilharia é soldada.

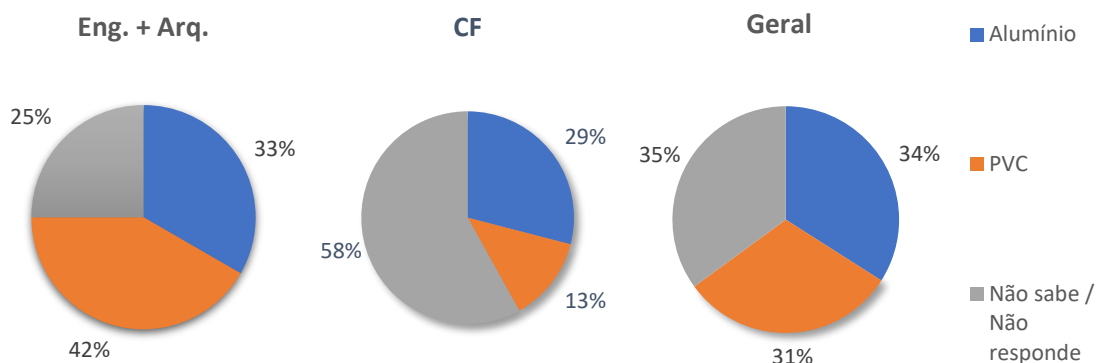


Figura 123\_Material de caixilharia mais fácil de manusear em serralharia

Sobre a facilidade de manuseamento de caixilharia, a maioria dos inquiridos (35%) não respondeu ou indicou que não sabia, denotando um elevado grau de desconhecimento sobre este aspeto. De entre os que escolheram um dos materiais, verifica-se uma distribuição bastante similar entre o Alumínio e o PVC, havendo, todavia, uma percentagem ligeiramente maior para a indicação do Alumínio como o material de mais fácil manuseamento, mesmo no grupo dos técnicos. De facto, apesar do PVC ser menos denso que o Alumínio, conta com um perfil de aço no seu interior, o que o torna mais pesado. Para além disso, a caixilharia em Alumínio devido à sua elevada resistência, não precisa de perfis demasiado espessos e pesados, o que facilita o seu manuseamento.

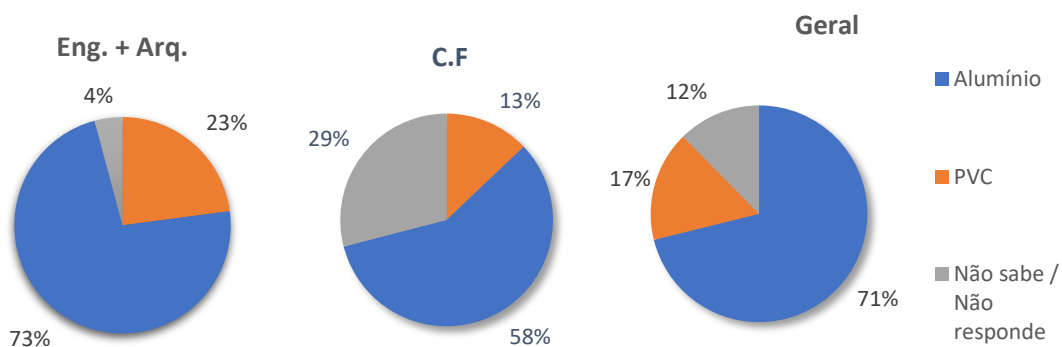


Figura 124\_Material de caixilharia menos poluente

Relativamente ao material menos poluente, o Alumínio é o escolhido por 71% das respostas e o PVC apenas por 17%. Examinando só as respostas dos profissionais em engenharia e arquitetura, diminui a parcela dos que não sabem ou não respondem e essas percentagens sobem ligeiramente passando a ser de 73% para o Alumínio e de 23% para o PVC como material mais poluente. Estas percentagens poderão ser resultantes do conhecimento de que o PVC é um material com baixa taxa de reciclabilidade

e de que quando eliminado por incineração ou em caso de incêndio no edifício, emite gases altamente tóxicos. No grupo de clientes finais a percentagens dos que desconhecem a resposta aumenta, mas mantem-se a ideia que o PVC é o mais poluente. Na verdade, conforme se referiu anteriormente, em termos de nocividade para o ambiente a escolha do material menos poluente depende do tipo de impacto a que se dá mais relevância. A partir da análise do ciclo de vida de cada um dos materiais verificou-se que o Alumínio, apesar da elevada área de exploração mineira, da elevada emissão de dióxido de carbono e do elevado consumo de energia ao longo da sua produção e extração, o Alumínio permite maior reutilização e reciclagem e acaba por amortizar esses impactos. Por outro lado, o PVC é pior do ponto de vista de outro tipo de impactos, como a toxicidade humana, oxidação fotoquímica e a ecotoxicidade na água, podendo ainda emitir gases altamente tóxicos quando em caso de incêndio ou eliminação por incineração.

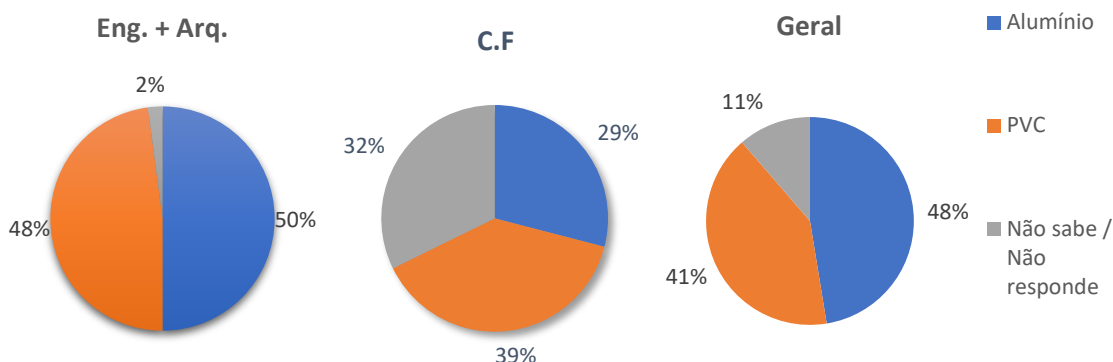


Figura 125\_Melhor material de caixilharia a aplicar em zona marítima

Quando questionados sobre o melhor material de caixilharia a aplicar em zona marítima, o grupo de engenheiros e arquitetos, com menor percentagem sem conhecimento ou sem resposta (2%), vota 50% no Alumínio e 48% no PVC. Nos potenciais clientes finais aumenta a percentagem que demonstra desconhecimento e o PVC passa a ser mais escolhido que o Alumínio. No geral a vantagem acaba por ser do Alumínio, embora sem uma diferença significativa. Todavia, pode considerar-se que os dois materiais são boas escolhas para ambientes marítimos - o Alumínio, principalmente com o tratamento anodizado, garante boa proteção em zonas marítimas, no entanto o PVC também tem um bom comportamento em zonas costeiras devido à sua boa resistência química.

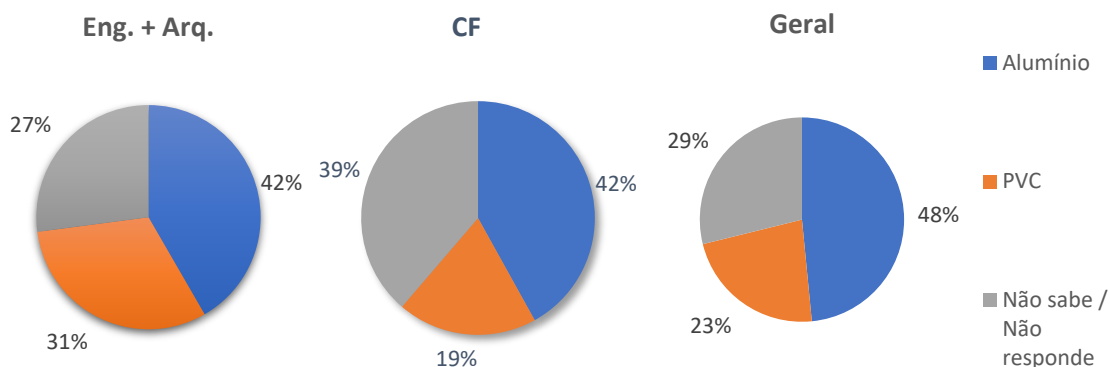


Figura 126\_Material de caixilharia mais fácil de reparar

Relativamente à facilidade de reparação de caixilharia, em todos os grupos de inquiridos, se verifica que a percentagem associada à caixilharia de Alumínio é superior à associada ao PVC. Essa perceção faz sentido nomeadamente porque, como referido anteriormente, a caixilharia de PVC solda os perfis em cantos e uniões. A título de exemplo, se a caixilharia de PVC precisar de substituir o vidro, será necessário substituir o caixilho inteiro ou a folha danificada em caso de tipologia com abertura.

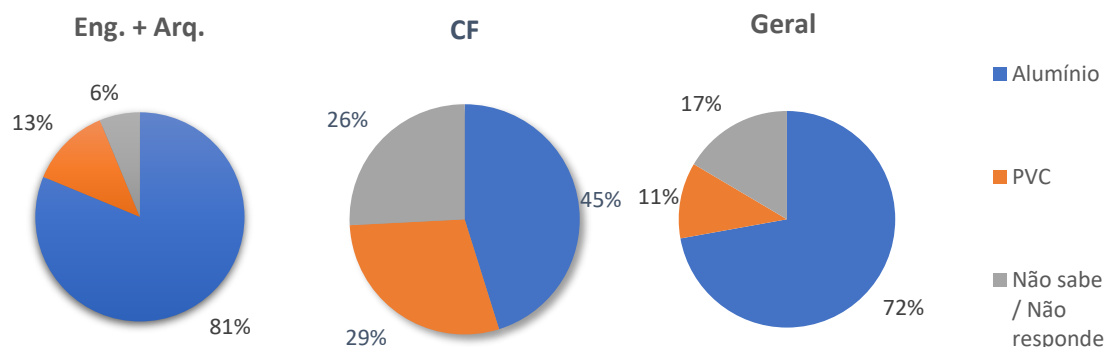


Figura 127\_Material de caixilharia que tem melhor resistência mecânica

No que respeita à solução com melhor resistência mecânica, 72% dos inquiridos afirma que é o Alumínio e só 11% acredita que é o PVC. No grupo dos técnicos as percentagens agravam-se, com 81% a preferir Alumínio e apenas 13% a preferir o PVC. Porém no grupo dos clientes finais o desconhecimento é naturalmente maior, mas a opção do Alumínio continua a ser mais significativa. De facto, o Alumínio, enquanto material, comparativamente com o PVC possui um módulo de Young muito superior, o que permite resistir melhor ao choque e/ou impactos.

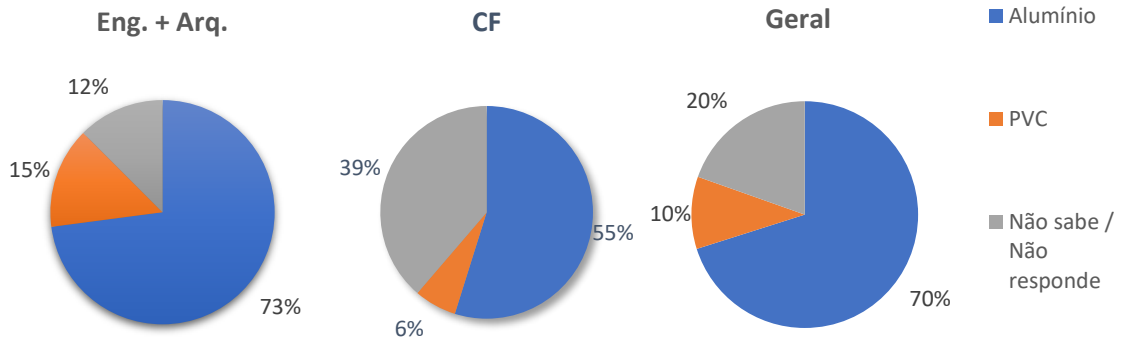


Figura 128\_ Material de caixilharia que dispõe de maior variedade de soluções (portadas, fachadas, tipologias...)

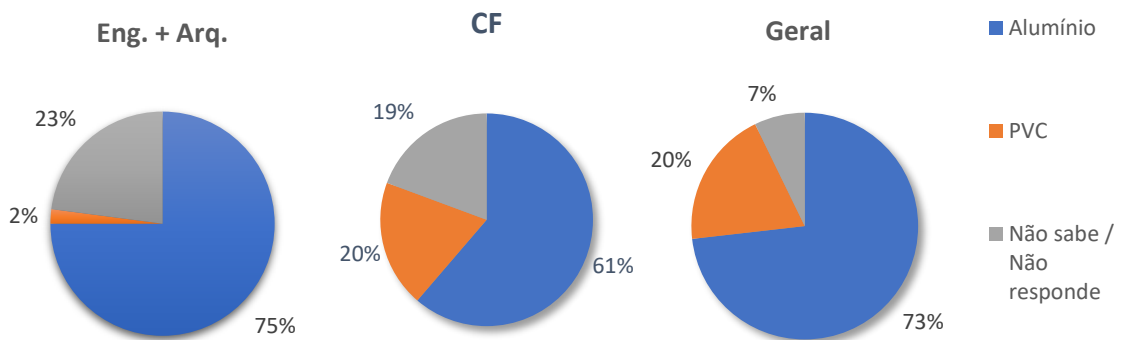


Figura 129\_ Material de caixilharia com melhor estética

O Alumínio é a opção selecionada como sendo a que tem melhor variedade de soluções (70%) e melhor estética (73%). De facto, a caixilharia em Alumínio devido a sua alta resistência acaba por permitir maior variedade de soluções, como aros de caixilharia mais finos, possibilidade de ter maiores dimensões e capacidade de peso por folha superior. No mercado atual, as empresas extrusoras de Alumínio oferecem várias opções de acabamentos e muitas delas garantem maior resistência às intempéries. Os perfis em PVC não tem tanta variedade, isso poderá dever-se ao facto de as caixilharias em PVC serem mais recentes no mercado que o Alumínio (Chaves, 2003/2004).

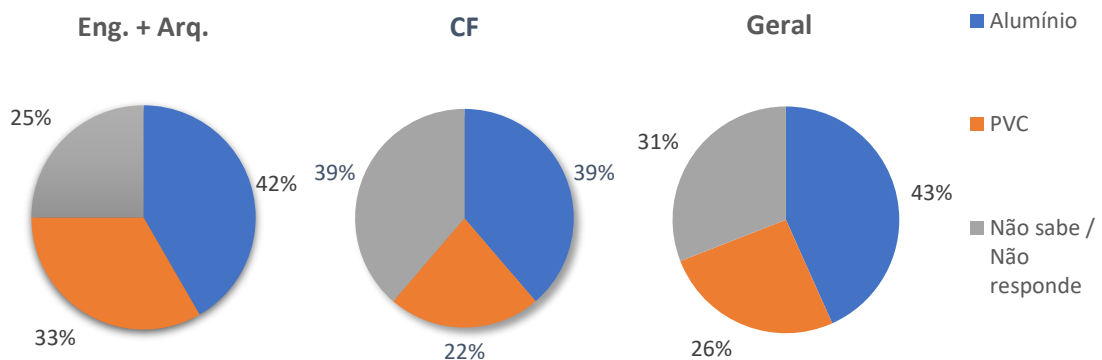


Figura 130\_ Material de caixilharia que precisa de menos manutenção

A nível de manutenção, 43% considera que o Alumínio precisa de menos cuidado e apenas 26% admite que o PVC possa precisar de mais manutenção que a caixilharia de Alumínio. Nas respostas dos técnicos também há uma ideia de menor necessidade de manutenção nas soluções em Alumínio, embora nesse subgrupo de inquiridos a diferença entre as percentagens de cada opção já não seja tão acentuada. Relativamente a este aspeto, como se referiu anteriormente, tanto a caixilharia em Alumínio como a caixilharia em PVC precisam de cuidados ao longo do tempo de serviço.

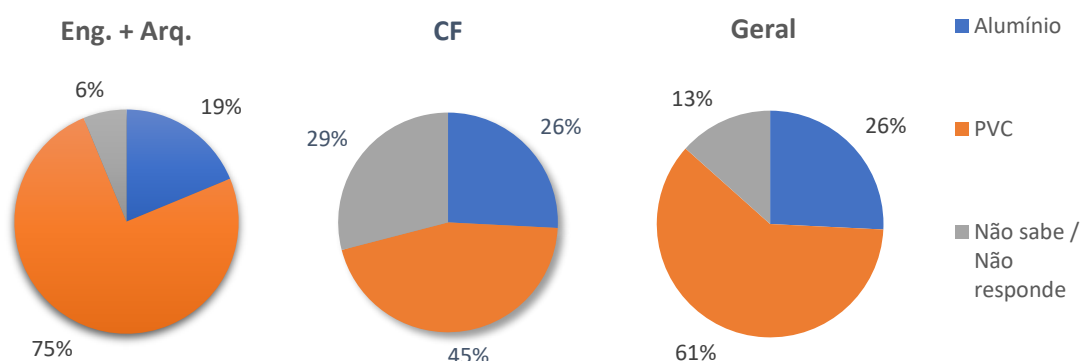


Figura 131\_Material de caixilharia que é mais eficiente a nível térmico

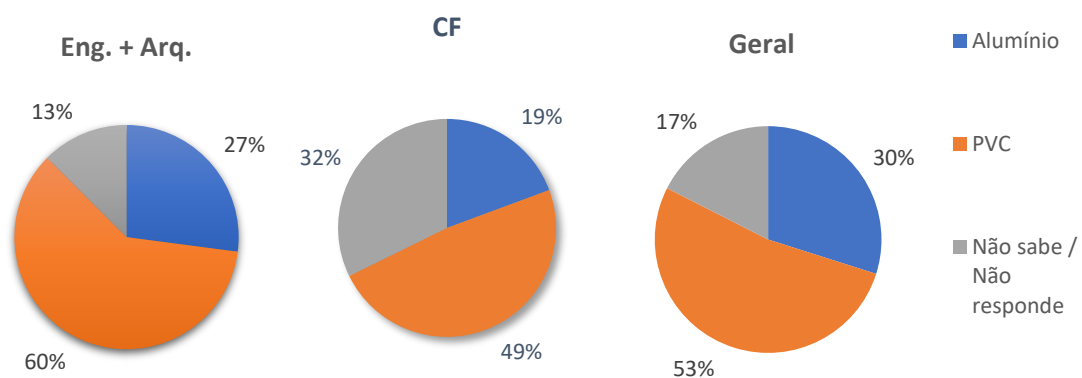


Figura 132\_Material de caixilharia possui melhores prestações a nível acústico

Em relação às características térmicas e acústicas o mais votado foi o PVC, com 61% e 53% das respostas, respetivamente para cada um desses requisitos. Os caixilhos em PVC começaram por apresentar melhores desempenho que os primeiros caixilhos de Alumínio, no entanto, a crescente procura por materiais mais eficientes tem vindo a impulsionar a criação de novas soluções por parte das empresas de Alumínio, que têm já vindo a apresentar soluções com resultados térmicos e acústicos muito semelhantes e em alguns casos até melhores que a caixilharia em PVC. O aumento de espessura de

materiais de poliamida ou introdução de perfis isolantes no interior das câmaras dos perfis são algumas das opções para caixilharia de Alumínio. Nas caixilharias estudadas ao longo do presente estudo foi possível verificar que a nível acústico tem prestações idênticas mas o desempenho térmico varia consoante a espessura de rotura térmica de caixilharia de Alumínio. Nos sistemas estudados para um mesmo vidro, verificou-se que a caixilharia de PVC tem os melhores desempenhos térmicos o que vai de encontro à maior parte das respostas do inquérito.

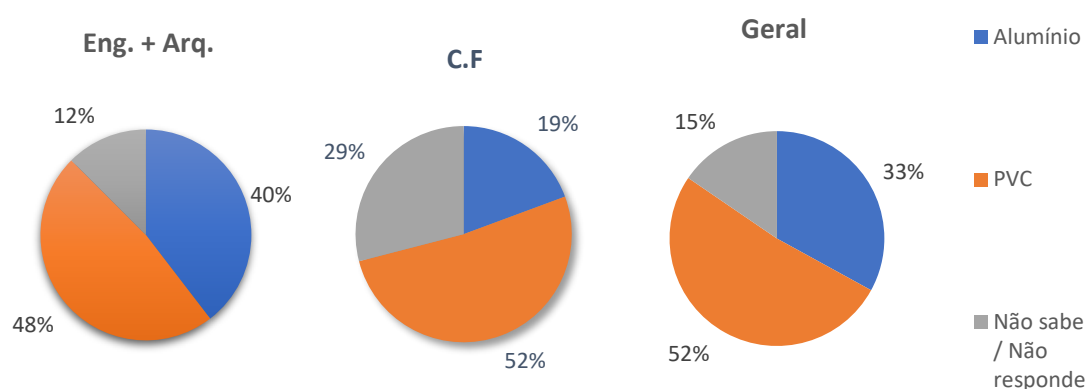


Figura 133\_Material de caixilharia mais económico

No mercado atual, 52% dos inquiridos afirma que caixilharia de PVC é mais económica, contra 33% que consideram ser a caixilharia de Alumínio. Essa diferença é mais notória no grupo de cliente final, sendo, porém, menos acentuada no grupo relativo aos técnicos. Os custos de implantação de caixilharia variam consoante marcas, sistemas, dimensões e acordos comerciais pelo que as respostas dos inquiridos variam conforme o valor do mercado. De qualquer forma, no estudo anteriormente apresentado também se verificou que, na maioria dos casos analisados, o custo inicial tendia a ser menor nas soluções de PVC, embora isso por vezes se invertesse quando se passou a considerar também os restantes custos de ciclo de vida.

Analisando a informação acima, foi elaborada a seguinte tabela resumo (Tabela 70) das opções com maior percentagem para cada pergunta do inquérito, excluindo as respostas “Não sabe/Não responde”. O maior desconhecimento foi evidenciado nas questões relativas à facilidade de manuseamento, à facilidade de reparação e à necessidade de manutenção. Tendo em conta a comparação anteriormente apresentada e os resultados do inquérito realizado, pode concluir-se que as respostas mais solucionadas têm na maioria das vezes uma boa correlação com a realidade, mas que ainda há vários técnicos e sobretudo clientes, com alguma desinformação. Espera-se que a publicação do presente trabalho possa de alguma forma contribuir para



desmistificar algumas ideias erradas e dar mais informação com utilidade para quem tem que decidir entre caixilharias em alumínio e PVC.

Tabela 70\_ Resumo das opções mais votadas em cada pergunta

	Alumínio	PVC
Qual o tempo médio de vida útil de um caixilho?	25 a 50 anos	10 a 25 anos
Qual o material mais fácil de manusear em serralharia?	✓	
Qual o material que considera menos poluente?	✓	
Em zona marítima qual o material de caixilharia que recomendaria?	✓	
Caso exista a necessidade de substituir um vidro, qual é a caixilharia mais fácil de reparar?	✓	
Qual o material que considera ter melhor resistência mecânica?	✓	
Qual dos materiais dispõe de gamas/soluções mais completas (portadas, fachadas, tipologias)?	✓	
A nível estético, qual considera a melhor opção?	✓	
Na sua opinião, qual o material que precisa de menos manutenção?	✓	
A nível térmico qual o material que considera mais eficiente?		✓
A nível acústico qual o material que considera que possui melhores características?		✓
Qual dos materiais considera mais económico?		✓

## 6. Metodologia de apoio à decisão e aplicação a casos de estudo

Para apoiar o processo de tomada de decisão, foi desenvolvida uma folha de cálculo em Excel que permite classificar e comparar a opção por Alumínio ou PVC para um determinado caso de estudo, tendo em conta os critérios mais relevantes para o decisor. A ferramenta permite uma análise multicritério e foi desenvolvida com base na informação e nos pressupostos apresentados nos capítulos anteriores. e o seu funcionamento será explicado em seguida.

### 6.1. Critérios de apoio à decisão considerados

Os critérios de sustentabilidade selecionados para apoio à decisão, englobam indicadores quantitativos, relacionados com a durabilidade e os custos, e ainda uma classificação qualitativa relativa a cada um dos seguintes indicadores:

- Relevância do comportamento face a uma envolvente:

- Com muito sol;
  - Próxima do mar;
  - Com muito vento.
- Características técnicas:
- Resistência mecânica;
  - Resistência ao fogo;
  - Isolamento térmico;
  - Proteção contra furto.
- Versatilidade:
- Estética;
  - Tipologia;
  - Gama de cores.
- Impacto ambiental:
- Ecotoxicidade no solo;
  - Enriquecimento potencial de nutrientes;
  - Depleção da camada de ozono e aquecimento global;
  - Descarbonização;
  - Energia Zero;
  - Ecotoxicidade na água;
  - Consumo de recursos;
  - Acidificação potencial;
  - Toxicidade humana;
  - Oxidação fotoquímica potencial (Baixa);
  - Reciclabilidade.

Em cada um dos critérios qualitativos referidos foi atribuída uma classificação em três patamares, que permite classificar cada uma das opções em análise recorrendo às três cores habituais dos semáforos – verde, amarelo e vermelho, respetivamente para soluções boas, pouco ou nada recomendáveis. Essa classificação foi feita tendo em conta as considerações apresentadas nos pontos anteriores, de acordo com o apresentado na Figura 135 para as características técnicas, na Figura 136 para a versatilidade e na Figura 137 para os indicadores relativos ao impacto ambiental. Essa tabelas apresentam ainda uma breve descrição justificativa da classificação atribuída.

	Justificação descritiva	
	Alumínio	PVC
sol	Lacagem e Anodização garantem a qualidade do Alumínio exposto ao Sol.	Ao longo do tempo o PVC fica descolorado, no caso do branco aparecem manchas amareladas. Como é um material mais mole altas temperaturas tendem a deformar o PVC.
mar	O alumínio é um material resistente à corrosão por humidade. Com a Lacagem e Anodização é possível aumentar a proteção em zonas marítimas.	O PVC é um material permeável.
vento	Resistente à deformação.	Facilmente deformável. Requer perfis extra de reforço no interior como aço.



Figura 134\_ Informação com a classificação relativa à envolvente do edifício

	Justificação descritiva	
	Alumínio	PVC
Resistência mecânica	Resistente à deformação e boa estabilidade dimensional.	Péssima resistência mecânica. Necessita de um perfil extra como o aço para reforçar o caixilho.
Resistência ao fogo	Resistência intermédia. Com a adição de tratamentos próprios consegue-se obter boa proteção ao fogo.	Não possui resistência ao fogo. Em caso de incêndio arde no seu todo libertando gases tóxicos.
Isolamento térmico e acústico	Apesar do Alumínio ter elevada condutibilidade térmica, a opção com corte térmico possibilita melhores condições tanto a nível térmico como acústico.	Excelente. O PVC é um material com condutibilidade baixa que permite excelentes prestações térmicas. Para além disso tem um bom isolamento acustico.
Proteção contra furto	Aliado a acessórios para proteção a furto é melhor opção para proteger o edifício.	A proteção depende de acessórios para esse efeito. Não é o mais aconselhado pela fraca resistencia ao choque.



Figura 135\_ Classificação das opções conforme as caraterísticas técnicas

	Justificação descritiva	
	Alumínio	PVC
Flexibilidade Estética	Possui diversos modelos minimalistas de correr e de batente que podem permitir transparência quase total às janelas e portas.	Possui menor versatilidade de opções no mercado atual.
Tipologia	Correr elevável, Osciloparalela, Oscilobatente, Batente, Guillhotina, Harmónio, Basculante, Pivotante, Fachada VEC, VEP, Cortina Correr.	Correr elevável, Osciloparalela, Oscilobatente, Batente, Guillhotina, Basculante, Correr.
Gama de cores	Vasta gama de cores em lacados e anodizados.	Pouca diversidade de cores.



Figura 136\_ Classificação das opções conforme a versatilidade

O impacto ambiental é avaliado segundo os diferentes itens que se apresentam na Figura 137, tendo em conta o que anteriormente foi apresentado relativamente a cada um destes aspetos. A classificação atribuída a cada um dos itens, é baseada nos valores consultados no estudo elaborado por Gomes & Rodrigues e no “estudo comparativo de perfil extrudido Alumínio e Poli Cloreto de Vinila (PVC)” realizado por Espitia, Gondak, & Silva (2015).

		Justificação descritiva	
		Alumínio	PVC
Impacto ambiental	Ecotoxicidade no solo	99,96%	0,04%
	Enriquecimento potencial de nutrientes	99,97%	0,03%
	Depleção da camada de ozono e aquecimento global	100% -depleção da camada de ozono e 99,96% de aquecimento global.	0,00% depleção da camada de ozono e 0,04 de aquecimento global.
	Descarbonização	A caixilharia de alumínio emite 2454,62kg de CO2 ao longo do seu ciclo de vida.	A caixilharia de PVC emite 1755,12kg de CO2 ao longo do seu ciclo de vida.
	Energia Zero	O Alumínio tem o maior valor de energia incorporada pois consome muitos mais energia para ser processado.	O PVC tem o menor valor de energia incorporada.
	Ecotoxicidade na água	2,18% ecotoxicidade aguda na água e 25,06% ecotoxicidade crónica na água.	97,82% ecotoxicidade aguda na água e 74,94% ecotoxicidade crónica na água.
	Consumo de recursos	A caixilharia de Alumínio consome em média mais recursos, principalmente na fase de extração e produção.	A caixilharia de PVC consome menos recursos renováveis ou não renováveis.
	Acidificação potencial	99,97%	0,03%
	Toxicidade humana	7,92% toxicidade humana via ar; 25,48% via terrestre; 28,32% via hídrica.	92,08% toxicidade humana via ar; 74,52% via terrestre; 71,68% via hídrica.
	Oxidação fotoquímica potencial (Baixa)	2,41%	97,59%
Reciclabilidade	Infinitamente reciclável e 100% reciclável.	Reciclável até 6 vezes para produtos de qualidade inferior. Após o processo de reciclabilidade o PVC é depositado em aterros ou incinerado prejudicando o meio ambiente e a saúde humana.	

Figura 137\_ Classificação das opções, relativamente a diversos tipos de impactos ambientais

A par da classificação qualitativa, a classificação quantitativa de cada uma das soluções é feita de acordo com as considerações apresentadas no ponto relativo à estimativa de custos diretos, tendo em conta os custos iniciais e de manutenção, para além da durabilidade da caixilharia, fazendo uma análise de custos de ciclo de vida relativa a um período de 50 anos, escolhido por ser o correspondente ao tempo de vida útil de um edifício.

As classificações qualitativas acabam assim por traduzir os principais custos indiretos de cada uma das soluções e a sua conjugação com a classificação quantitativa relativa aos custos diretos o que permite avaliar de forma bastante abrangente a sustentabilidade de cada uma das soluções equacionadas para a caixilharia.

## 6.2. Metodologia de apoio à decisão

Para apoio à decisão, foi desenvolvida uma folha de cálculo que permita fazer, para uma janela/porta específica, num determinado local, com a aparência pretendida e com as dimensões e tipologia indicadas, o cálculo dos custos de ciclo de vida de cada uma das soluções – Alumínio e PVC - e ainda a respetiva classificação em termos dos critérios qualitativos apresentados.

A Figura 138 apresenta a página inicial da folha de calculo preparada para apoio à decisão, onde se podem ver os seus vários separadores – dados de preenchimento, envolvente do edifícios, características técnicas, versatilidade, impactos ambientais, custos diretos e conclusões – que em seguida serão explicados.



Figura 138\_ Página inicial da folha de cálculo de apoio à escolha de caixilharia

No separador relativo aos “Dados de preenchimento” é feita a seleção das dimensões e da tipologia pretendidas e são atribuídas as ponderações do decisor a cada um dos diferentes critérios de apoio ao processo de tomada de decisão.

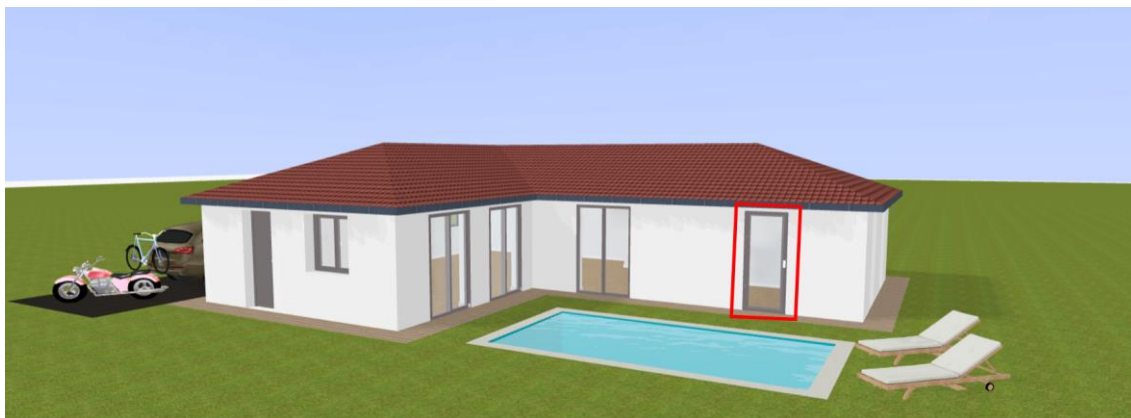
Após o preenchimento dos dados relativos ao vão é feita a atribuição de uma ponderação a cada um dos critérios de sustentabilidade em análise, em função da relevância atribuída pelo decisor a cada um deles. Essa ponderação deve ser atribuída de forma a que o somatório dos fatores de ponderação corresponda à unidade. Dessa forma, o cálculo da classificação final é feito depois multiplicando o fator relativo à percentagem da ponderação do indicador pela respetiva classificação - considerando para cada um 20, 10 ou 0 valores, conforme as soluções tenham sido classificadas com as cores verde, amarelo e vermelho, respetivamente. O somatório final corresponde a uma classificação global da sustentabilidade da solução avaliada, tendo em conta os

parâmetros mais relevantes para o cliente final e as principais características comparados ao longo do estudo. Essa avaliação final permite atribuir a cada uma das soluções uma nota entre 0 a 20 valores, de forma a que quanto melhor for solução, maior será a pontuação obtida. Essa classificação será usada para fazer uma escolha da melhor opção em termos dessa classificação qualitativa.

A par dessa classificação qualitativa, a ferramenta permite também comparar as soluções em análise em termos quantitativos, a partir do valor estimado para os custos de ciclo de vida correspondentes a um período de 50 anos, correspondente ao tempo de vida de um edifício, com a aplicação de uma taxa de atualização monetária de 2%.

Para demonstrar a utilidade da metodologia proposta para apoio à decisão, em seguida são apresentados os resultados obtidos na sua aplicação a diferentes casos de estudo fictícios, relativos a um cliente final que pretende decidir qual dos dois materiais em análise irá aplicar nos caixilhos da moradia unifamiliar que irá construir para sua habitação.

### 6.3. Caso de estudo 1



*Figura 139\_Caso fictício de estudo de moradia unifamiliar - Modelado com KazaPLan (KAZAPLAN, 2019)*

O caso de estudo está listrado na Figura 139 e para o preenchimento de dados, foram considerados os seguintes critérios e informações:

- Localização: Zona marítima, concelho de Viana do Castelo, distrito de Viana do Castelo;



*Figura 140\_ Mapa aéreo de localização Viana do Castelo*

- Meteorologia: Segundo Weather Spark (2021), Viana do Castelo caracteriza-se por ter um verão seco e céu quase sem nuvens enquanto que o inverno é fresco, com precipitação e céu parcialmente encoberto. No geral a temperatura varia de 8 °C a 24 °C e excepcionalmente é inferior a 4 °C ou superior a 29 °C. O período mais ventoso do ano dura 6,4 meses, de 24 de outubro a 6 de maio, com velocidades médias do vento acima de 12,6 quilómetros por hora. Com estas informações privilegiar-se-á a zona envolvente “mar” e “vento”, características “resistência mecânica” e “isolamento térmico”;
- Tipologia: janela oscilobatente 1 folha;
- Dimensões: 1200x2200 mm;
- Aparência: O cliente pretenderá um tipo de caixilho minimalista e com efeito lacado texturado, por isso dará alguma importância à parte estética.



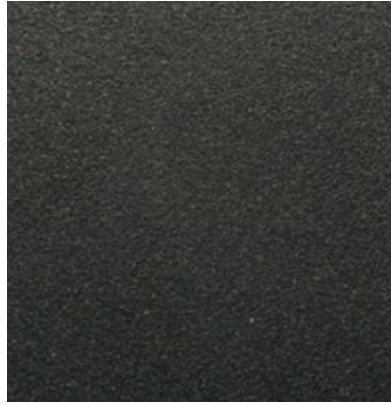


Figura 141\_Cor lacado Noir 200 Sable

- Impacto Ambiental: A escolha por um material reciclável é um dos passos a seguir para uma pegada mais ecológica e por isso a “reciclagem”, a “depleção da camada de ozônio e o aquecimento global”, serão condicionantes aquando da escolha do material de caixilharia. Para além desses parâmetros foram ainda considerados com menor importância, a proteção contra furto, a descarbonização e a energia zero.

Para o caso de estudo em análise, as ponderações adotadas para os diferentes critérios de decisão, são as indicadas na Figura 142. Conforme se pode verificar também nessa figura, a folha de cálculo verifica se a soma das várias percentagens indicadas corresponde a 100% e permite depois prosseguir a análise.

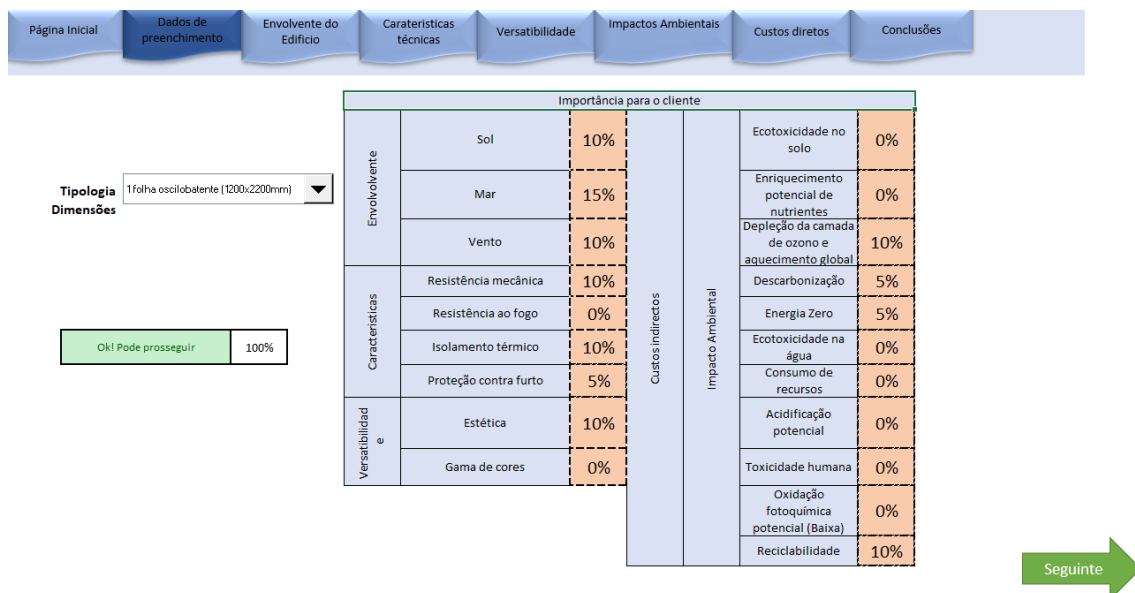


Figura 142\_Página de dados de preenchimento da folha de cálculo de apoio à escolha de caixilharia



A estimativa dos custos diretos de ciclo de vida a imputar ao cliente final é apresentada na folha de cálculo em tabela e em gráfico, conforme se apresenta na Figura 143, englobando os custos de implantação da caixilharia e os custos de associados à sua manutenção ao longo dos 50 anos considerados na análise. No caso das caixilharias em PVC, como a durabilidade é menor, considerou-se uma substituição da caixilharia passados 20 a 30 anos. Os resultados dessas estimativas de custos são apresentados para cenários com taxas de atualização monetária (TA) diferentes – TA=0%, TA=2% e TA=4%. A partir da observação dos resultados apresentados nessa figura, pode verificar-se que a solução mais barata corresponderia ao PVC nos dois primeiros cenários, mas que poderá haver alguma variação caso se aumente a taxa de atualização.

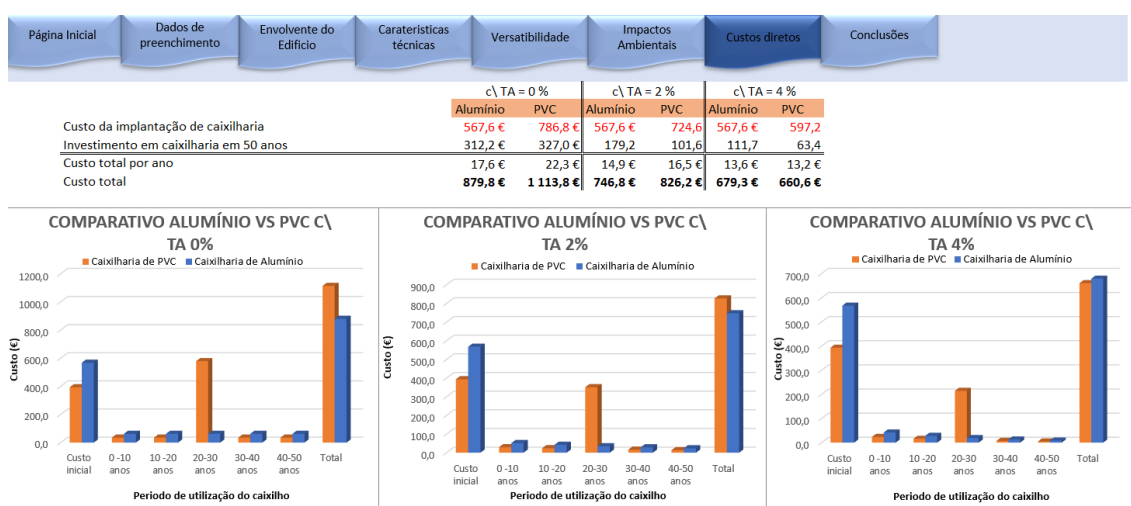


Figura 143\_ Página de custos diretos da folha de cálculo de apoio à escolha de caixilharia

A terminar, no separador relativo às conclusões, ilustrado na Figura 144, é ainda apresentada a solução mais adequada para o vão em estudo, entre caixilharia de Alumínio e PVC, não só no aspeto económico, mas também na melhor qualificação ao nível dos restantes parâmetros considerados (envolvente, características técnicas, versatilidade e impactos ambientais). Nestes últimos, a quantificação para atribuição de um vencedor, foi feita através da atribuição de uma nota de 0 aos vermelhos, de 0,5 aos amarelos e por fim a nota 1 aos verdes pela melhor prestação. O cálculo consistia então em multiplicar estas notas pelo coeficiente de ponderação do decisor para obter a classificação de cada um dos parâmetros e no fim proceder ao seu somatório, multiplicar pela nota máxima (20 valores) e determinar qual a caixilharia com melhor avaliação.

No caso apresentado a conclusão é que o Alumínio é a melhor escolha tanto em termos de custos de ciclo de vida, como em termos da classificação qualitativa efetuada,

embora em termos qualitativos a diferença da classificação de cada uma das soluções não seja muito acentuada.

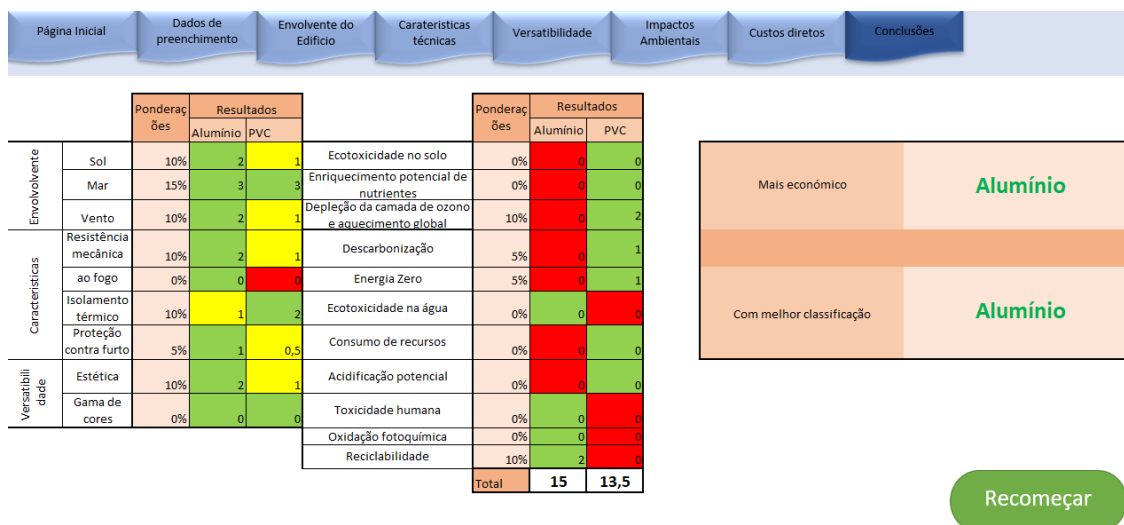


Figura 144\_ Página de conclusões da folha de cálculo de apoio à escolha de caixilharia

#### 6.4. Caso de estudo 2

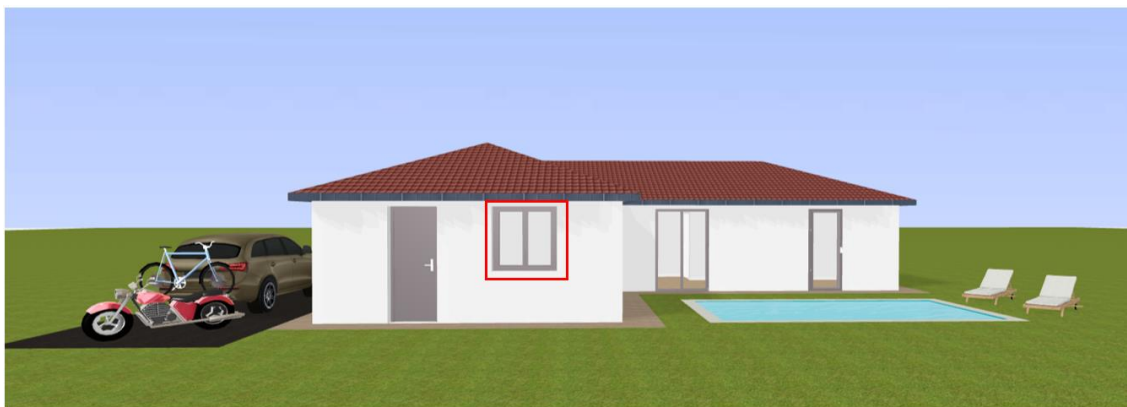


Figura 145\_Caso fictício de estudo de moradia unifamiliar - Modelado com KazaPlan (KAZAPLAN, 2019)

Para o mesmo edifício e mesma janela foi considerado uma nova localização do caso de estudo e apresenta-se na Figura 146. Para o preenchimento de dados, foram considerados os seguintes critérios e informações:

- Localização: Zona plana, distrito de Beja;



*Figura 146\_Mapa aéreo de localização Beja*

- Meteorologia: Segundo Weather Spark (2021), em Beja, o verão é curto, quente, árido e de céu quase sem nuvens; o inverno é longo, fresco e de céu parcialmente encoberto. Ao longo do ano, em geral a temperatura varia de 6 °C a 33 °C e raramente é inferior a 2 °C ou superior a 38 °C.
- Tipologia: janela correr 2 folhas;
- Dimensões: 1500 x 1500 mm;
- Aparência: O cliente pretenderá um tipo de caixilho básico de cor branca;
- Impacto Ambiental: A escolha por um material reciclável vai ser o fator predominante.

Para o caso de estudo em análise, as ponderações adotadas para os diferentes critérios de decisão, são as indicadas na Figura 147. Dado que se trata de uma zona do interior do país, foi anulado o critério relativo ao desempenho em ambientes marítimos, atribuindo zero por cento de ponderação no item “mar” da envolvente. Por outro lado, aumentou-se a importância atribuída ao “sol” e ao “isolamento térmico”.

		Importância para o cliente				
Envolvente	Sol	20%	Custos indiretos	Impacto Ambiental	Ecotoxicidade no solo	5%
	Mar	0%			Enriquecimento potencial de nutrientes	0%
	Vento	10%			Depleção da camada de ozono e aquecimento global	5%
Características	Resistência mecânica	10%			Descarbonização	0%
	Resistência ao fogo	0%			Energia Zero	0%
	Isolamento térmico	10%			Ecotoxicidade na água	0%
	Proteção contra furto	0%			Consumo de recursos	0%
Versatilidade e	Estética	10%			Acidificação potencial	0%
	Gama de cores	5%			Toxicidade humana	10%
					Oxidação fotoquímica potencial (Baixa)	0%
					Reciclabilidade	15%



Figura 147\_ Página de dados de preenchimento da folha de cálculo de apoio à escolha de caixilharia

Os custos diretos a imputar ao cliente final são apresentados em tabela e em gráfico, conforme se apresenta na Figura 148. A partir da sua análise é possível constatar que o Alumínio tem um custo de ciclo de vida que em qualquer dos cenários correspondentes aos três diferentes valores de taxa de atualização monetária considerados, é significativamente inferior ao do PVC. Considerando o cenário intermédio, com uma taxa de atualização monetária de 0%, o custo de ciclo de vida do Alumínio é quase 50% mais barato que o da solução em PVC, pois a caixilharia de PVC tem de ser substituída a meio da vida útil do edifício.

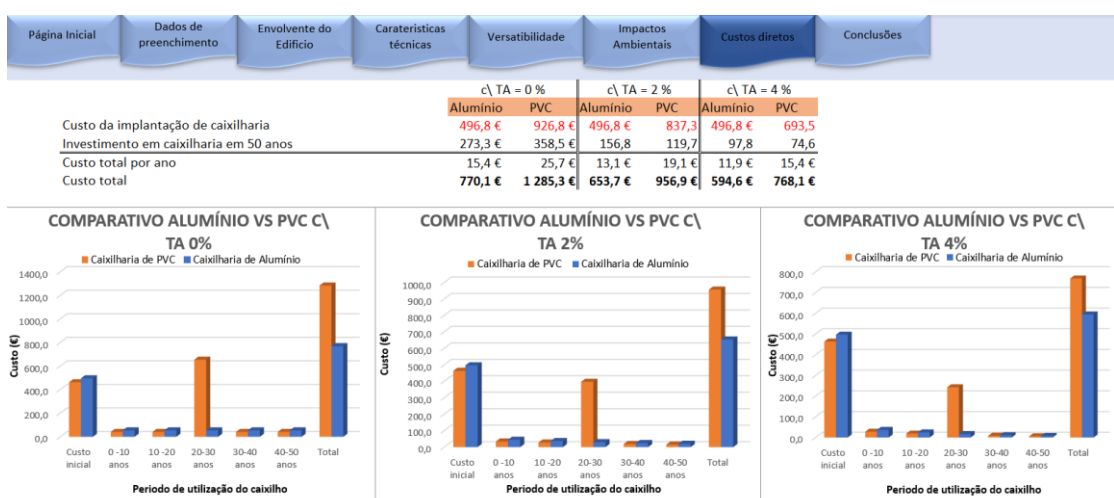


Figura 148\_ Página de custos diretos da folha de cálculo de apoio à escolha de caixilharia

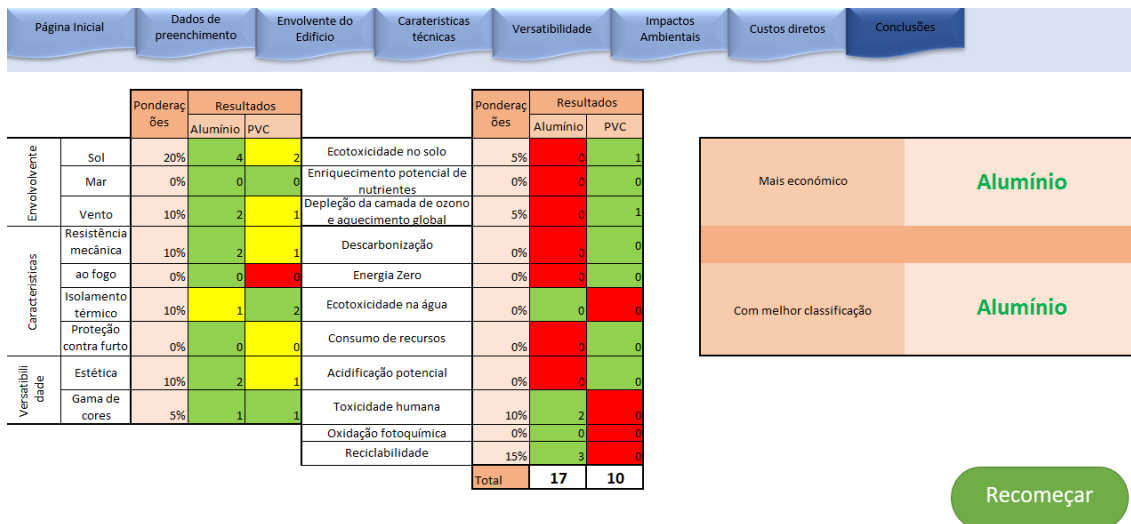


Figura 149\_ Página de conclusões da folha de cálculo de apoio à escolha de caixilharia

Em termos da classificação qualitativa, a solução em Alumínio também tem preferência em relação ao PVC, em resultado de classificações muito díspares, uma vez que a caixilharia em PVC tem 10 valores e a caixilharia de Alumínio tem 17 valores.

### 6.5. Caso de estudo 3

No caso 3 foi considerado o mesmo edifício e a mesma janela do caso de estudo 2, mas com uma alteração da importância relativa atribuída a cada um dos critérios de análise da sustentabilidade que foram considerados.

Neste caso de estudo, foi atribuída uma ponderação igual (5%) a cada um dos 20 critérios qualitativos considerados no apoio à decisão.

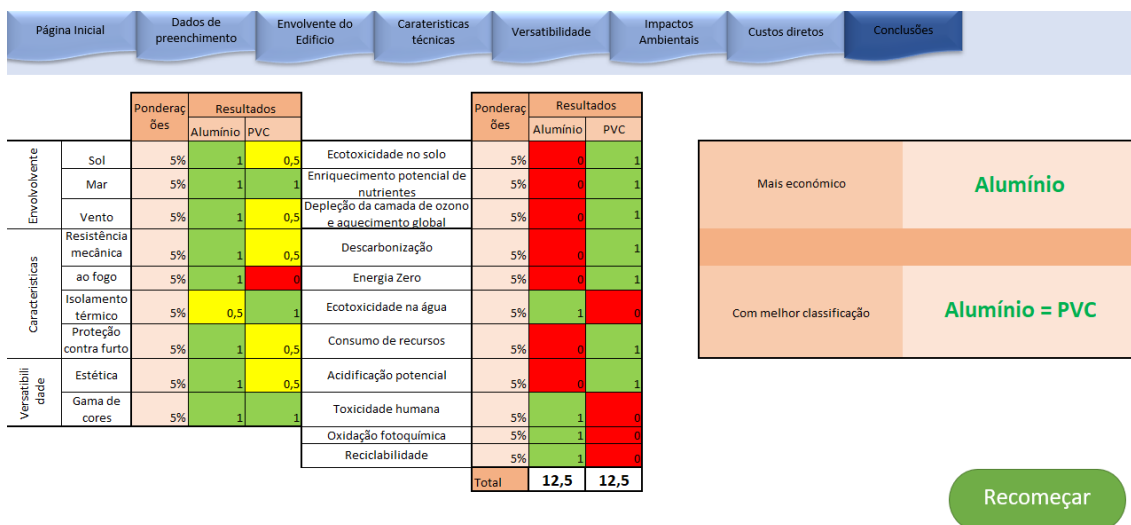


Figura 150\_ Página de conclusões da folha de cálculo de apoio à escolha de caixilharia para simulação extra da tipologia do caso de estudo 3

Os resultados obtidos são os que se apresentam na Figura 150. Ao atribuir igual ponderação a todos os parâmetros, obteve-se a classificação de 12,5 valores para a caixilharia de Alumínio e de PVC, o que significa que os dois materiais de caixilharia correspondem a soluções igualmente viáveis no caso de não existirem particulares preferências por parte do decisor.

Na classificação quantitativa, relativa à solução mais económica em termos de custos durante o tempo de vida do edifício, como não se alteraram os dados das dimensões e tipologia do caso de estudo são novamente favoráveis à solução em alumínio.

#### 6.6. Caso de estudo 4

Uma vez que nos dois primeiros casos de estudo os resultados da avaliação deram sempre preferência à solução em Alumínio e que no terceiro caso se verificou uma igualdade nas classificações qualitativas, neste caso de estudo, procurou encontrar-se uma solução em que a preferência recaísse no PVC. Para tal, neste caso de estudo será dada maior importância relativa a fatores onde o PVC é preferível em relação ao Alumínio.

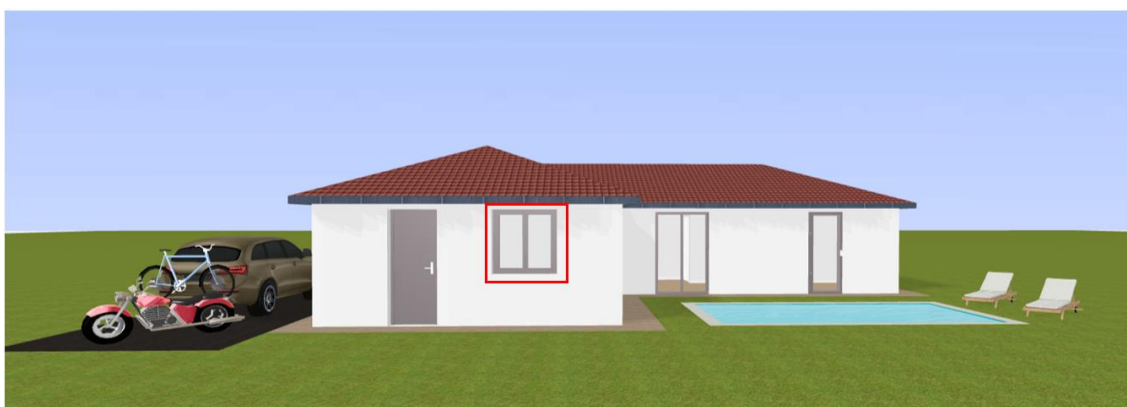


Figura 151\_Caso fictício de estudo de moradia unifamiliar - Modelado com KazaPLan (KAZAPLAN, 2019)

Para o mesmo edifício do caso anterior foi considerado uma nova localização, conforme se apresenta na Figura 152. Para o preenchimento de dados, foram considerados os seguintes critérios e informações:

- Localização: Zona montanhosa, concelho de Covilhã, distrito de Castelo Branco;





*Figura 152\_Mapa aéreo de localização Covilhã*

- Meteorologia: Segundo Weather Spark (2021), Covilhã, tem um verão curto, morno, seco e de céu quase sem nuvens; o inverno é muito frio, com precipitação e de céu parcialmente encoberto. Ao longo do ano, a temperatura varia de 0 °C a 29 °C e raramente é inferior a -4 °C ou superior a 34 °C. Com estas informações privilegiar-se-á a zona envolvente “vento”, “resistência mecânica” e “isolamento térmico”;
- Tipologia: janela correr 2 folhas;
- Dimensões: 1500 x 1500 mm;
- Aparência: O cliente pretenderá um tipo de caixilho minimalista e com efeito lacado texturado, por isso dará alguma importância à parte estética.



*Figura 153\_Cor lacado Noir 200 Sable*

- Impacto Ambiental: A escolha por um material reciclável é um dos passos a seguir para uma pegada mais ecológica e por isso a “reciclagem”,

“ecotoxicidade crónica no solo” e “enriquecimento potencial de nutrientes” serão condicionantes aquando da escolha do material de caixilharia.

As ponderações adotadas para os diferentes critérios de decisão, são as indicadas na Figura 154. Uma vez que a classificação qualitativa depende bastante das ponderações que o decisor indica, procurou-se neste caso, como referido, fazer a ponderação dos critérios de forma a favorecer a solução de PVC. Para tal, foram indicadas maiores percentagens nos parâmetros relativos ao “isolamento térmico”, à “descarbonização” e à “Energia Zero”, parâmetros que, aliás, têm vindo a ser cada vez mais considerados relevantes.

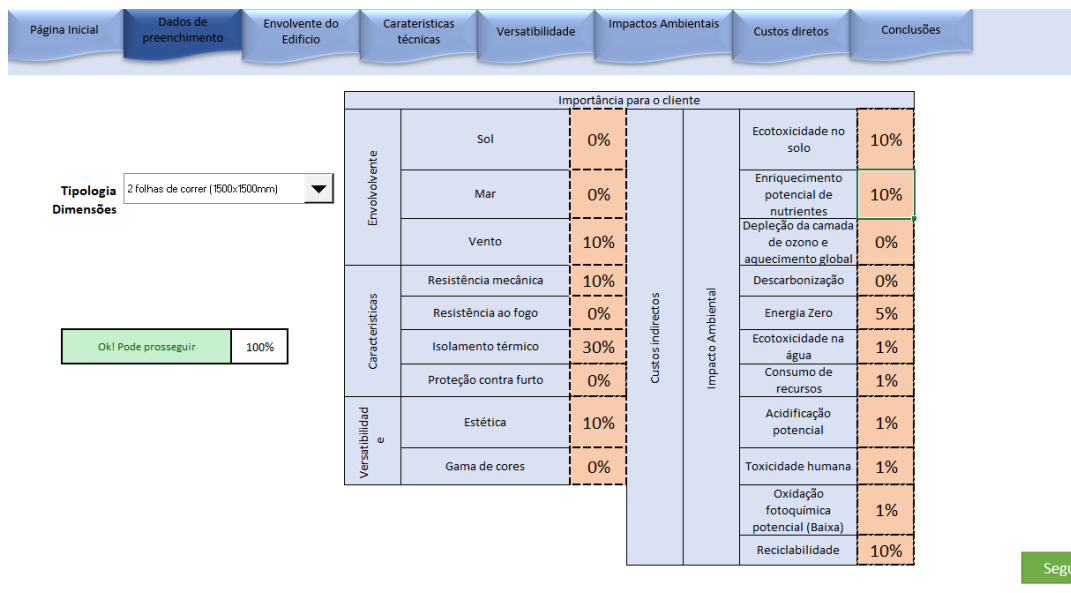


Figura 154\_ Página de dados de preenchimento da folha de cálculo de apoio à escolha de caixilharia

Os custos diretos a imputar ao cliente final são apresentados em tabela em gráfico, conforme se apresenta na Figura 155, englobando os custos de implantação da caixilharia e os custos de associados à sua manutenção ao longo dos 50 anos considerados na análise. Como seria de esperar tendo em conta os resultados apresentados nos pontos relativos à estimativa de custos, a solução em Alumínio tem o menor custo de ciclo de vida e é por isso indicada como sendo a solução mais económica.



	c\ TA = 0 %		c\ TA = 2 %		c\ TA = 4 %	
	Alumínio	PVC	Alumínio	PVC	Alumínio	PVC
Custo da implantação de caixilharia	496,8 €	926,8 €	496,8 €	837,3 €	496,8 €	693,5 €
Investimento em caixilharia em 50 anos	273,3 €	358,5 €	156,8 €	119,7 €	97,8 €	74,6 €
Custo total por ano	15,4 €	25,7 €	13,1 €	19,1 €	11,9 €	15,4 €
Custo total	<b>770,1 €</b>	<b>1 285,3 €</b>	<b>653,7 €</b>	<b>956,9 €</b>	<b>594,6 €</b>	<b>768,1 €</b>

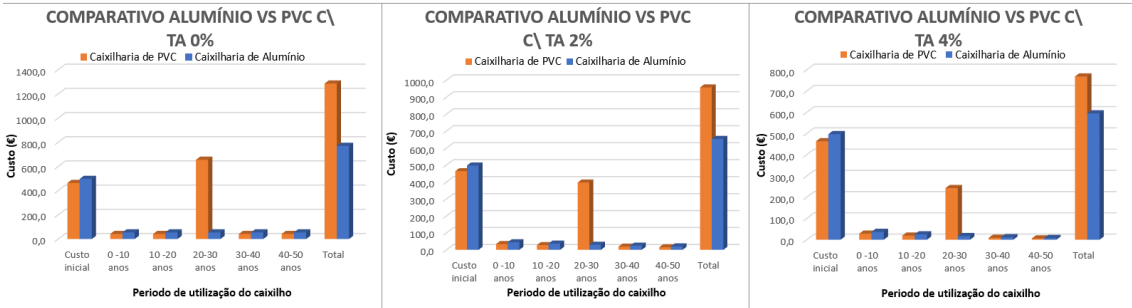
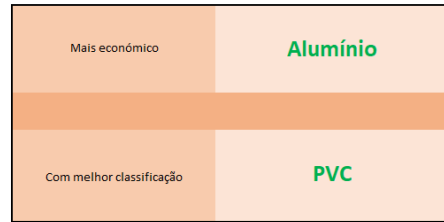


Figura 155\_ Página de custos diretos da folha de cálculo de apoio à escolha de caixilharia

	Ponderações	Resultados			Ponderações	Resultados	
		Alumínio	PVC			Alumínio	PVC
Envolvente	Sol	0%	0	0	10%	0	2
	Mar	0%	0	0	10%	0	2
	Vento	10%	2	1	0%	0	0
Características	Resistência mecânica	10%	2	1	0%	0	0
	Isolamento térmico	30%	3	6	1%	0,2	0
	Proteção contra furto	0%	0	0	1%	0	0,2
	Estética	10%	2	1	1%	0	0,2
Versatilidade	Gama de cores	0%	0	0	1%	0,2	0
					1%	0,2	0
					10%	2	0
	<b>Total</b>					<b>11,6</b>	<b>14,4</b>



Recomeçar

Figura 156\_ Página de conclusões da folha de cálculo de apoio à escolha de caixilharia

Relativamente à classificação qualitativa, como neste caso foi atribuída uma maior ponderação a critérios como o isolamento térmico, o PVC foi a solução com melhor resultado.

## 7. Conclusões

### 7.1. Principais conclusões

Na presente dissertação foi realizado um estudo comparativo da sustentabilidade entre soluções com os dois materiais mais habituais em caixilharia - o Alumínio e o PVC. De forma a analisar soluções com um desempenho similar, a comparação foi feita entre caixilhos em Alumínio com corte térmico e caixilhos em PVC com reforço. Os elementos acessórios, como vedantes, vidros, dobradiças e puxadores, não foram considerados na análise.

O estudo da sustentabilidade foi feito com o intuito de apoiar os decisores na escolha das soluções de caixilharia, tendo em conta uma análise multicritério que envolve estimativas de custos a curto e longo prazo, bem como outras avaliações relativas ao desempenho face à envolvente e à utilização de materiais recicláveis e menos poluentes em edifícios, de forma a minimizar o impacto sobre o meio ambiente, os utilizadores e a sociedade em geral.

Para perceber também o grau de conhecimento atual dos profissionais das áreas de arquitetura, da engenharia, da serralharia e também dos possíveis clientes finais de caixilharia relativamente aos assuntos em análise, foi ainda preparado um inquérito com questões relativas a algumas características técnicas, à durabilidade, à utilização, à manutenção e aos impactos ambientais de caixilharia. Esse inquérito teve 97 respostas, com idêntica representação entre técnicos (arquitetos e engenheiros civis) e outros participantes, englobando neste segundo grupo comerciais, profissionais da área da serralharia e ainda potenciais clientes finais. O grupo de respostas de clientes finais correspondia a cerca de um terço do total dos participantes. Analisando os resultados do inquérito realizado pode concluir-se que as respostas mais solucionadas têm na maioria das vezes uma boa correlação com a realidade, mas que ainda há vários técnicos e potenciais clientes com alguma desinformação. As questões que mais desconhecimento mostraram por parte dos inquiridos foram as relativas à facilidade de manuseamento e à necessidade de manutenção. A ferramenta desenvolvida e o estudo apresentado poderão agora contribuir para a desmitificação de eventuais ideias menos esclarecidas e para ajudar no processo de decisão entre caixilhariarias em Alumínio e PVC.

As características técnicas das soluções comparadas estão muito associadas ao material usado, pelo que foi feita uma análise do comportamento de cada um deles. Em termos da resistência mecânica o Alumínio, possui um módulo de Young muito superior

ao do PVC, o que lhe permite resistir melhor ao choque e/ou impacto. O reforço das caixilharias de PVC é feito precisamente com o objetivo de melhorar a resistência mecânica, mas mesmo dessa forma a solução em Alumínio continua em vantagem. Relativamente à resistência anti-intrusão o Alumínio permite conjugar a sua elevada resistência mecânica a acessórios de segurança, enquanto que o caixilho em PVC dependerá dos acessórios de proteção a anti-intrusão para se proteger. Sendo por isso o Alumínio a melhor solução em termos de resistência e segurança. Em relação à resistência à ação do utilizador e força de manobra, uma vez que é influenciado pela qualidade de acessórios, da montagem e do requisito da durabilidade mecânica, não foi alvo de análise na presente dissertação.

As melhores prestações térmicas verificam-se na caixilharia em PVC, graças à sua baixa condutividade. Relativamente à eficiência energética verifica-se que a caixilharia de Alumínio em estudo, mesmo com corte térmico, possui piores classificações que a de PVC. No inverno existe maior consumo de energia por parte da caixilharia em Alumínio, contudo no verão a caixilharia em PVC consome um pouco mais energia. As grandes diferenças de isolamento térmico entre o PVC e o Alumínio observam-se principalmente entre sistemas de correr, devido neste último caso à diminuição da largura da poliamida que se consegue incorporar. De qualquer forma, mesmo nas restantes tipologias de abertura, a opção em PVC acaba por ter um melhor desempenho energético em relação à opção em Alumínio.

A nível acústico, ambos os materiais possuem bom desempenho, sendo a sua escolha indiferente, pois este critério irá depender sobretudo do vidro utilizado.

Relativamente à opção mais adequada para aplicar em zonas marítimas, pode considerar-se que a caixilharia em Alumínio garante uma melhor proteção, mas os caixilhos em PVC também têm um bom comportamento em zonas costeiras devido à sua boa resistência química, o que aumenta a sua durabilidade nesses ambientes. Por isso os dois materiais em zona marítima são considerados uma boa escolha.

No que respeita ao sol e ao vento, a caixilharia de Alumínio possui tratamentos de superfície que garantem a sua qualidade quando exposta ao sol e por ser um material mecanicamente resistente tem também bom comportamento em zonas ventosas. A caixilharia de PVC quando exposta ao sol e a altas temperaturas durante longos períodos tende a ficar descolorada e pode deformar, não garantindo por isso tão boa resistência às intempéries.

No mercado atual, as soluções em Alumínio oferecem maior flexibilidade estética que as de PVC, em termos de leveza, dimensões e de acabamentos. A caixilharia em

Alumínio, devido à alta resistência do material, permite maior variedade de soluções, como aros de caixilharia mais finos, maior variedade dimensional e capacidade de peso por folha superior ao PVC. Em termos arquitetónicos, a caixilharia em Alumínio é também mais versátil, permitindo mais cores, mais funções e tipologias, englobando a possibilidade de adotar uma gama minimalista de menor impacto visual. De acordo com os resultados do inquérito realizado, tanto os técnicos como os potenciais clientes finais estão bem cientes dessa vantagem do Alumínio, uma vez que esta foi a opção mais votada tanto a nível estético, com 73% de respostas, como na variedade de soluções, com 70% de respostas.

Em termos de impacto ambiental, ambas as opções apresentam vantagens e desvantagens. A partir da análise do ciclo de vida de cada um dos materiais verificou-se que o Alumínio, apesar da elevada área de exploração mineira, da elevada emissão de dióxido de carbono e do elevado consumo de energia e água ao longo da sua produção e extração, permite maior reutilização e reciclagem e acaba por amortizar esses impactos. Por outro lado, o PVC é pior do ponto de vista de outro tipo de impactos, como a toxicidade humana e a acidificação, podendo ainda emitir gases altamente tóxicos em caso de incêndio ou de eliminação por incineração.

Na questão relativa à caixilharia com maior facilidade de reparação, no inquérito realizado, tanto os técnicos como os potenciais clientes finais, selecionaram maioritariamente a solução de Alumínio. De facto, a caixilharia de PVC solda os perfis em cantos e uniões e se, a título de exemplo, a caixilharia de PVC tivesse a necessidade de substituir o vidro, o caixilho teria de ser renovado por inteiro ou a folha danificada em caso de tipologia com abertura.

No que diz respeito à durabilidade, a caixilharia de Alumínio possui maior longevidade que a caixilharia de PVC. Segundo um inquérito realizado no Reino Unido, a caixilharia de Alumínio possui um período de utilização expectável superior a 40 anos (com uma mediana de 40 anos), enquanto que a caixilharia de PVC tem um período expectável próximo dos 25 anos (com uma mediana de 22,5 anos). A partir desses dados, pode concluir-se que a caixilharia em Alumínio dura cerca de duas vezes mais que a da PVC e que esta última implica uma substituição do durante o período de vida útil previsto para um edifício (50 anos). A diferença de durabilidade das duas soluções comparadas é assim muito significativa, mas a maioria das respostas registadas no inquérito realizado no âmbito do presente trabalho mostram que tanto os técnicos como os potenciais clientes estão bem conscientes desta diferença.

Para os técnicos inquiridos no trabalho apresentado, a solução selecionada como mais económica foi a caixilharia em PVC. Quando se comparam os orçamentos obtidos para caixilharia de PVC e de Alumínio também se constata que a caixilharia em PVC é, para a generalidade de dimensões e tipologias de abertura, mais barata. As situações em que a caixilharia em Alumínio apresenta custos inferiores aos da caixilharia em PVC verificam-se apenas para portas e janelas basculantes ou de abrir com menores dimensões (com alturas de 500mm). Porém, mais importante do que comparar os seus preços em termos de investimento inicial, será comparar os custos totais de ciclo de vida do edifício.

Tanto a caixilharia em Alumínio como a caixilharia em PVC precisam de cuidados ao longo do tempo de utilização. Os custos de manutenção decenal das caixilharias em PVC correspondem a 11% do seu custo inicial, enquanto que os das caixilharias em Alumínio correspondem a 9%. No entanto, com base nos valores apresentados, os valores absolutos resultantes da aplicação dessas percentagens, acabam, na maioria das vezes, por ser inferiores nas opções em PVC. No entanto, no inquérito realizado percebeu-se que a ideia tida pela generalidade dos técnicos é que as exigências de manutenção são superiores nos caixilhos de PVC.

Na análise efetuada para os 50 anos correspondentes ao período de vida útil de um edifício, acabou por se constatar que as soluções mais económicas são as de Alumínio. Apesar de os custos iniciais das soluções em PVC serem em geral mais baixos, devido à sua menor durabilidade e à conseqüente necessidade de substituição a meio do período de vida do edifício, o custo total de ciclo de vida da caixilharia em PVC torna-se em média 1,7 e 1,5 vezes mais cara que a de Alumínio para uma taxa de atualização de 2% e 4% e 2,0 vezes mais cara para a taxa de atualização de 0%. Em média, no cenário 1 o custo total de caixilharia de PVC é 2 vezes mais cara que a caixilharia de Alumínio enquanto que no cenário 2 e 3, essa proporção reduz devido à taxa de atualização monetária considerada.

Para responder à necessidade de estimar as diferenças e saber qual a melhor solução de material a aplicar nas caixilharias de um determinado edifício, tendo em conta os diversos fatores analisados, foi apresentada uma metodologia de análise multicritério, com possibilidade de o decisor ajustar a ponderação atribuída a cada um dos indicadores considerados. Para aplicação dessa metodologia foi criada em Excel uma ferramenta informática de apoio ao decisor.

Através dessa folha de cálculo foram estudadas quatro situações em localizações e ponderações diferentes. Em todos os casos de estudo, constata-se que a caixilharia

de Alumínio tem melhor classificação económica, por corresponder à opção com menor custo de ciclo de útil. A caixilharia com melhor classificação nos aspetos qualitativos comparados já vai depender da ponderação escolhida pelo decisor, em função das particularidades do caso em análise. Para localizações marítimas e ventosas onde são privilegiadas as características de resistência mecânica e isolamento térmico, as caixilharias de Alumínio são a melhor opção. Para zonas montanhosas onde as temperaturas podem ser muito baixas, é imperativo que o isolamento térmico seja o melhor possível para garantir o conforto da habitação. Se nesse caso se aumentar a ponderação relativa ao comportamento térmico e se se conjugar também um aumento da relevância atribuída aos parâmetros como o consumo de recursos ou a descarbonização, a caixilharia de PVC já passa a ser a melhor escolha do ponto de vista da classificação qualitativa. Por outro lado, quando se privilegiam mais questões como resistência mecânica, a toxicidade humana e a reciclabilidade, a caixilharia de Alumínio já terá melhores classificações qualitativas. A partir dessa folha de cálculo, observou-se que para ponderações equivalentes dos parâmetros em análise, isto é, no caso do decisor não ter preferências particulares relativas à localização, às características técnicas ou aos diversos tipos de impactos ambientais, ambos os materiais possuem a mesma classificação qualitativa, mostrando que tanto a caixilharia de Alumínio como a de PVC são soluções viáveis, apesar de existirem diferentes vantagens e desvantagens nos parâmetros analisados. É importante referir ainda que para cada uma delas, quando as ponderações são iguais, existe um balanço positivo do conjunto das categorias em análise, uma vez que a classificação calculada tem resultados superiores a 10 valores na escala de 0 a 20 valores que foi considerada.

Em sùmula, pode dizer-se que, fazendo uma análise para um período de 50 anos correspondente ao tempo de vida útil de um edifício, a solução de caixilharia em Alumínio com corte térmico tem menores custos diretos de ciclo de vida do que a caixilharia em PVC com reforço. Em termos dos restantes critérios considerados para avaliação qualitativa da solução, tendo em conta os resultados obtidos nos casos de estudo apresentados, também se pode concluir que a solução em Alumínio será em geral mais sustentável que a solução em PVC, exceto nas situações em que são exigidas melhores prestações térmicas e energéticas e onde seja dada particular relevância a itens de impacto ambiental onde o PVC seja preferível, como por exemplo a descarbonização e o consumo de recursos.

## 7.2. Possíveis desenvolvimentos futuros

No futuro poderá ter interesse aprofundar o estudo apresentado, nomeadamente no que respeita aos seguintes pontos:

- Alargar o estudo e a ferramenta de apoio à decisão, de forma a englobar também outros materiais de caixilharia, como o aço e a madeira;
- Fazer um estudo de sensibilidade dos coeficientes de ponderação dos critérios de apoio à decisão;
- Incluir na análise o ciclo de vida dos restantes elementos da caixilharia como o vidro, acessórios e vedantes, nomeadamente de forma a quantificar também os seus impactos ambientais.

## Bibliografia

- ISO 15686-1. (2011). Buildings and constructed assets – Service life planning. Part 1: General principles and framework. International Organization for Standardization.
- ABAL. (2019). *Associação Brasileira do Alumínio*. Obtido de <https://abal.org.br/>
- ADENE. (2013). *Guia da Eficiência Energética /*. ADENE - AGÊNCIA PARA A ENERGIA.
- ADENE. (2021). *Classe+, A EFICIÊNCIA TEM CLASSE*. Obtido de <https://www.classemais.pt/>
- Almeida, J. M. (2013). *SISTEMA DE GESTÃO DE PONTES COM BASE EM CUSTOS DE CICLO DE VIDA*. Dissertação apresentada para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- ANFAGE. (2015). *Nova legislação com requisitos obrigatórios para os vãos envidraçados*. Associação Nacional dos Fabricantes de Janelas Eficientes. Obtido de [www.anfage.pt](http://www.anfage.pt)
- APAL. (2020). *APAL*. Obtido de Associação Portuguesa do Alumínio: <http://www.apal.pt/>
- APPRICOD. (s.d.). *Para uma gestão sustentável dos resíduos plásticos da C&D na Europa*. APPRICOD - Assessing the Potencial of Plastics Recycling in the Construction and Demolition Activities.
- ASAE. (2015). Autoridade de Segurança Alimentar e Económica - Órgão de Polícia Criminal. Portugal. Obtido em 28 de janeiro de 2021, de <https://www.asae.gov.pt/seguranca-alimentar/dioxinas-e-pcb-o-que-sao-e-onde-estao.aspx>
- Asif, M., Davidson, A., & Muneer, T. (2002). Life cycle of window materials - A comparative assessment. School of Engineering, Napier University, Edinburgh, U.K.
- Barbosa, L. C. (2010). *Controlo de qualidade em caixilharias de alumínio*. . Aveiro: Universidade de Aveiro, Departamento de Engenharia Civil.
- Cabral, J. S. (setembro de 2016). Guia Prático de Gestão da Manutenção de Edifícios. Obtido de [https://manwinwin.com/wp-content/uploads/2016/12/Press2016\\_09\\_01.pdf](https://manwinwin.com/wp-content/uploads/2016/12/Press2016_09_01.pdf)
- Caixifácil. (2020). Obtido de <https://www.caixifacil.com/o-que-e-uma-janela-de-aluminio-com-corte-termico/>
- Cardoso, M. (s.d.). Obtido de InfoEscola: <https://www.infoescola.com/rochas-e-minerais/bauxita/>
- Carlisle, S., & Friedlander, E. (2016). The influence of durability and recycling on life cycle impacts of window frame assemblies. *Int J Life Cycle Assess.* 21:1645–1657. Obtido de <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1093-x>
- CES EduPack. (2019). *Software de seleção de materiais*. Cambridge, United Kingdom: Granta Design Limited.
- Chaves, F. J. (2003/2004). *Inovação na Indústria da Caixilharia*. Mestrado em Design Industrial 2003/2004. Porto: ESAD - Escola Superior de Artes e Design | FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Cimave Construções. (2014). Obtido em 17 de junho de 2020, de <http://www.cimave.pt/portfolio.aspx?action=all&loc=20&tit=Silos%20de%20Armazenamento&menu=PORTF%C3%93LIO>



- Comissão das Comunidades Europeias. (2000). *Livro Verde Aspectos Ambientais do PVC*. Bruxelas: Comissão das Comunidades Europeias.
- Cortizo. (2017). *Cortizo*. Obtido de <https://www.cortizo.com/pt>
- COSTA, I. A. (2013). *Estudo de Durabilidade de Caixilharias*. Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2012/2013. Porto, Portugal: Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- CYPE. (2008). *Manual de Utilização e Manutenção*. CYPE. Obtido em 30 de abril de 2020, de <http://www.geradordeprecos.info/>
- eCycle. (2021). *eCycle - Sua pegada mais leve*. Obtido de <https://www.ecycle.com.br/>
- EduPack. (2019). CES EDUPACK 2019. GRANTA DESIGN Ltd.
- EN 10077-1. (2000). Thermal performance of windows, doors and shutters — Calculation of thermal transmittance — Part 1: Simplified method.
- EN 1026. (2000). Windows and doors - Air permeability - Test method. Brussels: Comité Européen de Normalisation.
- EN 1027. (2000). Windows and doors - Air permeability - Classification. Brussels: Comité Européen de Normalisation.
- EN 1191. (2000). Windows and doors - Resistance to repeated opening and closing - Test method. Brussels: Comité Européen de Normalisation.
- EN 1192. (1999). Doors - Classification of strength requirements. Brussels: Comité Européen de Normalisation.
- EN 12046-1. (2003). Operating forces – Test method – Part 1: Windows. . Brussels: Comité Européen de Normalisation.
- EN 12046-2. (2000). Operation forces – Test method – Part 2: Doors. Brussels: Comité Européen de Normalisation.
- EN 12152. (2002). Curtain walling - Air permeability - Performance requirements and classification. Brussels: Comité Européen de Normalisation.
- EN 12153 . (2000). Curtain walling - Air permeability - Test method. Brussels: Comité Européen de Normalisation.
- EN 12154. (1999). Curtain walling - Watertightness - Performance requirements and classification. Brussels: Comité Européen de Normalisation.
- EN 12155. (2000). Curtain Walling - Watertightness - Laboratory test under static pressure. Brussels: Comité Européen de Normalisation.
- EN 12207 . (1999). Windows and doors - Air permeability - Classification. Brussels: Comité Européen de Normalisation.
- EN 12208. (1998). Windows and doors - Watertightness - Classification. Brussels: Comité Européen de Normalisation.
- EN 12210. (16 de março de 2016). Windows and doors - Resistance to wind load - Classification. Brussels: Comité Européen de Normalisation.
- EN 12211. (16 de março de 2016). Windows and doors - Resistance to wind load - test method. Brussels: Comité Européen de Normalisation.

- EN 12217. (2003). Doors - Operating forces - Requirements and classification . Brussels: Comité Européen de Normalisation.
- EN 12400. (2002). Windows and pedestrian doors - Mechanical durability - Requirements and classification . Brussels: Comité Européen de Normalisation.
- EN 13115. (2001). Windows - Classification of mechanical properties - Racking , torsion and operating forces. Brussels: Comité Européen de Normalisation.
- EN 13501. (2007). Fire classification of construction products and building elements -Part 1: Classification using test data from reaction to fire tests. Brussels: Comité Européen de Normalisation.
- EN 13823. (2010). Reaction to fire tests for building products - Building products excluding floorings exposed to the thermal attack by a single burning item. Brussels: Comité Européen de Normalisation.
- EN 14019. (2004). Curtain walling - Impact resistance - Performance requirements. Brussels: Comité Européen de Normalisation.
- EN 14351. (2008). Windows and pedestrian doors - Product standard . Brussels: Comité Européen de Normalisation.
- EN 14351-1. (1 de março de 2006). Windows and doorsProduct standard, performance characteristics Part 1: Windows and external pedestrian doorsets without resistance to fire and/or smoke leakage characteristics. *Norma Portuguesa*. Brussels: Comité Européen de Normalisation.
- EN 14608. (2004). Windows - Determination of the resistance to racking. Brussels: Comité Européen de Normalisation.
- EN 14609. (2004). Windows - Determination of the resistance to static torsion . Brussels: Comité Européen de Normalisation.
- EN 947 . (1998). Hinged or pivoted doors - Determination of the resistance to vertical load. Brussels: Comité Européen de Normalisation.
- EN 948. (1998). hinged or pivoted doors - Determination of the resistance to static torsion . Brussels: Comité Européen de Normalisation.
- EN 949. (1998). Windows and curtain walling, doors, blinds and shutters - Determination of the resistance to soft and heavy body impact for doors. Brussels: Comité Européen de Normalisation.
- EN 950. (1999). Doors leaves - Determination of the resistance to hard body impact . Brussels: Comité Européen de Normalisation.
- EN ISO 10077-1. (2006). Thermal performance of windows, doors and shutters - Calculation of thermal transmittance - part 1. Brussels: Comité Européen de Normalisation.
- EN ISO 10077-2. (2003). Thermal performance of windows, doors and shutters - Calculation of thermal transmittance - Part 2. Brussels: Comité Européen de Normalisation.
- EN ISO 1182. (2010). Reaction to fire tests for products - Non-combustibility test. Brussels: Comité Européen de Normalisation.
- EN ISO 11925-2. (2010). Reaction to fire tests - Ignitability of products subjected to direct impingement of flame - Part 2: Single-flame source test. Brussels: Comité Européen de Normalisation.

- EN ISO 12567-1. (2010). Thermal performance of windows and doors — Determination of thermal transmittance by the hot-box method — Part 1: Complete windows and doors.
- EN ISO 140-3. (1995). Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 3. Laboratory measurements of airborne insulation of buildings elements.
- EN ISO 1716. (2010). Reaction to fire tests for products - Determination of the gross heat of combustion. Brussels: Comité Européen de Normalisation.
- ENV 1627. (s.d.). Windows, doors, shutters - Burglar resistance - Requirements and classification. Comité Européen de Normalisation.
- ENV 1628. (1999). Windows, doors, shutters – Burglar resistance – Test method for the determination of resistance under static loading. Comité Européen de Normalisation.
- ENV 1629. (1999). Windows, doors, shutters – Burglar resistance – Test method for the determination of resistance under dynamic loading . Comité Européen de Normalisation.
- ENV 1630. (1999). Windows, doors, shutters – Burglar resistance – Test method for the determination of resistance to manual burglary attempts. Comitté Européen de Normalisation.
- Espitia, A., Gondak, M. O., & Silva, D. A. (2015). *Avaliação de Ciclo de Vida – Estudo comparativo de perfil extrudado Alumínio e Policloreto de Vinila (PVC)*. São Paulo: Universidade de São Paulo.
- Extrusal. (2011). *Extrusal*. Obtido de <https://www.extrusal.pt/>
- Faria, C. (s.d.). *InfoEscola*. Obtido em 27 de janeiro de 2021, de InfoEscola: <https://www.infoescola.com/engenharia/extrusao/>
- ferfer. (7 de abril de 2021). Obtido de <https://ferforsteel.pt/>
- Florestas-PT. (2019). *Qual é a relação entre gases com efeito de estufa e alterações climáticas?* Obtido de <https://florestas.pt/saiba-mais/qual-a-relacao-entre-gases-com-efeito-de-estufa-e-alteracoes-climaticas/>
- Fonseca, R. C. (2004). *O PVC e a sustentabilidade ambiental: marcos históricos e o caso Amanco Brasil*. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambien-tal da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial para ob-tenção do título de mestre em Engenharia Ambiental. Florianópolis, Brasil: Universidade Federal de Santa Catarina.
- Gomes, J. (2011 ). *Sistemas de Caixilharia de PVC - Um Contributo para a Qualidade e Sustentabilidade da construção. Livro elaborado com base na dissertação de Mestrado em Construção, apresentada em 2007, em Lisboa no Instituto Superior Técnico*.
- Gomes, J. F., & Rodrigues, A. M. (s.d.). *Análise do ciclo de vida das caixilharias: um estudo comparativo*. CAIXIAVE.
- Hydro. (2019). *Ciclo de vida do alumínio*. (© 2021 Norsk Hydro ASA) Obtido em 27 de janeiro de 2021, de Hydro: <https://www.hydro.com/>
- Instituto Brasileiro do PVC. (s.d.). Obtido em abril de 2020, de <https://pvc.org.br/>

- ISO 15686-1. (2011). *Buildings and constructed assets — Service life planning — Part 1: General principles and framework*. Brussels: Comité Européen de Normalisation.
- Junior, A. R., Nunes, L. R., & Ormanji, W. (2006). Tecnologia do PVC. (ProEditores/BRASKEM, Ed.) São Paulo. Obtido em 13 de abril de 2020, de <https://docplayer.com.br/67970208-Tecnologia-do-pvc-2a-edicao-revista-e-ampliada.html>
- KAZAPLAN. (2019). Obtido de [www.kazaplan.com](http://www.kazaplan.com)
- KBE Sistemas de Ventanas. (s.d.). Obtido de KBE Sistemas de Ventanas
- KIBERT, C. (2008). *Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery*. 2. 2.ª ed. John Wiley & Sons, ISBN 978-0-470-11421-6.
- Komerling. (2021). Obtido em março de 2021, de <https://kommerling.pt/>
- L. Tirone. (2009). *Caixilharias de qualidade*.
- LEITE, C. L. (2009). *ESTRUTURA DE UM PLANO DE MANUTENÇÃO DE EDIFÍCIOS HABITACIONAIS*. Relatório de projecto submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - FEUP.
- LNEC. (2011). *MARCAÇÃO CE DE PORTAS E JANELAS NO ÂMBITO DA NORMA EN 14351-1 / Resultados do inquérito de 2011*. RELATÓRIO 411/2011 – NAICI, DEPARTAMENTO DE EDIFÍCIOS Núcleo de Acústica, Iluminação, Componentes e Instalações. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- Lopes, T. J. (2005). *Fenómenos de pré-patologia em manutenção de edifícios – aplicação ao revestimento ETICS*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Machado, I. C. (2014). *Avaliação do Ciclo de Vida de uma estrutura de autocarro fabricada por Enrolamento Filamentar e Tecnologias RTM*. Porto: FEUP -Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- MARTINS, H. R. (2010). *RESISTÊNCIA AO VENTO DE CAIXILHARIAS DE ALUMÍNIO - COMPARAÇÃO ENTRE SIMULAÇÃO NUMÉRICA E CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL*. Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES. Porto: FEUP.
- Materioteca Sustentável. (s.d.). Brasil: Universidade Federal de Santa Catarina. Obtido em 01 de novembro de 2020, de <https://materioteca.paginas.ufsc.br/aluminio/>
- Minha janela de PVC. (2017). Obtido em 17 de junho de 2020, de <http://www.minhajaneladepvc.com.br/>
- Moser, K. (1999). Towards the Practical Evaluation of Service Life – Illustrative Application of the Probabilistic Approach – In 8th Int. Conference on Durability of Building Materials & Components. pp:1319-1329 . Vancouver.
- navarra. (2012). *navarra - a marca do alumínio*. Obtido em 8 de janeiro de 2021, de <http://www.navarraaluminio.com/>
- NF P24 – 301 . (agosto de 1980). Spécifications techniques des fenêtres, portes-fenêtres et châssis fixes métalliques.
- NP EN 1990. (2009). Eurocódigo 0 – Bases para o projeto de estruturas. CT 115 – EUROCÓDIGOS ESTRUTURAIIS.

- Oliveira, C. t. (2012). *Aplicação do policloreto de vinila (PVC) em substituição aos materiais convencionais da Construção Civil e Arquitetura*. Sorocaba: FACULDADE DE TECNOLOGIA SOROCABA. Obtido em 13 de abril de 2020
- Pereira, J. (2004). *Tecnologia de Aplicação de Caixilharias. Monografia apresentada na cadeira Tecnologia de Fachadas*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Pinto, A., & Fernandes, O. (2011). *JANELAS E PORTAS PEDONAIAS EXTERIORES -Guia para marçção CE (EN 14351-1:2006+A1:2010. Edifícios - ITE 56*. Lisboa: LNEC.
- Pires, A. M. (2013). Quantificação do valor ambiental em edifícios. Estudo de um caso prático. Em I. -I.-Á. Civil (Ed.), *Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil*. Lisboa.
- Portnorma. (2015). Obtido de <https://www.portnorma.pt/>
- Porto Editora. (2003-2021). custos diretos in infopedia. Obtido em 3 de maio de 2021, de [https://www.infopedia.pt/\\$custos-diretos](https://www.infopedia.pt/$custos-diretos)
- Porto Editora. (2003-2021). *durabilidade in infopedia*. Porto: Porto Editora. Obtido de <https://www.infopedia.pt/dicionarios/lingua-portuguesa/durabilidade>
- Porto Editora. (2003-2021.). *teratogénico in Dicionário infopédia da Língua Portuguesa*. Porto: Porto Editora. Obtido em 21 de março de 2021, de <https://www.infopedia.pt/dicionarios/lingua-portuguesa/teratog%C3%A9nico>
- Propeq. (6 de agosto de 2020). Obtido de <https://propeq.com/post/plasticos-tendencias-sustentaveis/>
- Raposo, T. F. (2009). *Durabilidade da construção. Estimativa da vida útil de revestimentos de coberturas planas*. Porto: U.Porto, Faculdade de Engenharia.
- RCCTE. (s.d.). Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril.
- REHAU. (2008). *REHAU*. Obtido de CUIDADOS E MANUTENÇÃO PARA MANTER INTACTO AO LONGO DO TEMPO O VALOR DAS JANELAS COM PERFIL REHAU: <https://www.rehau.com/downloads/493952/janelas-pvc-cuidados-y-manutencao.pdf>
- Resende, D. C. (2020). *Controlo e melhoria da qualidade num processo de produção de caixilharia*. Universidade do Minho.
- Reyners Aluminium. (s.d.). Obtido em janeiro de 2021, de <https://www.reynaers.pt/>
- Ribeiro, J. F. (2012). *SUSTENTABILIDADE DOS PRODUTOS DE CONSTRUÇÃO – APLICAÇÃO DA ANÁLISE DO CICLO DE VIDA A UM PERFIL DE ALUMÍNIO*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, Perfil de Construção. Lisboa: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- Rodolfo, A., Nunes, L. R., & Ormanji, W. (2006). *Técnologia do PVC - 2ª edição | Revista e ampliada*. São Paulo: BRASKEM | pro editores.
- Rodrigues, P. M. (2008). *Análise e Projecto Estrutural de Sistemas de Alumínio*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil. Aveiro: Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.
- Roxo, T. F. (2013). *Auditoria Energética à Escola Secundária de Pedro Ferreiro do Agrupamento de Escolas de Ferreira do Zêzere*. Trabalho de Projeto para a obtenção do Grau de

- Mestre em, Departamento de Engenharia Eletrotécnica Automação e Comunicações em Sistemas de Energia. Coimbra: ISEC - Instituto Superior de Engenharia de Coimbra.
- RSA. (31 de 5 de 1983). *Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes*. Obtido de Decreto Lei nº235/83: Diário da República, I Série
- Saint Gobain. (8 de abril de 2021). Obtido de [www.saint-gobain.pt](http://www.saint-gobain.pt)
- Santos, A. J. (2012). *Sistema de inspecção e diagnóstico de caixilharias*. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Academia Militar.
- Santos, J. (2007). *O Alumínio*. Algarve: Escola Superior de Tecnologia - Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Algarve.
- Santos, M. R. (2010). *Metodologias de previsão da vida útil de materias, sistemas ou componentes de construção. Revisão bibliográfica*. . Porto: U.Porto, Faculdade de Engenharia.
- SCHUSS. (7 de abril de 2021). Obtido de <https://schusspvc.pt/>
- SCIELO. (02 de 2020). Obtido de [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1517-70762007000200011](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762007000200011)
- SERC. (s.d.). *Critérios de classificação de resistência ao fogo*. PROTECÇÃO PASSIVA CONTRA INCÊNDIOS. Obtido de <http://www.serc-europe.com/>
- Sosoares. (s.d.). *Grupo Sosoares*. Obtido em 8 de fevereiro de 2020, de <https://www.grupososoares.pt/>
- Technal. (2º Trim. de 2018). *Segurança Resistência à Intrusão*. Obtido de Technal: <https://preprod.technal.com/globalassets/upload/technal-portugal/documentos/brochure-efraccion-pt-bd.pdf?ts=637369469490000000>
- Teixeira, E. G. (2013). *Análise do Mercado Brasileiro de PVC Utilizado na Construção Civil*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Escola de Engenharia - Departamento de Engenharia Química - ENG07053 - Trabalho de Diplomação Em Engenharia Química.
- Thornton, J. (2002). *Environmental Impacts of Polyvinyl Chloride Building Materials*. . Washington: Healthy Building Network.
- Torres, J. V. (2009). *MANUTENÇÃO TÉCNICA DE EDIFÍCIOS Vãos exteriores: Portas e Janelas*. MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL - ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES. MANUTENÇÃO TÉCNICA DE EDIFÍCIOS: FEUP.
- UEAtc. (1976). *UNION EUROPÉENNE POUR L'AGRÉMENT TECHNIQUE DANS LA CONSTRUCTION - Directivas comuns UEAtc para a homologação de portas*. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- Vasconcelos, J. D. (2017). *DESEMPENHO ACÚSTICO DE SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS*. Relatório de Estágio submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL – RAMO DE CONSTRUÇÕES. Porto: ISEP - Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- Verdelho, E. S. (agosto de 2005). *CAIXILHARIA DE ALUMÍNIO*. Porto: FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

- Vicente, M. J. (2012). *Tecnologia e Reabilitação de Caixilharias*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Militar. Lisboa: Instituto Superior Técnico | Academia Militar.
- Viegas, J. C. (2012). *COMPONENTES DE EDIFÍCIOS | Selecção de caixilharia e seu dimensionamento mecânico EDIFÍCIOS | ITE 51*. Lisboa: LNEC - LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL.
- Viegas, J. C., Pinto, A., Fontinha, R., Antunes, S., & Hormigo, J. (2016). 2º ENCONTRO NACIONAL SOBRE QUALIDADE E INOVAÇÃO NA CONSTRUÇÃO - QIC2016. *CAIXILHARIA EXTERIOR DE EDIFÍCIOS RECENTES CASO DE ESTUDO SOBRE A DURABILIDADE DO SEU DESEMPENHO*. Lisboa: LNEC.
- Weather Spark. (20 de julho de 2021). Obtido de <https://pt.weatherspark.com/>
- Windoer. (2021). Obtido de <https://www.windoer.pt/>