

INSTITUTO POLITÉCNICO DO PORTO

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO

Relatório de Estágio para a obtenção do grau de Mestre em  
ENGENHARIA CIVIL – CONSTRUÇÕES

ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE CONSTRUÇÕES: PROJETO E  
SOLUÇÕES ALTERNATIVAS

Rui Costa Reis, n° 1050333

Novembro de 2013



## **Agradecimentos**

A elaboração deste trabalho representa o final de uma fase marcante na minha vida, o qual não teria sido possível realizar sem a contribuição de algumas pessoas e entidades.

Utilizando este espaço, expresso os seguintes agradecimentos:

Ao meu pai, Joaquim, à minha mãe, Naíde e ao meu irmão, Nuno, por todo o apoio, carinho e paciência que desde sempre tiveram comigo ao longo de toda a minha vida de estudante, e não só;

À Concexec – Arquitetura, Lda. e, em particular, ao meu orientador de estágio, o Eng<sup>o</sup> Celestino Pereira, pela oportunidade concedida em poder realizar o Estágio Curricular, por todo o apoio material e logístico que me foi concedido e por todos os conhecimentos técnicos que me foram transmitidos;

À minha primeira coorientadora de estágio, a Eng<sup>a</sup> Cristina Sousa, pelo incentivo e apoio que me prestou para a realização do Estágio Curricular, e a quem, por motivos de saúde, não foi possível continuar a orientar-me;

À minha atual coorientadora de estágio, a Eng<sup>a</sup> Teresa Neto, pela disponibilidade que apresentou no momento em que precisei mais e por todos os conhecimentos técnicos, rigor, críticas e sugestões que me transmitiu.

Aos meus amigos e colegas de curso, particularmente ao André Silva, ao Adriano Campos, ao Daniel Silva, à Lisa Oliveira, à Joana Almeida, ao José Fernandes, ao Márcio Cunha e à Sara Pinto por toda a ajuda e companheirismo que me ofereceram ao longo de toda a minha vida académica.

À Associação de Estudantes do ISEP (aeISEP), em particular ao Thiago Oliveira e ao Paulo Neto, por me permitirem ter a honra de ter feito parte desta organização e na qual tive a oportunidade de crescer a nível académico e pessoal.



**Palavras-chave:**

Térmica; Eficiência; Energia

**Resumo**

O presente Relatório de Estágio representa o último passo para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil – Ramo de Construções, lecionado no Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP).

Este relatório refere-se ao trabalho desenvolvido em estágio na entidade acolhedora Concexec – Arquitetura, Lda., através da elaboração e desenvolvimento dos projetos de térmica de edifícios referentes a duas moradias unifamiliares. Os referidos projetos foram elaborados em colaboração com a entidade patronal do estágio, precedidos de visitas aos locais das respetivas obras e análise dos respetivos projetos de especialidades considerados relevantes.

Numa primeira parte do relatório está descrita a realidade da situação energética atual em Portugal, sucedida da referência e descrição de soluções construtivas disponíveis no mercado nacional que visam a melhoria da eficiência energética em edifícios de habitação.

Numa segunda parte do relatório encontram-se descritos, de uma forma detalhada, os projetos de térmica de edifícios referidos e respetivas soluções alternativas, sucedidos de uma análise energética e económica que permita deduzir qual a melhor solução a ser aplicada mediante o caso. Os resultados obtidos cumpriram com todos os requisitos regulamentares estabelecidos, permitindo obter conclusões adequadas ao âmbito do presente Relatório de Estágio, cumprindo, desta forma, os objetivos que lhe foram estabelecidos.

No final estão descritas as conclusões que foram obtidas durante todo o processo de pesquisa e desenvolvimento do estágio realizado.



**Keywords:**

Thermal; Efficiency; Energy

**Abstract**

This Internship Report represents the final step to obtain the Degree of Master of Civil Engineering – Construction Branch, taught at Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP).

This report refers to the work made in intership at the host entity Concexec – Arquitetura, Lda., through the elaboration and development of thermal projects for buildings to two residential buildings. These projects were developed in collaboration with the employer of the internship, preceded by visits to their respective construction sites and analysis of their respective specialties projects considered relevant.

In the first part of the report is described the reality of the current energy status in Portugal, succeeded by the reference and description of constructive solutions available in the national market which aim to improve the energy efficiency in residential buildings.

In the second part of the report is described, in a detailed manner, the aforementioned thermal projects for buildings and respective alternative solutions, succeeded by an economical and energetic analysis which permits to deduce the best solution to be applied by the case. The results complied with all the set regulatory requirements, allowing to obtain appropriate conclusions on the scope of the current Internship Report and fulfilling thus the goals that have been established.

In the end, it is described the conclusions that were obtained throughout the research and development process of the internship.



## Índice

Agradecimentos .....	iii
Resumo.....	v
Abstract .....	vii
Índice .....	ix
Índice de Gráficos.....	xiii
Índice de Tabelas.....	xv
Índice de Figuras .....	xix
Listagem de Siglas e Acrónimos.....	xxiii
1 Introdução .....	1
1.1 Objetivos e âmbito.....	1
1.2 Estrutura do Relatório de Estágio.....	2
2 Estado da arte .....	3
2.1 Situação energética em Portugal .....	3
2.2 Desempenho energético de edifícios habitacionais.....	11
2.3 Medidas para a melhoria energética em edifícios de habitação .....	13
2.3.1 Soluções construtivas e técnicas para a melhoria energética em edifícios.....	14
2.3.1.1 Paredes exteriores.....	15
2.3.1.2 Pavimentos.....	23
2.3.1.3 Coberturas .....	25
2.3.1.4 Vãos envidraçados.....	29
2.3.1.5 Tecnologias solares ativas.....	32
2.3.1.6 Sistemas e instalações.....	34
2.3.1.7 Eficiência dos sistemas de climatização.....	34
2.4 Principais dificuldades na melhoria energética de edifícios .....	35

2.5	Estágio Curricular.....	37
2.5.1	Concexec – Arquitetura, Lda. ....	37
2.5.2	Ferramentas para o cálculo do desempenho térmico em edifícios .....	39
2.5.2.1	SolTerm <sup>®</sup> 5.0.2.....	40
2.5.3	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).....	46
3	Estudo de caso .....	49
3.1	Fração autónoma em estudo – Rua Marechal Saldanha, Porto .....	49
3.1.1	Tipologia de edifício.....	51
3.1.2	Dados climáticos .....	53
3.1.3	Envolventes e coeficientes de redução de temperatura .....	53
3.1.4	Sistema de preparação de Águas Quentes Sanitárias (AQS).....	56
3.1.5	Sistemas de climatização.....	57
3.1.6	Sistema de ventilação.....	57
3.1.7	Cálculo dos parâmetros e coeficientes necessários ao balanço energético .....	59
3.1.8	Níveis de qualidade.....	73
3.1.8.1	Nível de qualidade N <sub>2</sub> .....	74
3.1.8.2	Nível de qualidade N <sub>3</sub> .....	84
3.1.8.3	Nível de qualidade N <sub>4</sub> .....	91
3.1.9	Balanço energético .....	98
3.2	Fração autónoma em estudo – Lugar da Quintã, Espargo.....	103
3.2.1	Tipologia de edifício.....	105
3.2.2	Dados climáticos .....	106
3.2.3	Envolventes e coeficientes de redução de temperatura .....	106
3.2.4	Sistemas de preparação de Águas Quentes Sanitárias .....	108

3.2.5	Sistemas de climatização.....	109
3.2.6	Sistema de ventilação.....	109
3.2.7	Cálculo dos parâmetros e coeficientes necessários ao balanço energético ...	111
3.2.8	Níveis de qualidade .....	125
3.2.8.1	Nível de qualidade $N_1$ .....	126
3.2.8.2	Nível de qualidade $N_3$ .....	126
3.2.8.3	Nível de qualidade $N_4$ .....	126
3.2.9	Balanço energético .....	126
3.3	Dados e pressupostos para a análise económica e da relação benefícios/custos .	129
3.4	Análise económica.....	131
3.5	Relação benefícios/custos .....	132
3.6	Discussão dos resultados obtidos.....	133
3.6.1	Moradia da Rua do Marechal Saldanha .....	133
3.6.2	Moradia de Quintã – Espargo .....	134
3.6.3	Limitações da análise de resultados.....	135
4	Conclusões .....	137
5	Bibliografia .....	141

Anexo I: Folhas de cálculo do RCCTE relativas à moradia da Rua do Marechal Saldanha

Anexo II: Listagem Solterm<sup>®</sup> relativa à moradia da Rua do Marechal Saldanha

Anexo III: Folhas de cálculo do RCCTE relativas à moradia de Quintã – Espargo

Anexo IV: Listagem Solterm<sup>®</sup> relativa à moradia de Quintã – Espargo

Anexo V: Fichas das soluções construtivas

Anexo VI: Plano de estágio



## Índice de Gráficos

Gráfico n° 1: Consumo de energia elétrica (%) em Portugal de 2011, por tipo de consumo (Fonte: DGEG).....	3
Gráfico n° 2: Consumo de energia elétrica (kWh) em Portugal, por tipo de consumo (Fonte: DGEG).....	4
Gráfico n° 3: Despesas (%) por tipo de fonte de consumo energético no setor doméstico em Portugal (Fonte: DGEG) .....	4
Gráfico n° 4: Consumo de energia final (%) em Portugal, por tipo de consumo (Fonte: DGEG) .....	5
Gráfico n° 5: Consumo (tep) e peso (%) do setor doméstico no consumo final de energia em Portugal (Fonte: DGEG).....	5
Gráfico n° 6: Consumo (tep) e peso (%) do setor doméstico no consumo final de energia dos países europeus (Fonte: Eurostat) .....	8
Gráfico n° 7: Repartição (%) dos consumos de energia no setor doméstico (Fonte: DGEG) .....	9
Gráfico n° 8: Distribuição do consumo de energia no setor doméstico por tipo de uso (Fonte: DGEG).....	34
Gráfico n° 9: Classificação energética das soluções propostas para a moradia da Rua do Marechal Saldanha.....	103
Gráfico n° 10: Classificação energética das soluções propostas para a moradia de Quintã – Espargo.....	129



## Índice de Tabelas

Tabela nº 1: Classe energética de edifícios habitacionais em função dos valores limite das respectivas classes.....	13
Tabela nº 2: Materiais constituintes das paredes exteriores ( $N_1$ ) .....	59
Tabela nº 3: Materiais constituintes das paredes de separação do edifício adjacente .....	60
Tabela nº 4: Materiais constituintes das paredes interiores de separação entre espaço útil e os desvãos .....	61
Tabela nº 5: Materiais constituintes da porta exterior.....	62
Tabela nº 6: Materiais constituintes da porta interior de separação do desvão não-útil....	62
Tabela nº 7: Materiais constituintes da cobertura inclinada ( $N_1$ ) .....	63
Tabela nº 8: Materiais constituintes da cobertura em terraço ( $N_1$ ).....	64
Tabela nº 9: Materiais constituintes dos pilares ( $N_1$ ).....	65
Tabela nº 10: Materiais constituintes das vigas ( $N_1$ ) .....	65
Tabela nº 11: Vãos envidraçados e respetivos fatores de sombreamento do horizonte e por elementos horizontais .....	69
Tabela nº 12: Vãos envidraçados e respetivos fatores de sombreamento por elementos elementos e de obstrução.....	70
Tabela nº 13: Cálculo da massa térmica total ( $N_1$ ).....	71
Tabela nº 14: Critérios de escolha dos níveis de qualidade estudados .....	74
Tabela nº 15: Coeficientes de transmissão térmica de referência para elementos da envolvente em zona $I_2$ .....	74
Tabela nº 16: Materiais constituintes das paredes exteriores ( $N_2$ ).....	75
Tabela nº 17: Materiais constituintes da cobertura inclinada ( $N_2$ ).....	76
Tabela nº 18: Materiais constituintes da cobertura em terraço ( $N_2$ ) .....	77
Tabela nº 19: Materiais constituintes dos pilares ( $N_2$ ) .....	78

Tabela nº 20: Materiais constituintes das vigas ( $N_2$ ) .....	79
Tabela nº 21: Caraterísticas térmicas dos envidraçados verticais ( $N_2$ ) .....	81
Tabela nº 22: Caraterísticas térmicas dos envidraçados horizontais ( $N_2$ ) .....	82
Tabela nº 23: Cálculo da massa térmica total ( $N_2$ ) .....	83
Tabela nº 24: Materiais constituintes das paredes exteriores ( $N_3$ ) .....	84
Tabela nº 25: Materiais constituintes da cobertura inclinada ( $N_3$ ) .....	85
Tabela nº 26: Materiais constituintes da cobertura em terraço ( $N_3$ ) .....	86
Tabela nº 27: Materiais constituintes dos pilares ( $N_3$ ) .....	87
Tabela nº 28: Materiais constituintes das vigas ( $N_3$ ) .....	88
Tabela nº 29: Caraterísticas térmicas dos envidraçados verticais ( $N_3$ ) .....	90
Tabela nº 30: Caraterísticas térmicas dos envidraçados horizontais ( $N_3$ ) .....	90
Tabela nº 31: Materiais constituintes das paredes exteriores ( $N_4$ ) .....	91
Tabela nº 32: Materiais constituintes da cobertura inclinada ( $N_4$ ) .....	92
Tabela nº 33: Materiais constituintes da cobertura em terraço .....	93
Tabela nº 34: Materiais constituintes dos pilares ( $N_4$ ) .....	94
Tabela nº 35: Materiais constituintes dos pilares ( $N_4$ ) .....	95
Tabela nº 36: Caraterísticas térmicas dos envidraçados verticais ( $N_4$ ) .....	97
Tabela nº 37: Caraterísticas térmicas dos envidraçados horizontais ( $N_4$ ) .....	97
Tabela nº 38: Coeficientes de transmissão térmica calculados para todos os níveis de qualidade .....	98
Tabela nº 39: Balanço energético de todos os níveis de qualidade estudados para a estação de aquecimento .....	99
Tabela nº 40: Necessidades de aquecimento de todos os níveis de qualidade estudados ..	100
Tabela nº 41: Balanço energético de todos os níveis de qualidade estudados para a estação de arrefecimento .....	101

Tabela nº 42: Ganhos e perdas térmicas totais de todos os níveis de qualidade .....	101
Tabela nº 43: Resumo das verificações relativas às necessidades nominais de energia para todos os níveis de qualidade .....	102
Tabela nº 44: Materiais constituintes das paredes exteriores .....	112
Tabela nº 45: Materiais constituintes das paredes em contacto com a casa das máquinas e com o desvão não-útil .....	112
Tabela nº 46: Materiais constituintes da cobertura inclinada .....	113
Tabela nº 47: Materiais constituintes da laje de esteira.....	114
Tabela nº 48: Materiais constituintes do pavimento em contacto com o desvão sanitário .....	115
Tabela nº 49: Materiais constituintes dos pilares.....	116
Tabela nº 50: Materiais constituintes das vigas.....	117
Tabela nº 51: Materiais constituintes das caixas de estore .....	118
Tabela nº 52: Vãos envidraçados e respetivos fatores de sombreamento do horizonte e por elementos horizontais .....	121
Tabela nº 53: Vãos envidraçados e respetivos fatores de sombreamento por elementos elementos e de obstrução.....	122
Tabela nº 54: Tabela de cálculo da massa térmica total.....	123
Tabela nº 55: Resumo das verificações relativas às necessidades nominais de energia para todos os níveis de qualidade .....	128
Tabela nº 56: Análise económica da moradia da Rua do Marechal Saldanha.....	131
Tabela nº 57: Análise económica da moradia de Quintã – Espargo .....	132
Tabela nº 58: Análise benefício/custo da moradia da Rua Marechal Saldanha .....	132
Tabela nº 59: Análise benefício/custo da moradia de Quintã – Espargo.....	132



## Índice de Figuras

Figura nº 1: Esquemática de um sistema de fachada ventilada (Fonte: <a href="http://www.matimex.com.pt/">http://www.matimex.com.pt/</a> ) .....	18
Figura nº 2: Montagem em obra de um sistema de fachada ventilada (Fonte: <a href="http://workalp.pt/">http://workalp.pt/</a> ) .....	18
Figura nº 3: Esquemática de um sistema “Vêture” (Fonte: <a href="http://www.batipresse.com/">http://www.batipresse.com/</a> ) .....	19
Figura nº 4: Esquemática de um sistema ETICS (Fonte: <a href="http://www.tintas-lacca.com/">http://www.tintas-lacca.com/</a> ) .....	20
Figura nº 5: Representação esquemática de um sistema ETICS de revestimento espesso .	21
Figura nº 6: Sistema de isolamento térmico interior através de painéis pré-fabricados com utilização de estrutura de apoio .....	22
Figura nº 7: Sistema de isolamento térmico interior através de contra-fachada .....	23
Figura nº 8: Sistema de isolamento térmico em pavimentos exteriores aplicado pela face inferior da laje de pavimento.....	24
Figura nº 9: Sistema de isolamento térmico em pavimentos exteriores aplicado pela face superior da laje de pavimento .....	25
Figura nº 10: Esquemática de um sistema de isolamento térmico aplicado na face superior da esteira horizontal do teto .....	26
Figura nº 11: Esquemática de um sistema de isolamento térmico aplicado nas vertentes da cobertura.....	27
Figura nº 12: Esquemática de um sistema de isolamento térmico aplicado sobre uma cobertura horizontal em terraço .....	28
Figura nº 13: Esquemática de um sistema reforço térmico em coberturas horizontais em terraço .....	29

Figura nº 14: Exemplo de janela dupla (Fonte: <a href="http://www.aki.pt/">http://www.aki.pt/</a> ) .....	31
Figura nº 15: Esquemática de um sistema solar térmico convencional (Fonte: <a href="http://aveirenovaveis.blogspot.pt/p/solar-termico.html">http://aveirenovaveis.blogspot.pt/p/solar-termico.html</a> ) .....	33
Figura nº 16: Logótipo da Concexec – Arquitetura, Lda .....	37
Figura nº 17: Escritório da Concexec – Arquitetura, Lda. ....	38
Figura nº 18: <i>Hall</i> de entrada da Concexec – Arquitetura, Lda. ....	38
Figura nº 19: Edifício de Administração e Formação da TUL – Tecnologia de Maquinação, Lda. ....	39
Figura nº 20: Complexo industrial da Fabrilcar – Componentes para Automóveis, Lda. ...	39
Figura nº 21: Exemplo da interface “Clima e local” da ferramenta informática SolTerm® 5.0.....	41
Figura nº 22: Configuração básica de um sistema solar térmico com depósito .....	42
Figura nº 23: Configuração básica de um sistema solar térmico do tipo “ <i>kit</i> ” doméstico..	43
Figura nº 24: Energia incidente diária média em função das orientações do painel solar ..	44
Figura nº 25: Exemplo da interface “Análise energética” para obtenção do desempenho energético do sistema solar térmico .....	45
Figura nº 26: Fachada principal do edifício em estudo .....	50
Figura nº 27: Fachada principal do edifício em estudo em formato .dwg.....	50
Figura nº 28: Planta do rés-do-chão .....	51
Figura nº 29: Planta do primeiro piso .....	52
Figura nº 30: Planta do desvão do telhado.....	52
Figura nº 31: Marcação das envolventes na planta do rés-do-chão .....	55
Figura nº 32: Marcação das envolventes na planta do 1º piso .....	55
Figura nº 33: Planta da cobertura.....	55
Figura nº 34: Marcação das envolventes no Corte C2.....	56

Figura n° 35: Distância medida entre a moradia e a costa (Fonte: <i>Google Earth</i> ).....	58
Figura n° 36: Pormenor construtivo das paredes exteriores (N <sub>1</sub> ) .....	60
Figura n° 37: Pormenor construtivo da parede de separação do edifício adjacente .....	61
Figura n° 38: Pormenor construtivo das paredes interiores de separação entre o espaço útil e os desvãos .....	62
Figura n° 39: Pormenor construtivo da cobertura inclinada (N <sub>1</sub> ).....	63
Figura n° 40: Pormenor construtivo da cobertura em terraço (N <sub>1</sub> ) .....	64
Figura n° 41: Pormenor construtivo dos pilares (N <sub>1</sub> ) .....	65
Figura n° 42: Pormenor construtivo das vigas (N <sub>1</sub> ) .....	66
Figura n° 43: Pormenor construtivo das paredes exteriores (N <sub>2</sub> ) .....	75
Figura n° 44: Pormenor construtivo da cobertura inclinada (N <sub>2</sub> ).....	76
Figura n° 45: Pormenor construtivo da cobertura em terraço (N <sub>2</sub> ) .....	78
Figura n° 46: Pormenor construtivo dos pilares (N <sub>2</sub> ) .....	79
Figura n° 47: Pormenor construtivo das vigas (N <sub>2</sub> ) .....	80
Figura n° 48: Pormenor construtivo das paredes exteriores (N <sub>3</sub> ) .....	84
Figura n° 49: Pormenor construtivo da cobertura inclinada (N <sub>3</sub> ).....	85
Figura n° 50: Pormenor construtivo da cobertura em terraço (N <sub>3</sub> ) .....	87
Figura n° 51: Pormenor construtivo dos pilares (N <sub>3</sub> ) .....	88
Figura n° 52: Pormenor construtivo das vigas (N <sub>3</sub> ) .....	89
Figura n° 53: Pormenor construtivo das paredes exteriores (N <sub>4</sub> ) .....	92
Figura n° 54: Pormenor construtivo da cobertura inclinada (N <sub>4</sub> ).....	93
Figura n° 55: Pormenor construtivo da cobertura em terraço (N <sub>4</sub> ) .....	94
Figura n° 56: Pormenor construtivo dos pilares (N <sub>4</sub> ) .....	95
Figura n° 57: Pormenor construtivo das vigas (N <sub>4</sub> ) .....	96
Figura n° 58: Fachada principal do edifício .....	104

Figura nº 59: Fachada principal do edifício em formato .dwg.....	104
Figura nº 60: Planta do rés-do-chão .....	105
Figura nº 61: Planta do rés-do-chão.....	107
Figura nº 62: Corte AA’’.....	108
Figura nº 63: Distância medida entre a moradia e a costa (Fonte: <i>Google Earth</i> ).....	110
Figura nº 64: Pormenor construtivo das paredes exteriores .....	112
Figura nº 65: Pormenor construtivo das paredes em contacto com a casa das máquinas e com o desvão não-útil .....	113
Figura nº 66: Pormenor construtivo da cobertura inclinada .....	114
Figura nº 67: Pormenor construtivo da laje de esteira.....	115
Figura nº 68: Pormenor construtivo do pavimento em contacto com o desvão sanitário. ....	116
Figura nº 69: Pormenor construtivo dos pilares.....	117
Figura nº 70: Pormenor construtivo das vigas.....	118
Figura nº 71: Pormenor construtivo das caixas de estore .....	119

## Listagem de Siglas e Acrónimos

### Siglas:

AQS – Águas Quentes Sanitárias

CE – Certificado Energético e da Qualidade do Ar Interior

DCR – Declaração de Conformidade Regulamentar

DGEG – Direcção-Geral de Energia e Geologia

DPC – Diretiva de Produtos de Construção

ENU – Espaços não-úteis

EPS – Poliestireno expandido moldado de alta densidade

ETICS – External Thermal Insulation Composite Systems with rendering

FA – Fração autónoma

MW – Lã mineral

INETI – Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação

ITE – Informação Técnica de Edifícios

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

PEX – Polietileno reticulado

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RECS – Regulamento de Desempenho Energético de Edifícios de Comércio e Serviços

REH – Regulamento de Desempenho Energético de Edifícios de Habitação

RPE – Revestimento plástico contínuo

SCE – Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios

XPS – Poliestireno expandido extrudido

Acrónimos:

$\Delta T$  – Parâmetro de temperatura

$\tau$  – Coeficiente de redução térmica

$\eta$  – Eficiência nominal de um equipamento de climatização

$\lambda$  – Condutibilidade térmica

$\rho$  – Massa volúmica aparente seca

$\psi$  – Coeficiente de transmissão térmica linear

$A_{\text{env}}$  – Área de envidraçados

$A_i$  – Área de um espaço não útil em contacto com o interior

$A_p$  – Área útil de pavimento

$A_u$  – Área de um espaço não útil em contacto com o exterior

$E_{\text{solar}}$  – Contributo de sistemas de coletores solares para preparação de águas quentes sanitárias

$E_{\text{ren}}$  – Contributo de outras formas de energias renováveis para preparação de águas quentes sanitárias

$F_f$  – Fator de sombreamento por elementos verticais

$F_h$  – Fator de sombreamento do horizonte

$F_o$  – Fator de sombreamento por elementos horizontais

$F_s$  – Fator de obstrução

$g_{\perp}$  – Fator solar do envidraçado com as proteções solares 100% ativadas;

$g_{\perp}'$  – Fator solar dos vão envidraçados com a proteção solar 100% ativada.

$g_{\perp\text{-inverno}}$  – Fator solar para a estação de aquecimento

$g_{\perp\text{-máx}}$  – Fator solar máximo admissível

$g_{\perp v}$  – Fator solar do envidraçado;

$g_{\perp\text{-verão}}$  – Fator solar para a estação de arrefecimento

GD – Número de graus-dias

$G_{\text{sul}}$  – Energia solar média incidente numa superfície orientada a sul

$I_t$  – Inércia térmica

$M_{\text{AQS}}$  – Consumo médio diário de água

$M_{\text{si}}$  – Massa superficial útil

$m_t$  – Massa térmica superficial

$N_a$  - Valores limite das necessidades anuais globais nominais para preparação de águas quentes sanitárias

$N_{\text{ac}}$  - Necessidades anuais globais nominais para preparação de águas quentes sanitárias

$N_i$  - Valores limite das necessidades anuais globais nominais para aquecimento

$N_{\text{ic}}$  - Necessidades anuais globais nominais para aquecimento

$N_t$  - Valores limite das necessidades anuais globais nominais de energia primária

$N_{\text{tc}}$  - Necessidades anuais globais nominais de energia primária

$N_v$  - Valores limite das necessidades anuais globais nominais para arrefecimento

$N_{\text{vc}}$  - Necessidades anuais globais nominais para arrefecimento

$r$  – Fator de correção

$R$  – Quociente entre as necessidades primárias de energia calculadas e as necessidades primárias de energia máximas limite

$R_{\text{ph}}$  – Número de renovações horárias do ar interior

$R_t$  – Resistência térmica

$S_i$  – Área do elemento construtivo

$U$  – Coeficiente de transmissão térmica superficial

$U_{\text{ref}}$  – Coeficiente de transmissão térmica superficial de referência

$U_{\text{max}}$  – Coeficiente de transmissão térmica superficial máximo

$X_j$  – Fator de orientação











## **1 Introdução**

### **1.1 Objetivos e âmbito**

O presente documento refere-se ao Relatório do Estágio Curricular realizado na entidade acolhedora Concexec – Arquitetura, Lda., no âmbito da unidade curricular Dissertação / Projeto / Estágio (DIPRE) do 2º ano do Mestrado em Engenharia Civil – Ramo de Construções, de modo a obter o grau de “Mestre” em Engenharia Civil do ISEP/IPP.

Este Estágio foi realizado tendo como principal objetivo obter um contacto privilegiado com a realidade da construção civil em Portugal, procurando, deste modo, obter experiência a nível da elaboração de projetos térmicos de edifícios e desenvolver competências técnicas e sociais que permitam, no futuro, facilitar o ingresso no mundo do trabalho.

Para esse efeito, foi proposto um estudo mais aprofundado da área do desempenho energético de edifícios de habitação. Foi analisada a situação energética e a legislação em vigor em Portugal e foram estudadas várias soluções construtivas alternativas com o objetivo de otimizar a eficiência energética de dois edifícios de habitação unifamiliar, através, nomeadamente, da elaboração de dois projetos de térmica de edifícios, nas quais a entidade acolhedora está encarregue: uma obra de reabilitação referente a uma moradia existente e uma obra de construção nova de uma habitação unifamiliar.

## 1.2 Estrutura do Relatório de Estágio

Este Relatório de Estágio encontra-se dividido em seis capítulos, com alguns deles subdivididos em subcapítulos, nos quais estão descritos todo o trabalho de pesquisa e desenvolvimento realizados no âmbito do Estágio Curricular realizado na entidade acolhedora.

O capítulo 1 serve de introdução ao Relatório de Estágio e nele estão descritos os objetivos e âmbito inerentes ao Estágio Curricular realizado.

No capítulo 2 está descrito o Estado da arte, no qual é possível ler uma descrição do desenvolvimento do setor energético em Portugal, desde 1990 até aos dias de hoje., a descrição do procedimento inerente à certificação do desempenho energético de edifícios e encontram-se descritas, de uma forma genérica, várias soluções construtivas que visam a melhoria energética em edifícios de habitação, assim como uma referência às principais dificuldades inerentes a este procedimento. A parte final deste capítulo refere-se à descrição da entidade acolhedora do Estágio Curricular e das ferramentas e legislação necessárias para a realização dos objetivos propostos no âmbito do presente Relatório de Estágio.

O capítulo 3 aborda a análise e desenvolvimento dos projetos térmicos elaborados para as obras realizadas, assim como as respetivas soluções técnicas alternativas para os mesmos. No final deste capítulo encontra-se a discussão dos resultados obtidos

No capítulo 4 estão descritas as principais conclusões retiradas do trabalho de pesquisa e desenvolvimento realizado no âmbito do presente Relatório de Estágio.

No capítulo 5 está exposta a Bibliografia considerada relevante para a elaboração do presente Relatório de Estágio.

No final do presente documento encontram-se todos os Anexos considerados relevantes para a elaboração do presente Relatório de Estágio.

## 2 Estado da arte

### 2.1 Situação energética em Portugal

Os edifícios definem espaços onde as pessoas passam mais de 80% do tempo das suas vidas, pelo que devem oferecer condições adequadas de conforto e de qualidade do ar interior. Os consumos energéticos associados à satisfação destas condições assumem valores de tal forma importantes, que o “setor dos edifícios”, integrando os edifícios de serviços e residencial, é dos que mais energia consome em Portugal (Nascimento, 2010). Neste momento, o setor doméstico assume aproximadamente cerca de 28% do consumo de energia elétrica em Portugal, com o respetivo consumo estimado em cerca de 13,76 mil milhões de KWh. Este dado confirma que o consumo de energia elétrica cresceu cerca de 88% desde 1994, conforme pode ser verificado nos Gráficos n° 1 e n° 2:

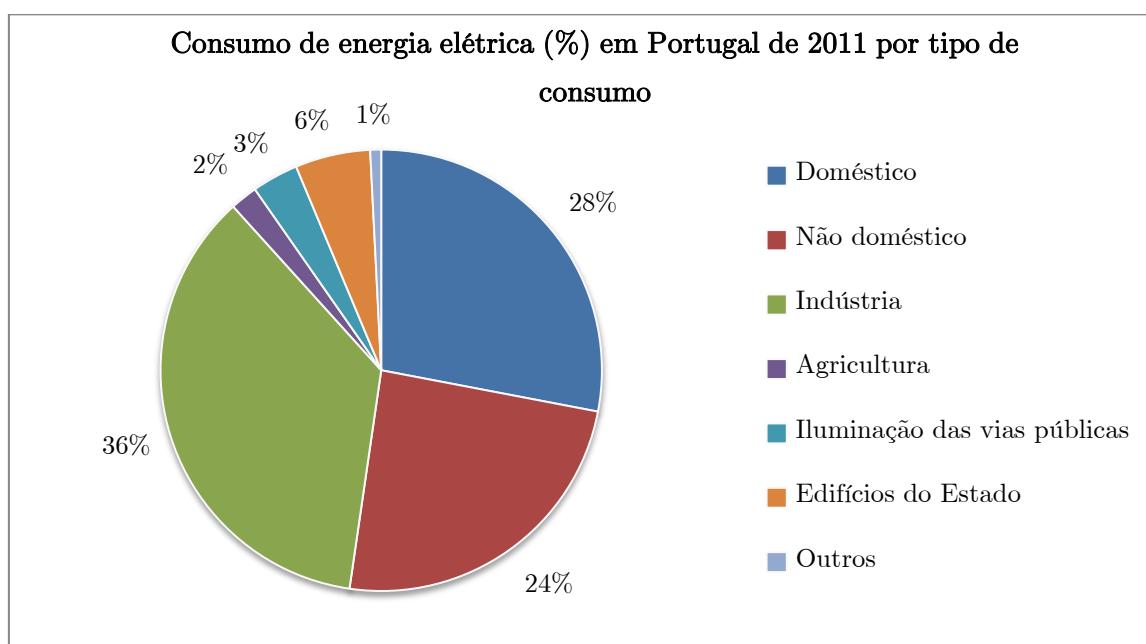


Gráfico n° 1: Consumo de energia elétrica (%) em Portugal de 2011, por tipo de consumo  
(Fonte: DGE)

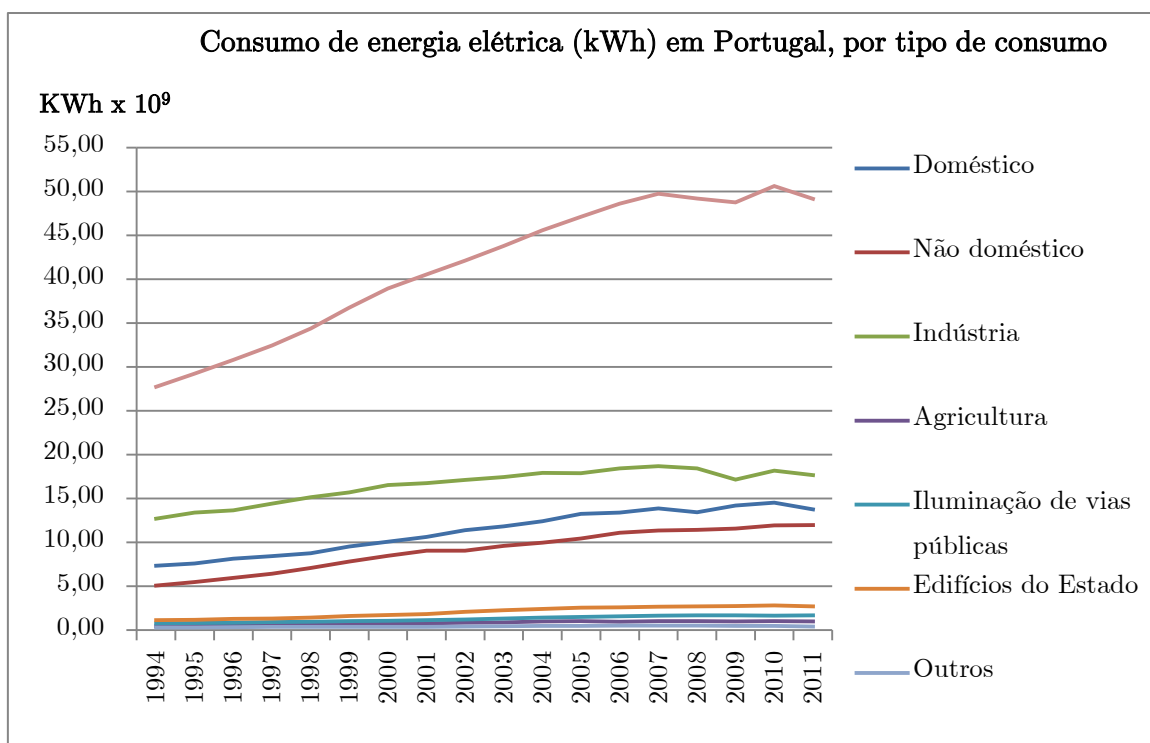


Gráfico nº 2: Consumo de energia elétrica (kWh) em Portugal, por tipo de consumo (Fonte: DGEG)

Tal como pode ser visualizado no Gráfico nº 3, o tipo de fonte de consumo energético que causou mais despesas às famílias portuguesas, em 2010, é a eletricidade (cerca de 62%).

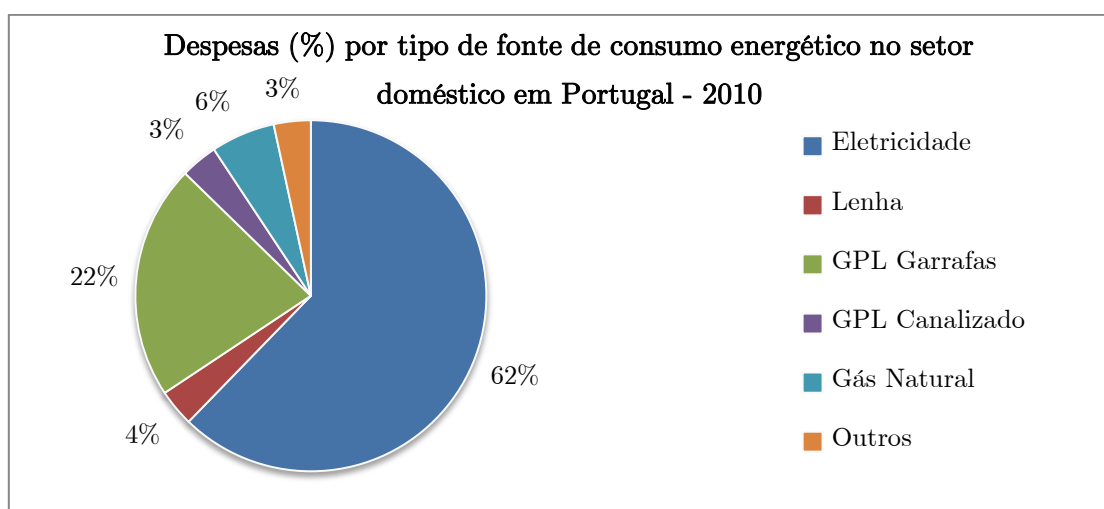


Gráfico nº 3: Despesas (%) por tipo de fonte de consumo energético no setor doméstico em Portugal (Fonte: DGEG)

Neste momento o setor doméstico é o terceiro setor com maior consumo energético em Portugal, representando em 2011, cerca de 17% do consumo de energia final em Portugal, como pode ser verificado no Gráfico nº 4:

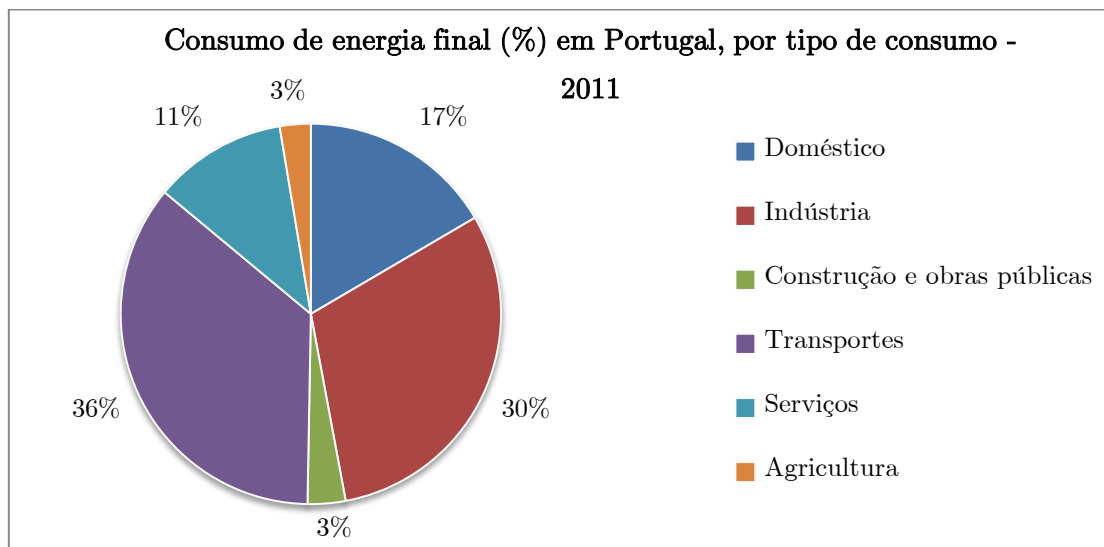


Gráfico nº 4: Consumo de energia final (%) em Portugal, por tipo de consumo (Fonte: DGEG)

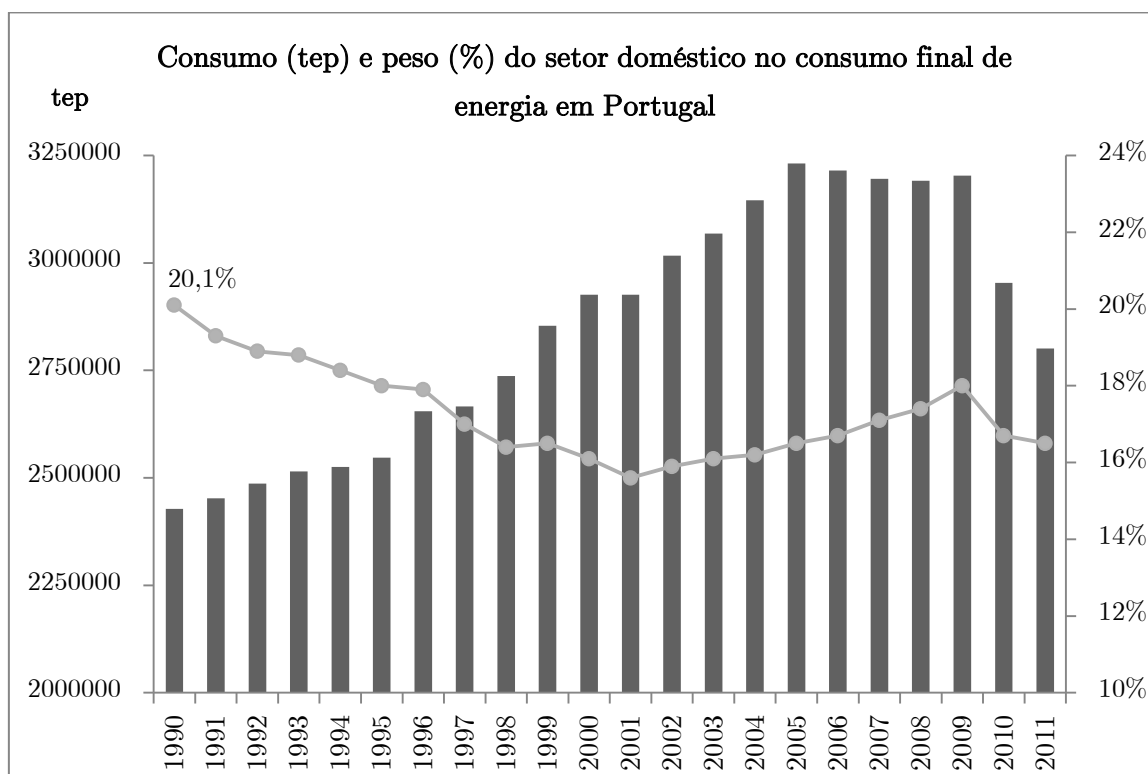


Gráfico nº 5: Consumo (tep) e peso (%) do setor doméstico no consumo final de energia em Portugal (Fonte: DGEG)

O aumento do consumo final de energia no setor doméstico verificado no Gráfico nº 5 deve-se, em parte, às deficientes características relacionadas com a conceção de edifícios já existentes, tais como (Ferreira, 2010):

- Isolamento térmico insuficiente nos elementos opacos da envolvente;
- Influência das pontes térmicas e/ou lineares na envolvente do edifício;
- Existência de humidades que podem resultar na manifestação de patologias, causando perda de qualidade dos materiais que compõem a envolvente do edifício, condicionando, desta forma, o desempenho energético e a durabilidade do edifício;
- Baixo desempenho térmico de vãos envidraçados e portas, através de perdas de calor desproporcionadas por transmissão térmica e devido a infiltrações de ar excessivas por deformação das caixilharias;
- Ausência de proteções solares apropriadas aos vãos envidraçados, resultando em sobreaquecimento no interior dos edifícios ou em aumento das cargas térmicas e das necessidades de energia em habitações com sistemas de arrefecimento ambiente;
- Ventilação não-controlada, resultando em maiores necessidades de energia de aquecimento no Inverno. Em sentido inverso, a insuficiente ventilação resulta em maiores níveis de humidade relativa no Inverno e sobreaquecimento no Verão, provocando desconforto nos ocupantes, fenómenos de condensação e baixo nível de qualidade do ar interior.

Também a ação humana é um fator que contribuiu para o aumento do consumo energético no setor residencial devido a uma gestão da conservação de energia inadequada, tal como: (Ferreira, 2010):

- A manutenção dos sistemas de aquecimento e/ou arrefecimento ligados, enquanto as janelas se encontram abertas;
- Climatização desnecessária dos espaços, resultando em temperaturas inadequadas aos níveis recomendados, ou seja, demasiado quentes no Inverno e demasiado frios no Verão.

No entanto, devido à Crise Económica europeia que se tem vindo a sentir desde 2010, os consumos de energia sofreram um decréscimo contínuo significativo, havendo, neste momento, uma maior racionalização na gestão da conservação de energia. Neste momento, em relação ao resto da Europa, Portugal é o segundo país cujo setor doméstico tem o menor peso em relação ao consumo de energia final, tal como pode ser verificado no Gráfico nº6. Esse dado deve-se ao facto de Portugal ser um dos países com um dos climas mais amenos da Europa, para além de ser um dos países mais afetados pela Crise Económica europeia já referida.

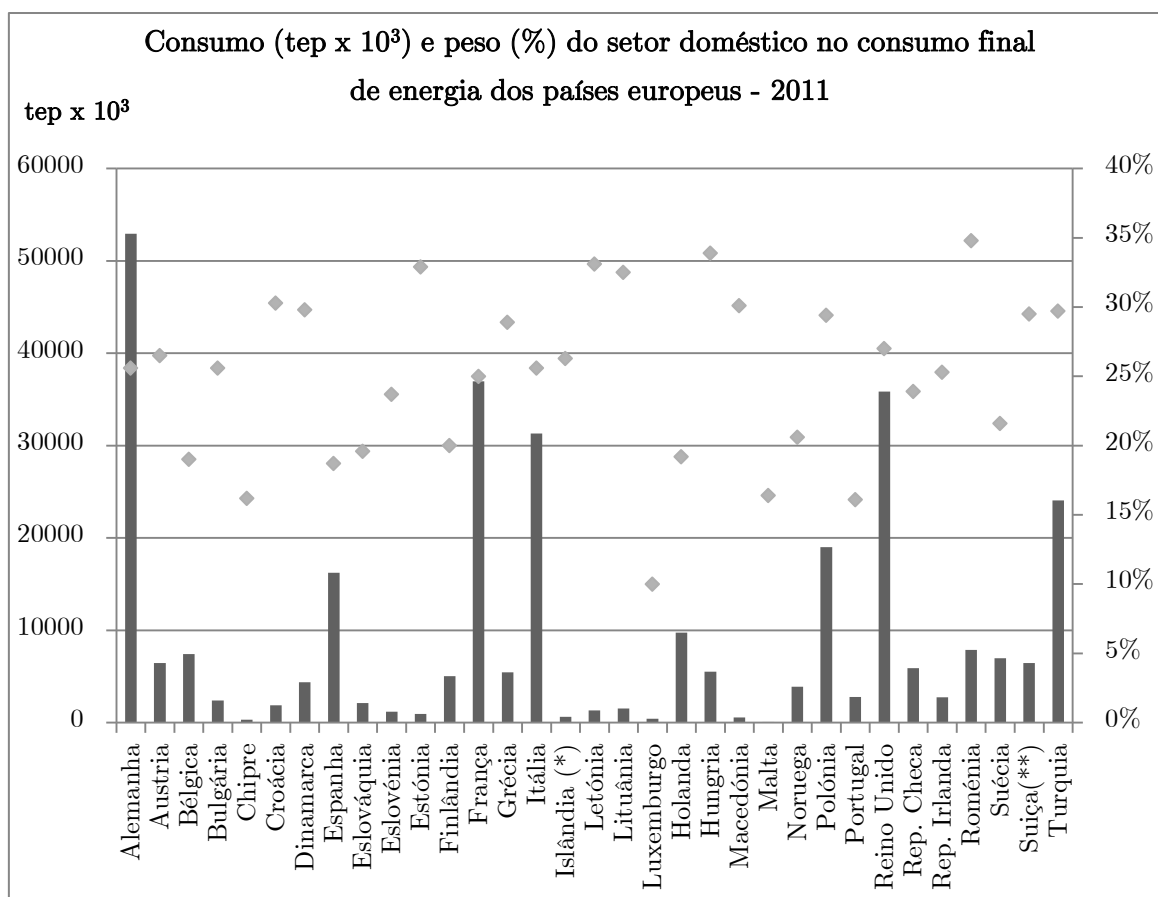


Gráfico n° 6: Consumo (tep) e peso (%) do setor doméstico no consumo final de energia dos países europeus (Fonte: Eurostat)

(\*): Devido à falta de dados, os valores utilizados são referentes ao ano de 2006

(\*\*): Devido à falta de dados, os valores utilizados são referentes ao ano de 2010

No Gráfico n° 6 estão expostos dois dados relevantes no consumo final de energia dos países europeus: o consumo em toneladas equivalentes de petróleo (tep), representado pelo gráfico de barras, e respetivo peso (em percentagem) do setor doméstico no consumo final de energia, representado pelo gráfico de dispersão.

No setor doméstico existem três tipos de consumo energético: Águas Quentes Sanitárias (AQS), Iluminação e Eletrodomésticos e Climatização, que são aproximadamente repartidos como se pode visualizar no Gráfico n°7 e onde se pode concluir que o consumo para a preparação de AQS representa cerca de 50% dos consumos neste tipo de edifícios.

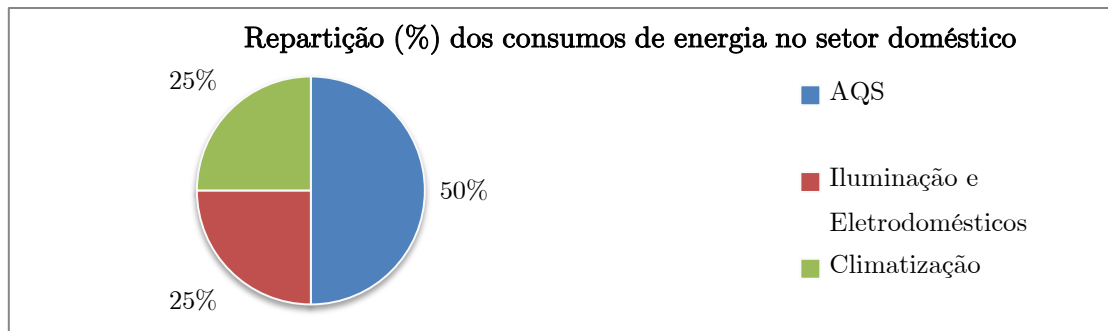


Gráfico n.º 7: Repartição (%) dos consumos de energia no setor doméstico (Fonte: DGEG)

No entanto, os valores apresentados no Gráfico n.º 7 podem sofrer mudanças significativas, conforme as medidas de melhoria em eficiência energética de edifícios, tais como (Ferreira, 2010):

- Comportamentos diários inteligentes e ecosustentáveis, na utilização dos sistemas e eletrodomésticos que consomem energia;
- Reforço da proteção térmica dos edifícios;
- Controlo das infiltrações de ar;
- Utilização de energia solar térmica para produção de AQS, ao invés de se utilizar, exclusivamente, outras fontes energéticas como a eletricidade e o gás;
- Recurso a sistemas solares passivos;
- Seleção minuciosa dos equipamentos de consumo de energia, atendendo à certificação energética atribuída a esses mesmos equipamentos.



## 2.2 Desempenho energético de edifícios habitacionais

O projeto térmico de um determinado edifício ou fração autónoma consiste na realização de um estudo térmico das suas características construtivas, de modo a obter o seu respetivo desempenho energético. Após a conclusão do estudo térmico do edifício é necessária a verificação e validação do mesmo por peritos qualificados, que podem emitir dois tipos de documentos comprovativos da situação regulamentar e do desempenho energético do edifício ou fração autónoma, mais concretamente (Ferreira, 2010):

- Declaração de Conformidade Regulamentar (DCR) – Verificado o projeto, deve ser integrada no processo de pedido de licenciamento ou de autorização de construção;
- Certificado Energético e da Qualidade do Ar Interior (CE) – Verificada a obra concluída, deve ser integrada no processo de pedido de licenciamento ou de autorização de utilização.

A DCR refere-se como um “pré-certificado”, visto que os dados apenas são analisados a nível de projeto, passando a definitiva através da emissão do CE, no qual o perito qualificado verifica os requisitos regulamentados no Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) *in-situ* no final da obra. A emissão dos certificados energéticos serve como comprovativo da correta aplicação da regulamentação térmica em vigor, para um prazo de validade de cerca de 10 anos (SCE, 2006).

No CE encontra-se atribuído a classificação energética do edifício, cuja escala encontra-se distribuída em 7+2 classes (A+, A, B, B-, C, D, E, F e G), sendo que a classe A+ corresponde ao melhor índice de desempenho energético, enquanto a classe G corresponde ao pior índice de desempenho energético.

Em relação aos edifícios novos ou remodelados, ou seja, edifícios com pedido de licença de construção após a entrada em vigor do Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios – SCE, as suas respetivas classes de desempenho energético variam entre o A+ e B-, enquanto os edifícios que já existiam podem verificar qualquer classe (Ferreira, 2010).

A classificação energética dos edifícios habitacionais ou pequenos edifícios de serviços sem sistemas de climatização ou com sistemas de climatização de potência instalada inferior a 25 kW é determinada através da seguinte expressão numérica:

$$R = N_{tc}/N_t \text{ (Equação n}^\circ \text{ 1)}$$

Em que:

$N_{tc}$  – Necessidades globais anuais nominais de energia primária (kgep/m<sup>2</sup>.ano);

$N_t$  – Valor máximo admissível das necessidades globais anuais nominais de energia primária (kgep/m<sup>2</sup>.ano).

Na Tabela n<sup>o</sup> 1 é apresentada a escalada utilizada para a classificação energética dos edifícios referidos:

		Classe energética	R
Edifícios existentes	Edifícios novos	A+	$R \leq 0,25$
		A	$0,25 \leq R \leq 0,50$
		B	$0,50 \leq R \leq 0,75$
		B-	$0,75 \leq R \leq 1,00$
		C	$1,00 \leq R \leq 1,50$
		D	$1,50 \leq R \leq 2,00$
		E	$2,00 \leq R \leq 2,50$
		F	$2,50 \leq R \leq 3,00$
		G	$R \geq 3,00$

Tabela nº 1: Classe energética de edifícios habitacionais em função dos valores limite das respectivas classes

### 2.3 Medidas para a melhoria energética em edifícios de habitação

O paradigma atual da Certificação Energética exige, cada vez mais, um profundo conhecimento na aplicação e execução de práticas construtivas que sejam energeticamente viáveis. Para esse efeito, o projeto técnico de um determinado empreendimento, desde a sua conceção até à sua execução, deve servir como um centro de aproximação que permita abranger todas as entidades intervenientes desse mesmo empreendimento, desde as entidades licenciadoras, o promotor imobiliário, a equipa projetista, o empreiteiro geral, as entidades financiadores, até ao utilizador final (Jardim, 2009).

Nos subcapítulos que se seguem, serão abordados, de uma forma genérica, as principais soluções correntes para a melhoria energética em edifícios habitacionais novos ou já existentes.

### 2.3.1 Soluções construtivas e técnicas para a melhoria energética em edifícios

De forma a dar resposta às exigências impostas, tanto na construção de edifícios novos, como na reabilitação de edifícios já existentes, existe no mercado um conjunto de soluções com vários níveis de exigências com diferentes formas de aplicação e tempos de execução, que contribuem para a redução dos consumos energéticos.

Pode-se resumir as perdas de energia através de duas formas: uso intensivo de instalações (aquecimento e arrefecimento do ar, iluminação, entre outros), em conjunto com um comportamento dissipativo bastante elevado do edifício (inexistência de isolamento térmico, baixa inércia térmica, entre outros). Face às situações referidas, deve-se melhorar a eficiência energética dos edifícios. As principais soluções são adotadas através das seguintes formas (Jardim, 2009):

- **Envolvente do edifício** – Redução do consumo energético do edifício através da proteção da envolvente opaca do edifício (paredes exteriores, pavimentos sobre espaços não aquecidos e coberturas), melhoria dos vãos envidraçados, ventilação controlada e utilização de tecnologias solares passivas;
- **Utilização de tecnologias solares ativas** – Aplicação de energias renováveis, mais concretamente, energia solar para a produção de águas quentes sanitárias (AQS) e, eventualmente, para climatização. Utilização de vidros com melhor desempenho, de caixilharias com classes de permeabilidade ao ar elevadas e uso de proteções adequadas;
- **Sistemas e instalações** – Aplicação e instalação de equipamentos com melhores rendimentos e menores consumos;

- **Fontes energéticas** – Utilização de fontes energéticas disponíveis que sejam menos poluentes.

Não existe uma ordem de prioridades pré-definida para as soluções referidas, visto que esta depende do caso analisado, devendo ser efetuada uma análise benefício/custo, antes desse procedimento.

#### **2.3.1.1 Paredes exteriores**

Recentemente tem havido uma crescente oferta no mercado dos isolamentos térmicos. Esse facto surge como uma forma de resposta às crescentes exigências de utilização de soluções com coeficientes de transmissão térmica baixos.

O isolamento térmico, nas paredes exteriores de um edifício ou fração autónoma, serve para minimizar as trocas de calor entre o seu interior e o seu exterior, reduzindo, desta forma, as necessidades de aquecimento e arrefecimento, para além de diminuir os riscos da ocorrência de condensações e terá influência também na massa a contabilizar para a inércia térmica (Jardim, 2009):

Nesta secção serão abordadas duas formas de aplicação de isolamento térmico em paredes exteriores:

- Isolamento térmico pelo exterior;
- Isolamento térmico pelo interior.

Não é feita referência à situação de aplicação do isolamento térmico na caixa-de-ar, em virtude de ser provavelmente a solução mais usual no sistema construtivo utilizado no nosso país.

A seleção da solução de isolamento térmico a adotar depende sobretudo do tipo de obra a realizar, devendo ser analisado cada caso, procurando enquadrá-la da melhor forma possível, conforme as principais características construtivas e arquitetónicas do edifício em causa, de modo a obter o máximo de benefícios possíveis em relação ao nível de redução dos consumos de energia, do conforto térmico e da qualidade do ambiente interior (Jardim, 2009).

➤ **Isolamento térmico pelo exterior**

De uma forma genérica, os sistemas de isolamento térmico pelo exterior são constituídas por uma camada de isolamento térmico aplicado sobre o suporte e por um revestimento exterior para proteção das solicitações climáticas e mecânicas.

A aplicação de um sistema de isolamento térmico pelo exterior apresenta as seguintes particularidades (Jardim, 2009):

- Em obras de reabilitação, a sua execução é realizada com o mínimo de interferência para os utilizadores dos edifícios;
- A aplicação do isolamento sobre as fachadas não reduz a área útil de habitação;
- Redução das pontes térmicas, resultando na redução de zonas “frias” associadas a falta de conforto e no risco de formação de condensações superficiais. Este último fator é bastante relevante para o caso de fachadas, visto que estas manifestações podem resultar num aumento da ocorrência de pontes térmicas, mais concretamente, nos encontros com a estrutura (vigas, pilares, frentes de laje, entre outros) e na zona de vãos (caixas de estores, padieiras, entre outros);
- Economia de energia, derivada da redução das necessidades de aquecimento e de arrefecimento do ambiente interior;
- Aumento da proteção na alvenaria da parede a agentes atmosféricos (choque térmico, água líquida, radiação solar, entre outros);

- Soluções de acabamento bastante variadas;
- Na intervenção de edifícios classificados como património, a intervenção pelo exterior afigura-se bastante difícil, sendo por vezes impossível de implementar.

Devido à variedade de sistemas de isolamento térmico existentes, a estes é requerido a assessoria das empresas fabricantes e instaladores especializados, de modo a garantir a compatibilidade de todos os produtos integrantes do sistema. Através da Diretiva de Produtos de Construção (DPC) já se começam a emitir normas e exigências próprias, que são essenciais para os isolamentos térmicos e sistemas construtivos (Jardim, 2009).

Os sistemas de isolamento térmico de fachadas pelo exterior podem ser divididos em três grandes grupos (Jardim, 2009):

1. Revestimentos descontínuos fixados ao suporte a partir de uma estrutura intermédia – Fachadas ventiladas, com aplicação de um isolante térmico no espaço de ar;
2. Elementos pré-fabricados constituídos por um isolamento e um paramento, fixados diretamente sobre o suporte – “*Vêture*”;
3. Sistemas compósitos – Rebocos armados diretamente aplicados sobre o isolamento térmico – ETICS (“*External Thermal Insulation Composite Systems with rendering*”).

- **Fachadas ventiladas**

As fachadas ventiladas consistem num sistema composto por uma camada de isolamento térmico (lã mineral), aplicado sobre a superfície exterior do suporte, fixada à parede através de uma estrutura secundária, com a separação de ambos os materiais a ser feita por uma caixa-de-ar. O revestimento exterior pode ser contínuo ou descontínuo, com o isolamento térmico a ser aplicado entre a parede e o revestimento, de modo a ficar protegido da ação da chuva, deixando um espaço de ar em que este será circulado por convecção (Jardim, 2009).

A Figura nº 1 representa um esquema da constituição de um sistema de fachadas ventiladas.

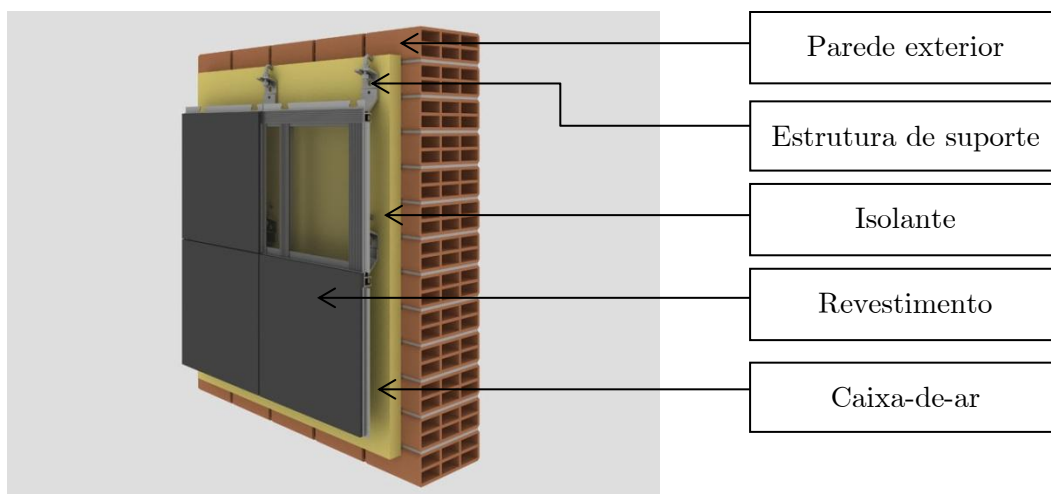


Figura nº 1: Esquematização de um sistema de fachada ventilada (Fonte: <http://www.matimex.com.pt/>)

Na Figura nº 2 pode ser visualizada a montagem em obra de um sistema de fachadas ventiladas.

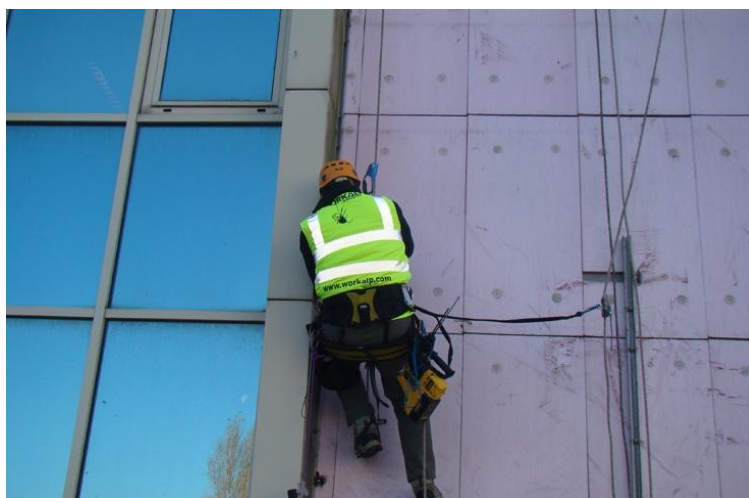


Figura nº 2: Montagem em obra de um sistema de fachada ventilada (Fonte: <http://workalp.pt/>)

- **Vêture**

Os sistemas de isolamento térmico por componentes descontínuos pré-fabricados (“*Vêture*”) são constituídos por elementos previamente produzidos em fábrica e pelo material isolante em placa revestido exteriormente por uma película de composição metálica, mineral ou orgânica. Os elementos referidos já chegam à obra prontos a aplicar, com a sua respetiva fixação a ser realizada diretamente aos suportes através de métodos mecânicos. Na Figura nº 3 pode ser visualizada uma esquematização deste sistema.

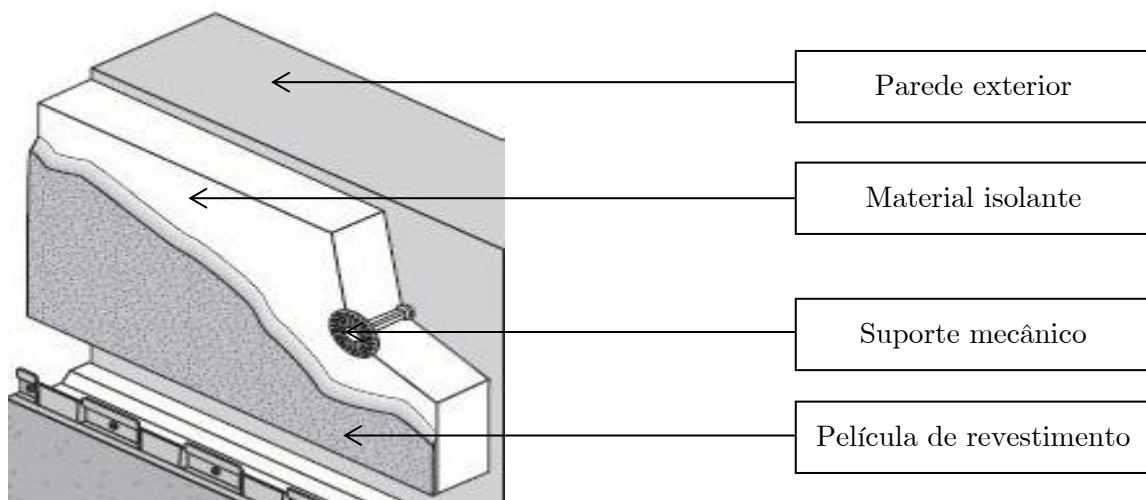


Figura nº 3: Esquematização de um sistema “*Vêture*” (Fonte: <http://www.batipresse.com/>)

- **Sistema ETICS**

O sistema ETICS (sigla para “*External Thermal Insulation Composite Systems with rendering*”) refere-se a sistemas compostos por isolamento térmico pré-fabricado aplicado sobre um suporte, revestido por um reboco armado aplicado em uma ou várias camadas, cujo propósito é assegurar que o isolamento se encontra impermeabilizado e garantir a resistência contra choques. No entanto, a sua função principal é a diminuição das transferências de calor entre o ambiente interior e o exterior.

Geralmente, o isolante térmico utilizado para sistemas ETICS é feito em placas de poliestireno expandido moldado de alta densidade (EPS), apesar de poderem ser utilizados outros tipos de isolamento térmico, tais como a lã mineral e a cortiça. O isolante é revestido com um reboco delgado, aplicado por várias camadas, armado com uma ou várias redes de fibra de vidro. Como acabamento final utiliza-se um revestimento plástico contínuo (RPE).

O isolante térmico é aplicado sobre o suporte exclusivamente por colagem ou através de uma manta adesiva. O revestimento é aplicado em duas demãos, entre as quais é aplicada a rede de fibra de vidro, cuja função é reduzir a fissuração e melhorar a resistência aos choques, sendo posteriormente aplicado o acabamento final (Jardim, 2009).

Na Figura nº 4 pode ser consultada uma representação esquemática do sistema ETICS.

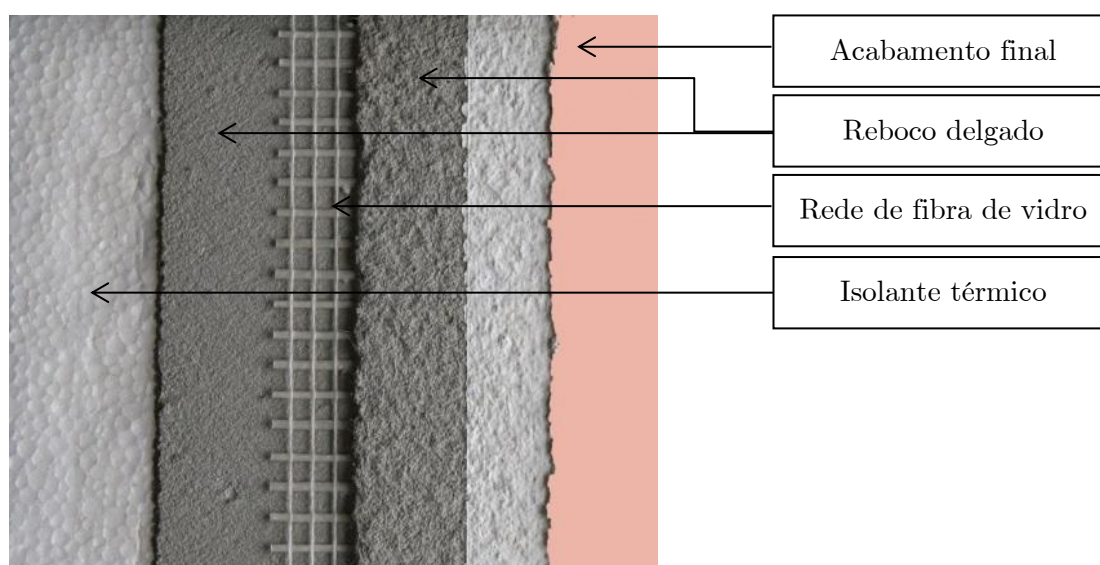


Figura nº 4: Esquematização de um sistema ETICS (Fonte: <http://www.tintas-lacca.com/>)

Em obras de reabilitação é necessário tomar especial atenção às disposições construtivas da parede exterior, mais concretamente aos encontros com a cobertura, as varandas, os vãos exteriores e qualquer heterogeneidade que a fachada contenha. O sistema ETICS encontra-se bastante sujeito a ser danificado, principalmente na zona mais baixa do

edifício, devendo, por isso mesmo, ser protegido com um lambrim de material mais resistente às ações mecânicas a que possa ser solicitado (Jardim, 2009).

Na Figura nº 5 é possível visualizar uma esquematização de um sistema ETICS de revestimento espesso:

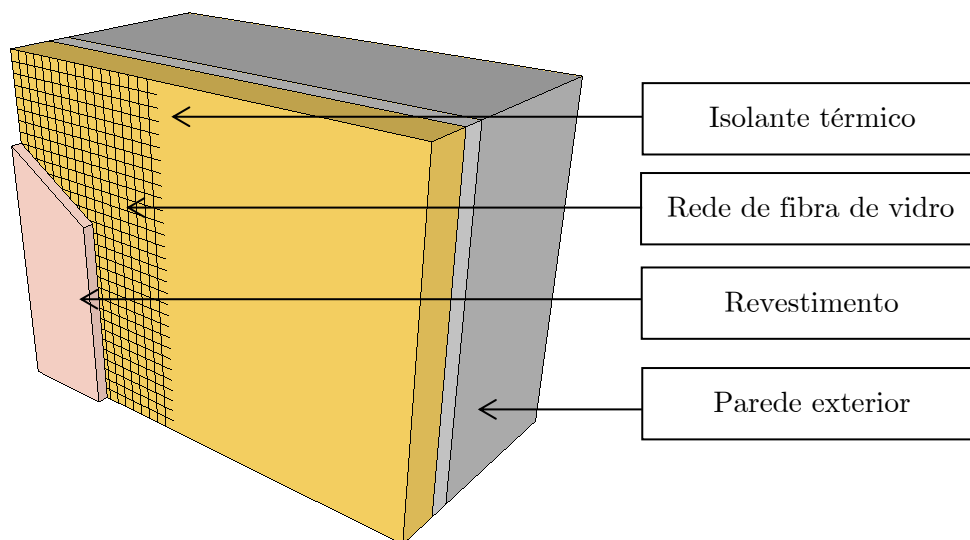


Figura nº 5: Representação esquemática de um sistema ETICS de revestimento espesso

#### ➤ Isolamento térmico pelo interior

A aplicação de isolamento térmico pelo interior de uma fachada adequa-se mais em obras de reabilitação, nas quais não sejam contempladas alterações no aspeto exterior do edifício ou quando a perda de espaço útil é compensada pelas poupanças energéticas e benefícios ambientais. Para economizar o aluguer de andaimes, a aplicação de isolamento térmico pelo interior é também muitas vezes considerada.

No entanto, a sua aplicação é condicionada em função dos encontros com os vãos (janelas e portas) e a resolução das pontes térmicas.

A solução sistema de isolamento térmico interior mais corrente contempla a aplicação de painéis isolantes pré-fabricados fixados contra a parede exterior. Em alternativa, pode-se fazer a execução de uma contra-fachada sobre a parede exterior (Jardim, 2009).

Através da Figura nº 6 pode ser visualizada uma representação esquemática deste método:

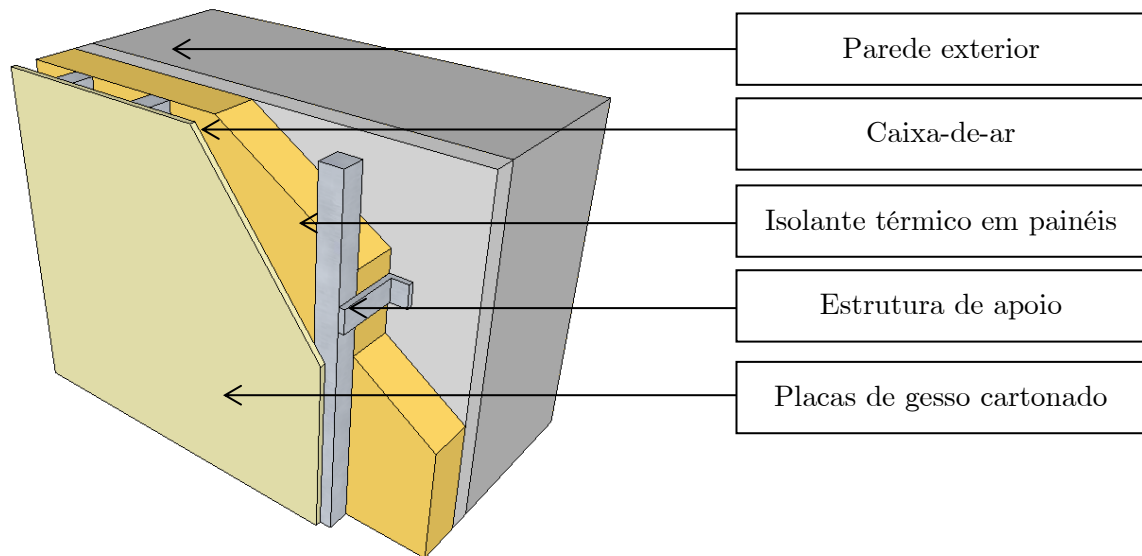


Figura nº 6: Sistema de isolamento térmico interior através de painéis pré-fabricados com utilização de estrutura de apoio

O método contra-fachada no lado interior da parede é realizado através da aplicação de um isolante térmico entre a parede exterior e a contra-fachada. Este método consiste na execução de um pano de alvenaria leve (contra-fachada de alvenaria) ou num forro de gesso cartonado, com a respetiva estrutura de apoio fixada à parede, em que o isolamento aplicado fica desligado do gesso cartonado (contra-fachada de gesso cartonado) (Jardim, 2009).

Através da Figura nº 7 pode ser visualizada uma representação esquemática deste método:

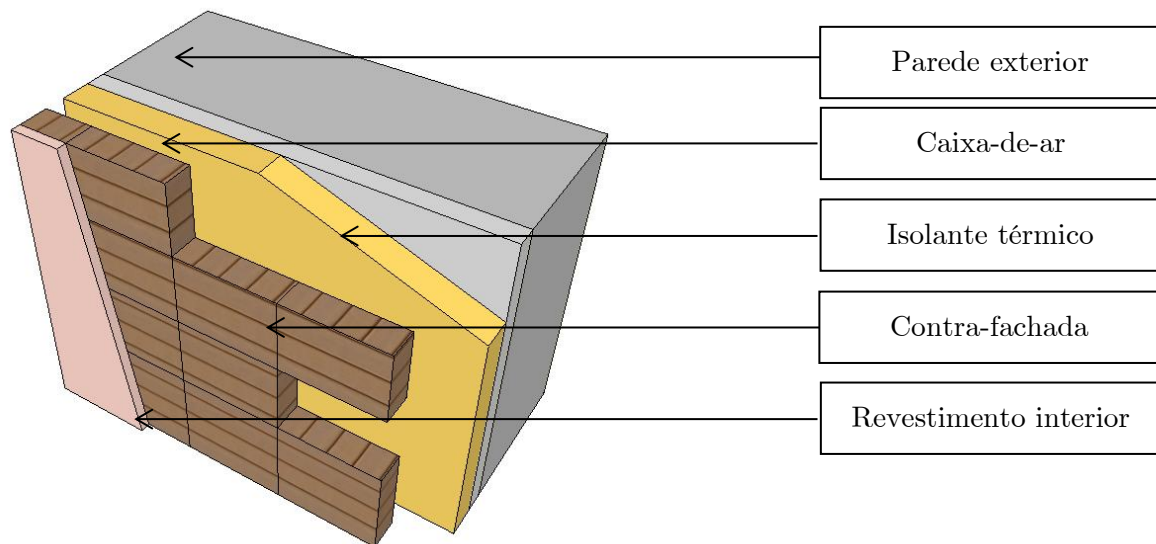


Figura nº 7: Sistema de isolamento térmico interior através de contra-fachada

### 2.3.1.2 Pavimentos

A nível térmico os pavimentos podem ser melhorados nos seguintes locais:

- Espaços exteriores;
- Espaços interiores não aquecidos, tais como garagens, arrecadações, armazéns, varandas ou marquises fechadas;
- Espaços não aquecidos e não ventilados, tais como caixas-de-ar sobre o terreno;
- Pisos térreos.

A escolha da solução para os pavimentos não deve ser feita apenas com o critério da melhoria do seu desempenho térmico para níveis regulamentares. Essa solução deve ser escolhida de modo a adequar-se também à zona das vigas.

O contacto entre o pavimento e um espaço interior não aquecido pode promover ganhos térmicos, apesar de não dispensar a necessidade da aplicação de isolamento térmico. A aplicação de isolamento térmico em pavimento pode ser realizada de duas formas, cuja distinção se relaciona com a posição do isolante térmico em relação à laje de pavimento:

pela face inferior (esquemática na Figura nº 8) e pela face superior (esquemática na Figura nº 9).

De entre estas soluções a mais recomendada é a aplicação de soluções de isolamento térmico pela face inferior da laje de pavimento, quando o espaço adjacente a esta esteja acessível, por ser mais eficiente do ponto de vista térmico, de aplicação mais fácil e rápida e de abranger menores custos. Deve ser verificado se existe alguma condicionante em relação à redução do pé-direito do espaço adjacente. A aplicação de isolamento pela face superior do pavimento é a menos recomendada, devido ao facto de ser menos eficiente energeticamente e de também reduzir o pé-direito do espaço habitável (Jardim, 2009).

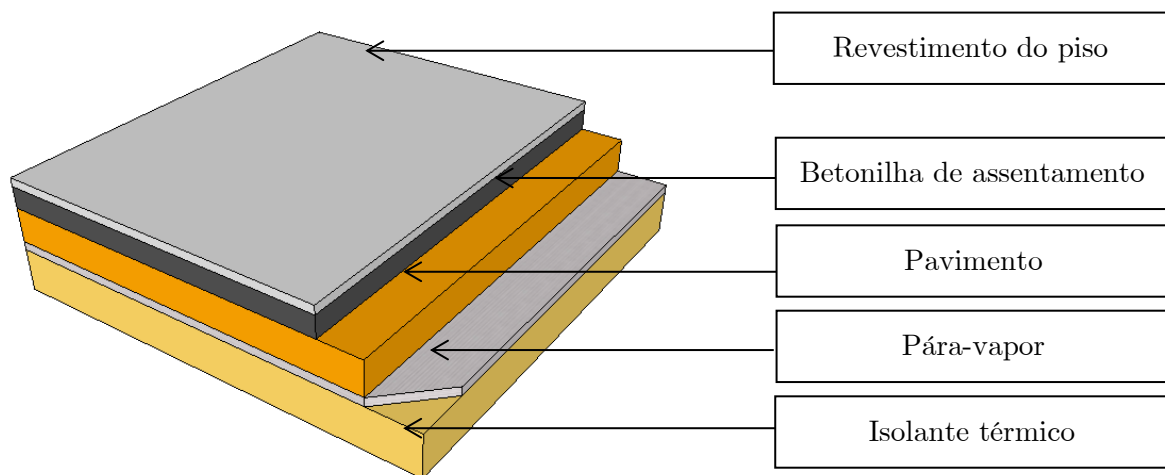


Figura nº 8: Sistema de isolamento térmico em pavimentos exteriores aplicado pela face inferior da laje de pavimento

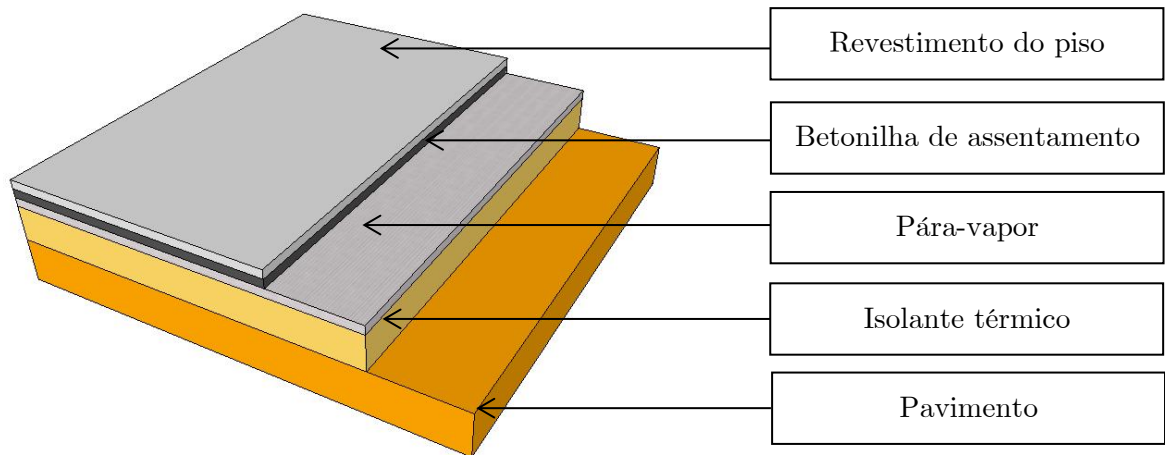


Figura nº 9: Sistema de isolamento térmico em pavimentos exteriores aplicado pela face superior da laje de pavimento

### 2.3.1.3 Coberturas

A cobertura é a parte dos edifícios que se encontra sujeita a maiores variações térmicas. Por esse motivo é considerada como um dos elementos da envolvente que mais condicionam o desempenho térmico dos edifícios. No Inverno é necessário evitar as fugas de calor, enquanto no Verão é necessário evitar o sobreaquecimento das coberturas. Deste modo, o isolamento térmico de uma cobertura é considerado como uma intervenção de eficiência energética prioritária, devido às vantagens imediatas a nível da diminuição das necessidades energéticas e por ser uma medida simples e menos dispendiosa. As coberturas podem ser inclinadas ou horizontais em terraço (Jardim, 2009).

➤ **Coberturas inclinadas**

O isolamento térmico de coberturas inclinadas pode ser aplicado de quatro formas distintas, caracterizadas pela posição do isolante térmico:

- Isolamento aplicado na face superior da esteira do teto;
- Isolamento aplicado na face inferior da esteira do teto;
- Isolamento aplicado nas vertentes da cobertura, em posição superior;
- Isolamento aplicado nas vertentes da cobertura, em posição inferior.

Na Figura nº 10 é possível visualizar-se uma esquematização de um sistema de isolamento térmico aplicado na face superior da esteira horizontal do teto.

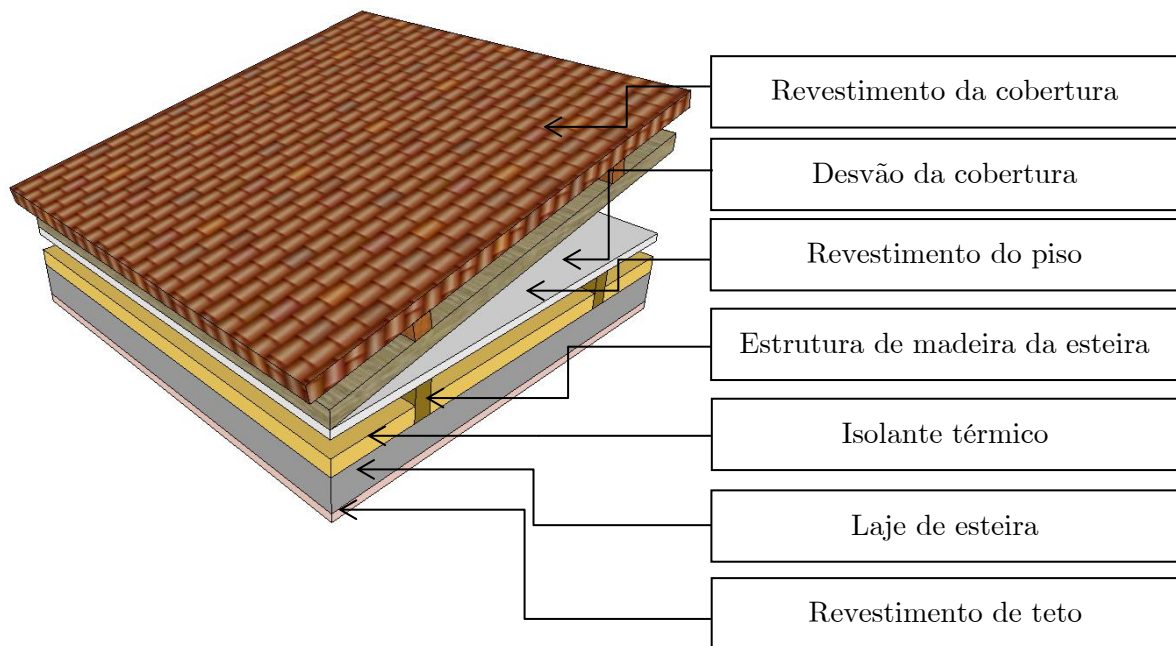


Figura nº 10: Esquematização de um sistema de isolamento térmico aplicado na face superior da esteira horizontal do teto

A aplicação do isolamento térmico na face inferior da esteira horizontal, em relação à aplicação pela face superior, apresenta determinadas desvantagens, tais como, a inexistência de proteção da estrutura contra as variações térmicas e um risco mais elevado na formação de condensações internas.

As soluções de aplicação do isolante térmico nas vertentes da cobertura são utilizadas apenas para o caso do desvão ser habitável. Neste caso, quando o isolante é aplicado imediatamente sob o revestimento da cobertura, é necessário prevenir a infiltração da água da chuva através das juntas entre telhas, e da aplicação de uma membrana pára-vapor na parte superior do isolante, que deve impedir a passagem da água no estado líquido, mas que não provoque condensações internas (Jardim, 2009).

Na Figura nº 11 é possível visualizar-se uma esquematização de um sistema de isolamento térmico aplicado nas vertentes da cobertura.

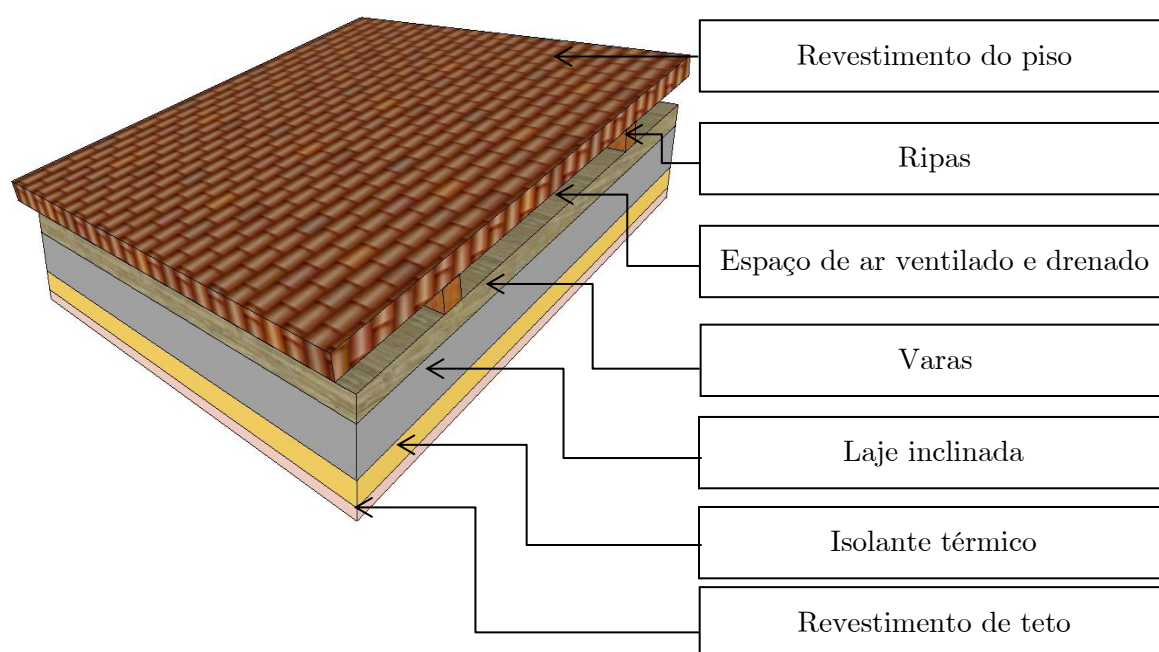


Figura nº 11: Esquemática de um sistema de isolamento térmico aplicado nas vertentes da cobertura

### ➤ Coberturas horizontais

O isolamento térmico nas coberturas horizontais em terraço é, geralmente, aplicado sobre o lado exterior da laje de cobertura.

A aplicação do isolante térmico no lado exterior da laje de cobertura justifica-se pelas vantagens que confere, visto que permite manter uma cobertura já existente (caso esteja em bom estado) e permite aumentar a vida útil da camada de impermeabilização, protegendo-a de amplitudes térmicas significativas e, eventualmente, da ação direta do Sol e das radiações ultravioleta. A sua aplicação deve ser executada sobre uma camada de dessolidarização, a qual é constituída por uma manta geotêxtil. Para isolante térmico utiliza-se, geralmente, placas de poliestireno expandido extrudido (XPS), as quais necessitam de ser protegidas superiormente por uma proteção pesada, de modo a impedir que estas se desloquem por efeito da ação do vento e a protegê-las da incidência direta da radiação solar (Jardim, 2009).

Na Figura nº 12 é possível visualizar uma esquematização de um sistema de isolamento térmico de coberturas horizontais em terraço, enquanto na Figura nº 13 é possível visualizar uma esquematização de um sistema de reforço térmico de coberturas horizontais em terraço.

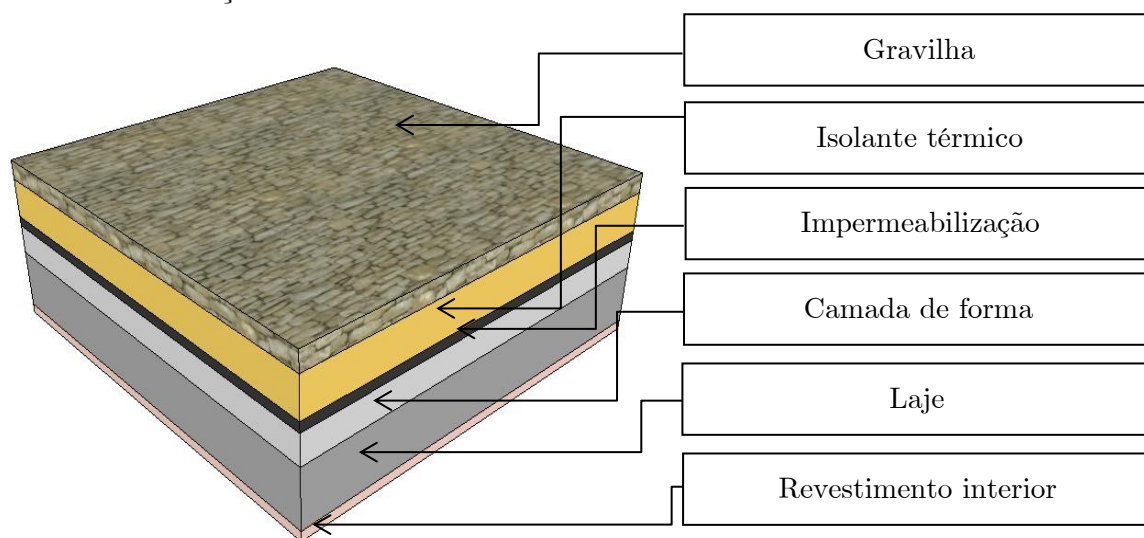


Figura nº 12: Esquematização de um sistema de isolamento térmico aplicado sobre uma cobertura horizontal em terraço

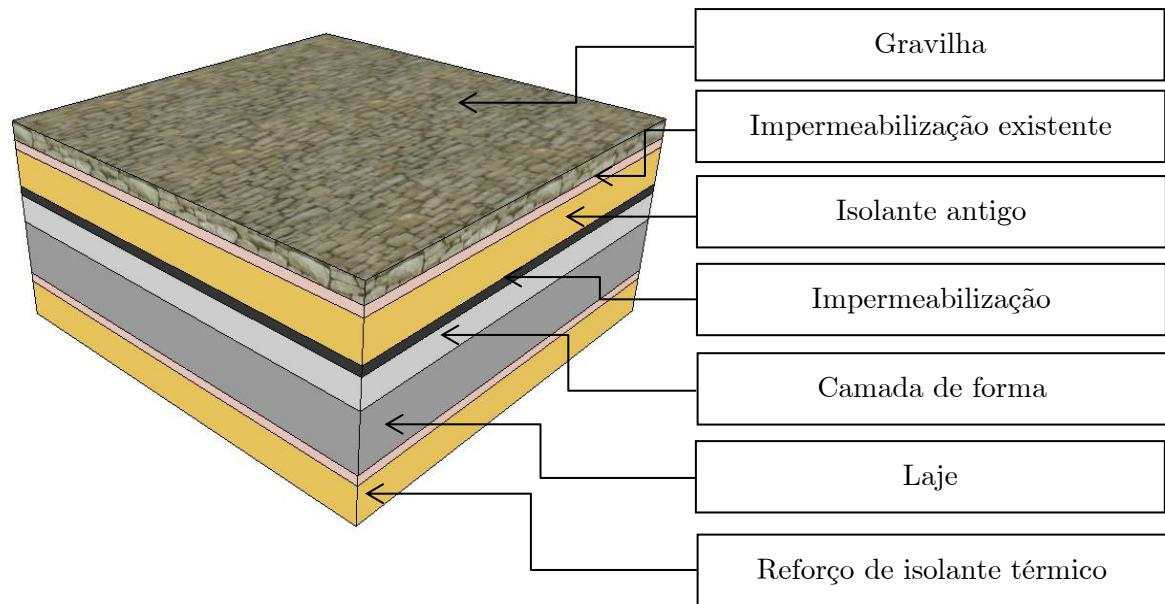


Figura nº 13: Esquemática de um sistema reforço térmico em coberturas horizontais em terraço

#### 2.3.1.4 Vãos envidraçados

Os vãos envidraçados têm um peso significativo no balanço energético dos edifícios, com as respetivas perdas térmicas, nos edifícios de habitação, a rondarem entre os 35% e 40% na estação fria. Para esse efeito existe um determinado conjunto de medidas que podem ser aplicadas, sendo estas (Jardim, 2009):

- O controlo das infiltrações de ar não desejadas através das juntas da caixilharia, de modo a reduzir as perdas de calor no interior e os problemas de desconforto devidos à permeabilidade da envolvente, contribuindo, desta maneira, para a melhoria do desempenho da caixilharia;
- O reforço da proteção contra o excesso de radiação solar pelos envidraçados durante a estação quente, de modo a controlar os ganhos térmicos através da limitação da entrada de radiação solar pelos dispositivos de proteção. Com esta medida também é possível minimizar o efeito das pontes térmicas que se estabelecem através dos aros e dos próprios envidraçados, resultando na redução das trocas de calor inerentes às amplitudes térmicas entre o interior e o exterior.

Para a aplicação destas medidas devem ser adotadas soluções que sejam compatíveis com as necessidades e com o grau de eficiência desejado.

No caso de obras de reabilitação, é necessário verificar se o nível de degradação da caixilharia se encontra num ponto em que o seu reaproveitamento seja viável, do ponto vista construtivo e económico. Deve ser tomada em consideração que a substituição integral de uma caixilharia, no contexto de reabilitação, é sempre uma solução dispendiosa.

Deste modo, em obras de reabilitação é possível optar pelas seguintes medidas de melhoria energética:

- Utilização de envidraçados com elevado desempenho térmico, mais concretamente, vidros duplos com isolamento térmico reforçado através do recobrimento com uma camada de baixa emissividade;
- Criação de janelas duplas, através da incorporação de um segundo caixilho (Figura nº 14). Esta solução melhora as perdas térmicas de Inverno e os ganhos solares de Verão. No entanto, tem a desvantagem de piorar a transmissividade luminosa. É principalmente aconselhável para climas muito frios ou muito quentes.



Figura nº 14: Exemplo de janela dupla (Fonte: <http://www.aki.pt/>)

- Substituição dos elementos existentes por outros com um melhor desempenho térmico, mais concretamente, a utilização de caixilharia com corte térmico e vidro duplo;
- Substituição de vidros simples por vidro duplos. É necessário verificar se a caixilharia é compatível com esta solução;
- Substituição do material vedante das juntas da caixilharia, das juntas móveis, ou das juntas vidro/caixilho. Trata-se de uma solução de baixo custo e bastante eficaz na redução das infiltrações de ar não controladas.

A existência de caixas de estore é também um fator a ser tomado em conta, visto que estas funcionam como pontes térmicas planas, que necessitam de ser verificadas à semelhança das vigas e pilares. Em construções novas ou de reabilitação normalmente aplicam-se caixas de estores pré-fabricadas em betão ou em material cerâmico, devidamente isoladas, ou caixas compostas apenas por material isolante. Para reabilitação de caixas já existentes pode ser aplicado no seu interior um revestimento em poliestireno expandido moldado (EPS) ou em lã mineral.

Outro fator que merece especial atenção é o controlo dos ganhos solares durante a estação de arrefecimento, mais concretamente, em regiões com estações quentes longas, o que acontece na generalidade do território continental português. É essencial realizar este controlo, de forma a minimizar o sobreaquecimento dos espaços interiores e a reduzir ou eliminar a necessidade de dispositivos mecânicos de arrefecimento. Este controlo pode ser realizado das seguintes formas (Jardim, 2009):

- ❖ Gestão da área de envidraçados;
- ❖ Aplicação de envidraçados de baixa emissividade;
- ❖ Utilização de dispositivos de sombreamento.

#### **2.3.1.5 Tecnologias solares ativas**

De acordo com a diretiva comunitária transposta pelo Decreto-Lei 80/2006, é obrigatório a contabilidade de todos os consumos energéticos importantes, entre os quais as necessidades nominais de energia útil para produção de águas quentes sanitárias (AQS). O objetivo desta legislação é o favorecimento da utilização de energias renováveis, entre as quais a energia solar, sendo esta considerada a forma de energia renovável com maior disponibilidade para a sua respetiva aplicação no consumo doméstico. O sistema de produção de AQS também pode ser utilizado no aquecimento central, sendo que neste caso estima-se que a taxa de cobertura das necessidades de aquecimento ronde os 40%. Na Figura nº 15 está representada a esquematização de um sistema solar térmico convencional.

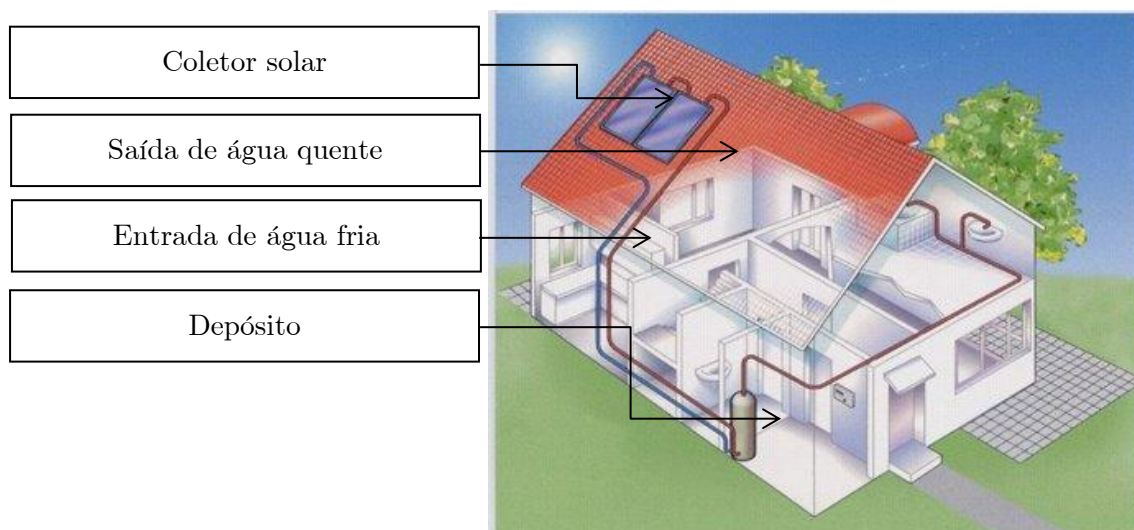


Figura nº 15: Esquemática de um sistema solar térmico convencional (Fonte: <http://aveirenovaveis.blogspot.pt/p/solar-termico.html>)

Caso a área de cobertura exposta à radiação solar seja insuficiente para a aplicação da regra de um metro quadrado por ocupante convencional previsto, apenas pode ser utilizado até 50% da área de telhado disponível (RCCTE, Capítulo III, Artigo 7º, Secção 2). Este caso é notório em edifícios de apartamentos, devido à dificuldade de integração de um elevado número de painéis solares na sua cobertura.

Para o cálculo do contributo da energia solar térmica ( $E_{\text{solar}}$ ) na determinação das necessidades de energia para preparação de AQS ( $N_{\text{ac}}$ ), é necessário, obrigatoriamente, recorrer-se à utilização da ferramenta informática Solterm<sup>®</sup> do Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação (INETI), que será abordado mais profundamente no subcapítulo 4.2.1. Atendendo ao facto de a disponibilidade de energia solar em Portugal ser bastante elevada, o número anual médio de horas de Sol em Portugal é de aproximadamente 2500 horas, não havendo variações significativas entre o Norte e o Sul do país (Jardim, 2009).

### 2.3.1.6 Sistemas e instalações

Uma habitação é composta por vários tipos de equipamentos alimentados por energia elétrica, cujo consumo depende da potência e do tempo de utilização. No setor doméstico os equipamentos que consomem mais energia são, geralmente, os que têm um maior tempo de utilização, tais como os aparelhos de refrigeração (frigoríficos e arcas congeladoras). No Gráfico nº 8 pode ser visualizado a distribuição do consumo de energia no setor doméstico por tipo de uso:

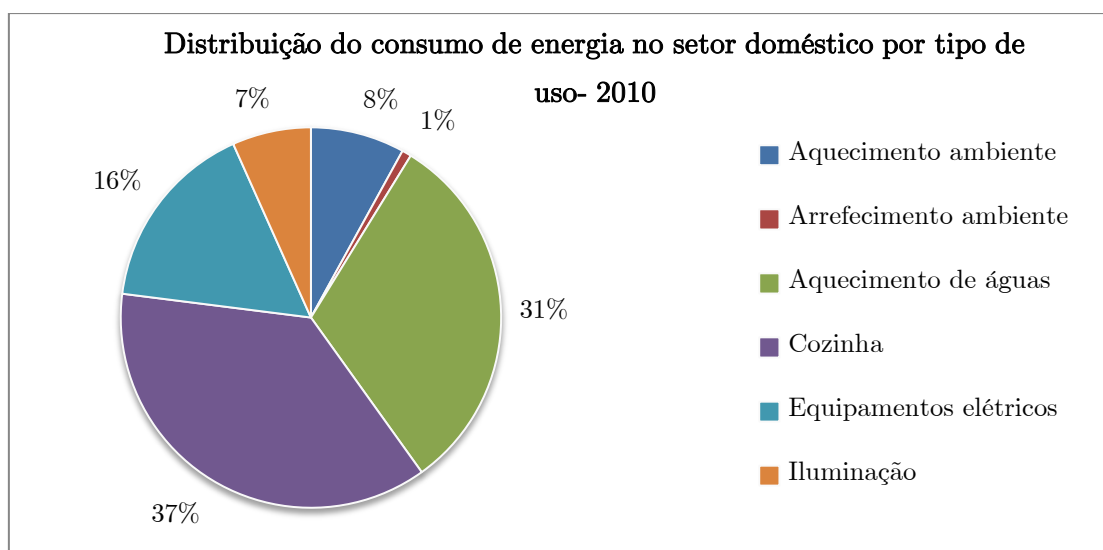


Gráfico nº 8: Distribuição do consumo de energia no setor doméstico por tipo de uso (Fonte: DGEG)

### 2.3.1.7 Eficiência dos sistemas de climatização

A seleção de sistemas de climatização a instalar deverá ter como critério a intermitência da ocupação do espaço a utilizar e respetivas necessidades energéticas. Utilizando este critério, devem ser selecionados equipamentos com um tempo de resposta baixo para edifícios parcialmente ocupados durante o dia, tais como equipamentos de convecção forçada, procedendo-se à utilização de sistemas de maior inércia térmica, tais como pisos radiantes, que são mais adequados para edifícios de ocupação permanente. Em obras de reabilitação de edifícios sem sistemas de climatização recomenda-se a

instalação de sistemas de climatização fixos, tal como aquecimento central com distribuição de água quente.

#### **2.4 Principais dificuldades na melhoria energética de edifícios**

Os aspetos técnicos para a redução do consumo energético de edifícios são indispensáveis, mas não são suficientes para esse efeito. Existem determinadas barreiras e dificuldades que se podem encontrar no processo de melhoria da eficiência energética de edifícios, atendendo aos custos e benefícios que lhe estão associados, de modo a que os utilizadores finais possam tomar uma decisão ponderada e consciente, do ponto vista económico, social e ambiental.

A Comunidade Europeia defende como prioridade o comportamento dos consumidores de energia em relação à eficiência e poupança energética dos edifícios. Deste modo, é imperativo que os proprietários e arrendatários de edifícios já existentes entendam estas medidas comunitárias como uma necessidade, e não como nova taxa imposta sobre a habitação. É necessário estimular a participação dos utilizadores nestas questões, de forma que as suas intransigências legais, educativas e de alteração de hábitos sejam superadas, visto que estas barreiras dificultam a aplicação de medidas de melhoria energética. Estas barreiras e dificuldades são de natureza diversa, podendo ser agrupadas em três níveis (Jardim, 2009):

- Fatores comportamentais: Percetível na mentalidade de quem projeta e constrói edifícios e compradores pouco sensibilizados com a questão energética;
- Fatores económicos: Relacionados com o preconceito de que os edifícios eficientes são edifícios de luxo, de elevados custos de investimento, associados ao problema do regime de propriedade;

- Fatores técnico-constructivos: Provenientes da diversidade construtiva em Portugal, que condicionam a aplicação de determinadas soluções construtivas, devido ao conhecimento insuficiente do saber fazer e parcerias empresariais insuficientes.

De uma forma resumida, as dificuldades que se fazem sentir na aplicação de projetos de edifícios energeticamente eficientes provêm sobretudo da falta de conhecimento de todos os intervenientes e da viabilidade económica, social e cultural de um projeto desta natureza.

## 2.5 Estágio Curricular

### 2.5.1 Concexec – Arquitetura, Lda.

A entidade acolhedora Concexec – Arquitetura, Lda. é composta por profissionais com experiência comprovada nas diferentes vertentes da engenharia, arquitetura e consultadoria, dedicando-se à prestação de serviços e apoio técnico, à indústria, empresas de construção civil, obras públicas e clientes particulares.

Foi fundada a 27 de Outubro de 1997 pelo arquiteto Jaime Alberto Fernandes da Silva e em 2003 entra para a empresa, como sócio gerente, o engenheiro Celestino Manuel Martins Pereira. A entidade acolhedora tem sede na Rua Dr. Ernesto Soares dos Reis, 208 – 1º Sala S em Oliveira de Azeméis. Na Figura nº 16 está representada o logótipo da empresa:



Figura nº 16: Logótipo da Concexec – Arquitetura, Lda

A equipa é composta por colaboradores nas diferentes áreas do projeto e direção/gestão de obras. Destaca-se pelo seu dinamismo, organização e originalidade, sempre focada no objetivo de a obra ser contemplada, apreciada e lembrada. Esta equipa é especializada na conceção e execução de projetos de arquitetura, engenharia (estruturas, abastecimento de água, saneamento e águas pluviais, térmicos e certificação energética, acústicos, segurança contra incêndios e infraestruturas de urbanizações), *design*, urbanismo, direção e fiscalização de obra.

O portfólio abrange projetos de habitações, edifícios culturais, educacionais, desportivos, industriais, no setor público e privado.

Nas Figuras nº 17 e nº 18 é possível ver imagens referentes às instalações da entidade acolhedora. As Figuras nº 19 e nº 20 representam parte do portfólio da Concexec.



Figura nº 17: Escritório da Concexec – Arquitetura, Lda.



Figura nº 18: *Hall* de entrada da Concexec – Arquitetura, Lda.



Figura nº 19: Edifício de Administração e Formação da TUL – Tecnologia de Maquinação, Lda.



Figura nº 20: Complexo industrial da Fabrilcar – Componentes para Automóveis, Lda.

### 2.5.2 Ferramentas para o cálculo do desempenho térmico em edifícios

Para a realização dos projetos de comportamento térmico, realizados durante o Estágio Curricular na entidade acolhedora, recorreu-se à utilização de determinadas ferramentas de cálculo essenciais para esse efeito:

- Folhas de cálculo de aplicação do RCCTE, que podem ser consultadas nos Anexos I e III para as moradias da Rua do Marechal Saldanha e de Quintã – Espargo, respetivamente;
- Ferramenta informática SolTerm<sup>®</sup> 5.0, da autoria do Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação (INETI), cujas listagens podem ser consultadas nos Anexos II e IV para as moradias da Rua do Marechal Saldanha e de Quintã – Espargo, respetivamente;

Para além das ferramentas referidas a consulta e utilização do RCCTE é fundamental na realização dos cálculos em projetos térmicos, revelando-se indispensável na utilização e preenchimento de qualquer folha de cálculo.

#### 2.5.2.1 SolTerm® 5.0.2

##### ➤ Introdução

O SolTerm® 5.0 é um programa de análise de desempenho de sistemas solares térmicos e fotovoltaicos, adaptado às condições climáticas e técnicas de Portugal (Aguiar e Carvalho, 2007).

A análise de desempenho de sistemas solares, baseia-se em simulações energéticas sob condições quasi-estacionárias, ou seja, são simulados balanços energéticos no sistema para intervalos de 10 minutos, durante os quais considera as condições ambientais e do próprio sistema em regime permanente.

De forma que o programa possa simular balanços energéticos, deve proceder-se à seguinte introdução de dados (Aguiar e Carvalho, 2007):

- Configuração / dimensionamento do sistema;
- Estratégias de controlo e operação;
- Radiação solar horizontal e temperatura ambiente em base horária;
- Obstruções e sombreamentos;
- Características técnicas dos componentes;
- Consumo ou “carga” do sistema em base horária média mensal.

As informações referidas podem ser armazenadas no banco de dados do programa, no entanto, o próprio *software* já possui uma base de dados rica, em que se destacam os dados meteorológicos por concelho de Portugal (denominados de ano meteorológico de referência por concelho) e informação relativa aos coletores e *kits* de tecnologia solar térmica, ensaiados e certificados perante as exigências regulamentares do RCCTE.

Além de dimensionar sistemas solares térmicos e fornecer o valor do  $E_{\text{solar}}$  (RCCTE, Anexo VI, Secção 4), o SolTerm<sup>®</sup> também permite a quantificação da energia através da utilização de sistemas fotovoltaicos ( $E_{\text{ren}}$ ), recorrendo à metodologia de cálculo do Editor RCCTE.

➤ **Metodologia de cálculo do SolTerm<sup>®</sup> 5.0**

Com a ferramenta informática SolTerm<sup>®</sup> 5.0, tal como já foi referido, é possível calcular a contribuição dos sistemas solares térmicos na preparação de AQS, através da determinação do parâmetro  $E_{\text{solar}}$ . Este parâmetro é calculado tendo em atenção os seguintes aspetos:

- i. Localização do edifício – concelho e indicação dos sombreamentos existentes nos coletores solares (Figura nº 21);

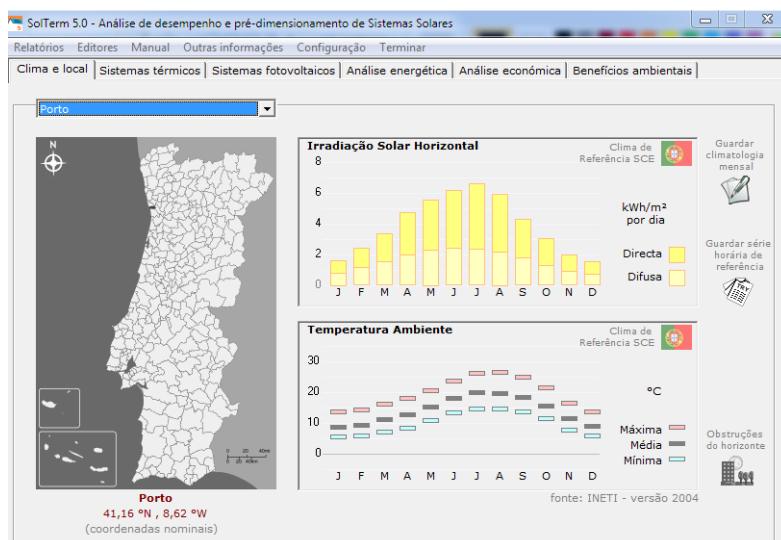


Figura nº 21: Exemplo da interface “Clima e local” da ferramenta informática SolTerm<sup>®</sup> 5.0

ii. Configuração do sistema solar térmico

A configuração básica de um sistema solar térmico consiste na utilização de um circuito primário e de um circuito secundário.

O circuito primário é constituído por um conjunto de coletores solares ligados a um permutador e a um depósito.

O circuito secundário inclui a tomada de água quente do depósito para o meio de utilização e o abastecimento do depósito. Normalmente é constituído por um sistema energético de apoio, que serve de complemento à energia produzida pelo circuito primário, de modo a atingir as cargas térmicas necessárias para o funcionamento do sistema solar térmico, tal como pode ser visualizado na Figura nº22.

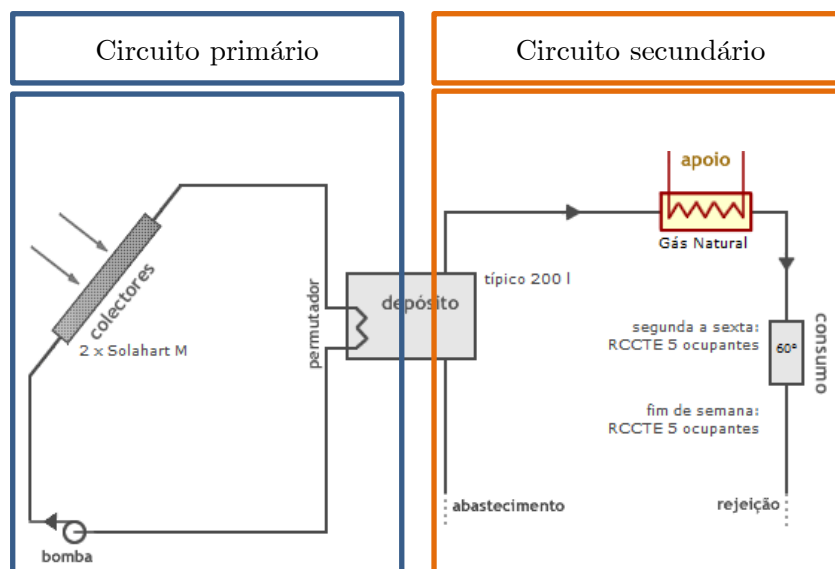


Figura nº 22: Configuração básica de um sistema solar térmico com depósito

Entre a tipologia de sistemas solares térmicos disponíveis no mercado, existem sistemas do tipo "kit", nos quais os componentes referentes ao coletor, permutador e depósito já se integram entre si (Figura nº23). Os coletores também podem ser associados em série ou em paralelo.

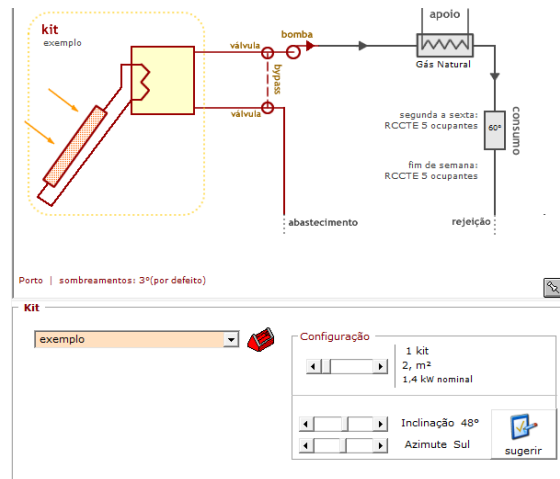


Figura n° 23: Configuração básica de um sistema solar térmico do tipo “kit” doméstico

A nível de informações, o programa necessita que sejam especificado qual o tipo de coletor térmico a utilizar, mais concretamente o seu modelo, número de coletores do painel e orientação. Através da interface “Configuração” é possível definir os parâmetros de orientação do sistema (“Inclinação” e “Azimute”), bastante importantes, visto que fornecem a informação em termos de inclinação em relação à horizontal, enquanto o azimute é igual a 0° na direção Sul, movendo-se na direção positiva no sentido horário a partir de Sul.

Através da seleção da opção “Sugerir”, o programa determina qual a melhor orientação em termos de inclinação e azimute que o painel solar deve seguir. Para esse efeito, percorre uma gama de orientações, simulando a quantidade de radiação anual média incidente (em kWh/m<sup>2</sup>) e apresentando os resultados obtidos, tal como pode ser visualizado na Figura n°24.

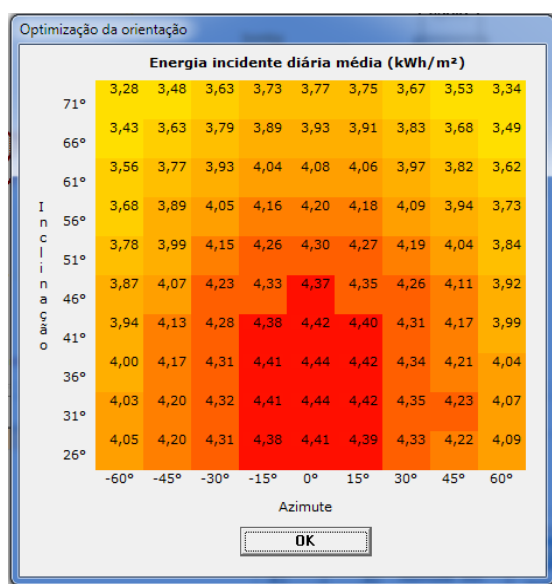


Figura nº 24: Energia incidente diária média em função das orientações do painel solar

Através da análise da Figura nº24, pode-se verificar que o programa atribui zonas de cor em função da quantidade de radiação anual média incidente. As zonas a vermelho significam valores mais elevados da radiação anual média incidente em função das inclinações e azimutes simuladas, devendo estes valores serem considerados no momento da montagem do sistema solar térmico. No entanto, esta otimização da orientação/inclinação não considera os sombreamentos existentes e introduzidos no 1º “menu”.

- iii. Aplicação dos dados padrão fornecidos pelo RCCTE, a nível do consumo de AQS em função da tipologia ou especificidades da fração autónoma em estudo;

De acordo com o Anexo VI do RCCTE, o valor regulamentar para o consumo diário de água ( $M_{AQS}$ ) é de cerca de 40 litros por ocupante de fração autónoma para edifícios residenciais, sendo indicado o valor de referência de 100 litros para FA de serviços, admitindo-se que o projetista possa considerar outro valor, desde que devidamente justificado.

O parâmetro de gradiente de temperatura ( $\Delta T$ ) toma como valor de referência 45°C, pois o ocupante deverá ter as AQS a 60°C e na rede pública, em média, a temperatura da água ao longo do ano é de 15°C.

iv. Análise do desempenho energético do sistema solar térmico.

O desempenho energético do sistema é calculado através de simulações executadas pelo programa SolTerm® 5.0, tendo como base o passo temporal de dez minutos, numa escala anual de funcionamento do sistema.

Para efeitos de simplificação da leitura dos dados simulados, a opção “Análise energética” apresenta os parâmetros energéticos numa base mensal e anual, tal como pode ser visualizado na Figura nº25.

Desempenho do sistema térmico							Porto
Projecto: AQS exemplo #0							
	Rad.Horiz.	Rad.Inclin.	Desperdiçado	Fornecido	Carga	Apoio	
	kWh/m²	kWh/m²	kWh	kWh	kWh	kWh	
Janeiro	51	81	,	43	324	281	
Fevereiro	69	100	,	80	293	213	
Março	105	129	,	127	324	198	
Abril	144	156	,	178	314	136	
Mai	173	168	1,	214	324	110	
Junho	185	173	1,	242	314	72	
Julho	205	196	4,	281	324	43	
Agosto	184	190	4,	273	324	52	
Setembro	129	153	1,	221	314	93	
Outubro	95	130	,	167	324	157	
Novembro	60	96	,	86	314	228	
Dezembro	49	84	,	48	324	277	
<b>Anual</b>	<b>1449</b>	<b>1657</b>	<b>11,</b>	<b>1959</b>	<b>3820</b>	<b>1861</b>	

Rendimento global anual do sistema: 30%      Fracção solar: 51,3%  
 Produtividade: 490 kWh/[m² colector]

**Optimização sob critérios energéticos**

otimizar a orientação dos colectores

constrangimentos

manter o azimute

Inclinação 36°  
Azimute Sul

Figura nº 25: Exemplo da interface “Análise energética” para obtenção do desempenho energético do sistema solar térmico

Fazendo a análise da Figura nº25, o programa apresenta várias colunas correspondes a parâmetros energéticos, expressos numa base mensal e anual, sendo as mais relevantes para o cálculo do projeto de térmica de uma determinada fração autónoma:

- A energia acumulada que o sistema fornece para o consumo (“Fornecido”) em kWh. Corresponde à energia final útil utilizada no aquecimento de AQS, designada como  $E_{\text{solar}}$ , sendo este o parâmetro mencionado na Secção 4 do Anexo VI do RCCTE, necessário para o cálculo de  $N_{\text{ac}}$ ;
- A energia consumida pelo sistema de apoio auxiliar (“Apoio”) em kWh. Esta energia complementa a energia fornecida ao sistema solar térmico, de forma que necessidades de preparação de AQS sejam satisfeitas durante todo o ano.

Existe uma opção “Otimizar”, que permite otimizar simulações de dimensionamento dos sistemas através de diversos critérios, tal como por exemplo, aumento da fração solar, redução do desperdício solar, redução do fornecimento de energia de apoio e otimização das orientações dos coletores, obtendo, desta forma, resultados heterogéneos. Para a obtenção de boas estimativas em relação ao desempenho energéticos dos sistemas solares térmicos, devem-se ter em conta os condicionalismos inerentes à metodologia e consumo de AQS do edifício, não devendo a decisão de instalação destes sistemas basear-se apenas na otimização dos termos energéticos.

### **2.5.3 Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)**

Em Portugal, a primeira legislação específica para o desempenho térmico de edifícios foi o Decreto-Lei n.º 40/90 de 6 de Fevereiro, designado como o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), tendo entrado em vigor em 1991. Este documento visava a garantia das condições de conforto térmico no interior dos edifícios aos ocupantes sem dispêndio excessivo de energia, minimizando os efeitos patológicos resultantes das condições superficiais nos elementos construtivos (DL n.º 40/90, Artigo 1º).

No entanto, esta primeira versão do RCCTE foi considerada pouco exigente, tendo estado estabelecido, desde o início, que num prazo de 5 anos, este documento seria objeto de revisão de modo a aumentar o seu grau de exigência.

Deste modo, em 2006, ocorre finalmente a revisão do RCCTE, através do Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril, a partir do cumprimento da Diretiva Comunitária 2002/91/CE de 16 de Dezembro de 2002, publicada a 4 de Janeiro de 2003. A Diretiva referida foi criada devido à crescente preocupação em relação aos gastos energéticos referentes ao aquecimento e arrefecimento ambientes através da instalação e utilização de equipamentos de climatização. A utilização destes equipamentos tem consequências negativas sobre o ambiente, provocando o aumento dos gases de efeito de estufa na atmosfera (Ferreira, 2010)

Apesar do seu objetivo principal ter sido a melhoria do desempenho energético dos edifícios, o sistema de classificação energética desta legislação atribuía um peso muito elevado à escolha dos equipamentos de climatização e de águas quentes sanitárias, remetendo para segundo plano a escolha de soluções técnicas construtivas energeticamente viáveis.

Atendendo a estas falhas referentes ao Decreto-Lei n.º 80/2006, aguarda-se a publicação de uma nova legislação aprovada referente ao desempenho energético de edifícios, baseada na nova Diretiva Europeia aprovada no dia 11 de Setembro de 2012 (2012/27/EU). No dia 20 de Agosto deste ano foi publicado o Decreto-Lei n.º 118/2013, que aprova num único documento o sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético de Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético de Edifícios de Comércio e Serviços (RECS).

Estes regulamentos entrarão em vigor no dia 1 de Dezembro de 2013, mas neste momento ainda não foram publicados os despachos e portarias que definem a metodologia e parâmetros a considerar no estudo de desempenho térmico dos edifícios.

### **3 Estudo de caso**

O presente subcapítulo refere-se à elaboração do estudo do comportamento térmico relativo a dois edifícios e foi realizado no âmbito do Estágio Curricular.

O objetivo da elaboração deste subcapítulo relaciona-se com a definição de soluções para os elementos construtivos dos edifícios em análise, de forma não só a respeitar as condições impostas no RCCTE, mas também a satisfazer as exigências e necessidades do consumidor no que diz respeito ao conforto higrotérmico.

Para esse efeito é importante garantir que:

- Os edifícios sejam concebidos ou reabilitados, de modo a que as necessidades de energia para o conforto possam ser reduzidas ao mínimo, tirando partido das condições do ambiente, do isolamento térmico e do controlo das renovações de ar;
- As necessidades sejam satisfeitas com os ganhos internos (ocupantes e equipamentos) e com os ganhos resultantes do aproveitamento da radiação solar (vãos envidraçados e massas de armazenamento térmico);
- As necessidades de climatização de Verão sejam reduzidas pela diminuição da incidência da radiação solar (sombreadores), através da utilização de cores adequadas na envolvente exterior dos edifícios e pelo efeito da ventilação.

Resumindo, estes objetivos têm que ser conseguidos integrando o clima com a localização e orientação dos edifícios, bem como a conceção e construção cuidada, de modo a reduzir as perdas e controlar os ganhos.

#### **3.1 Fração autónoma em estudo – Rua Marechal Saldanha, Porto**

O projeto térmico apresentado no presente subcapítulo refere-se à remodelação/ampliação de uma moradia unifamiliar que o requerente, Urbanizações da Godinha,

S.A, pretende levar a efeito na Rua do Marechal Saldanha, n° 1120, freguesia de Nevogilde, concelho do Porto.



Figura n° 26: Fachada principal do edifício em estudo

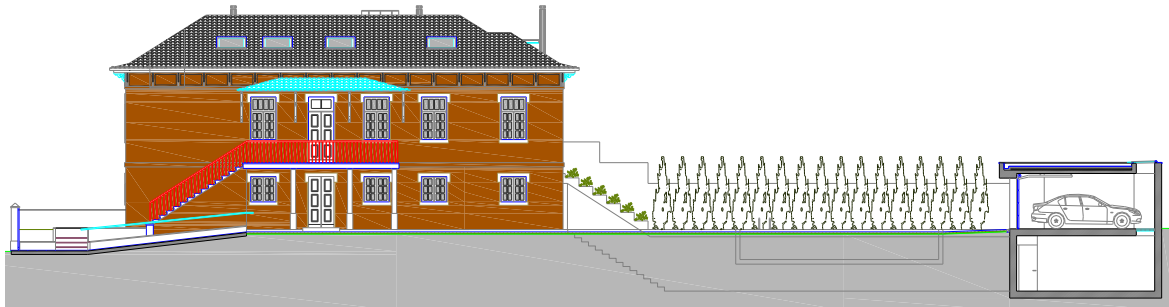


Figura n° 27: Fachada principal do edifício em estudo em formato .dwg

- o Documentos analisados:

Os documentos analisados para o correto desenvolvimento deste estudo foram os seguintes:

- Plantas e cortes fornecidos pela arquitetura;
- Plantas estruturais fornecidas pelo projetista de betão armado;

### 3.1.1 Tipologia de edifício

O edifício é da tipologia T5 e é constituído por rés-do-chão, um piso superior e o desvão do telhado habitável. A compartimentação dos pisos interiores foi concebida da seguinte forma:

- ◆ Rés-do-chão: *hall* de entrada e distribuição, cozinha, sala, casa de banho, escritório e um quarto com banho privativo;
- ◆ Primeiro andar: três quartos, dois com banho privativo, e um ginásio;
- ◆ Desvão do telhado: sala de estar, casa de banho de serviço e um quarto.

Prevê-se a construção de um anexo destinado a garagem, arrumos, lavandaria e uma casa de banho (espaços não aquecidos), sendo que estes espaços não pertencem à fração autónoma (FA) em estudo.

A fachada principal desta FA está orientada a sudoeste (SW), enquanto as restantes fachadas se encontram orientadas a nordeste (NE) e a sudeste (SE).

As plantas do edifício podem ser visualizadas nas Figuras nº 28, nº 29 e nº 30.

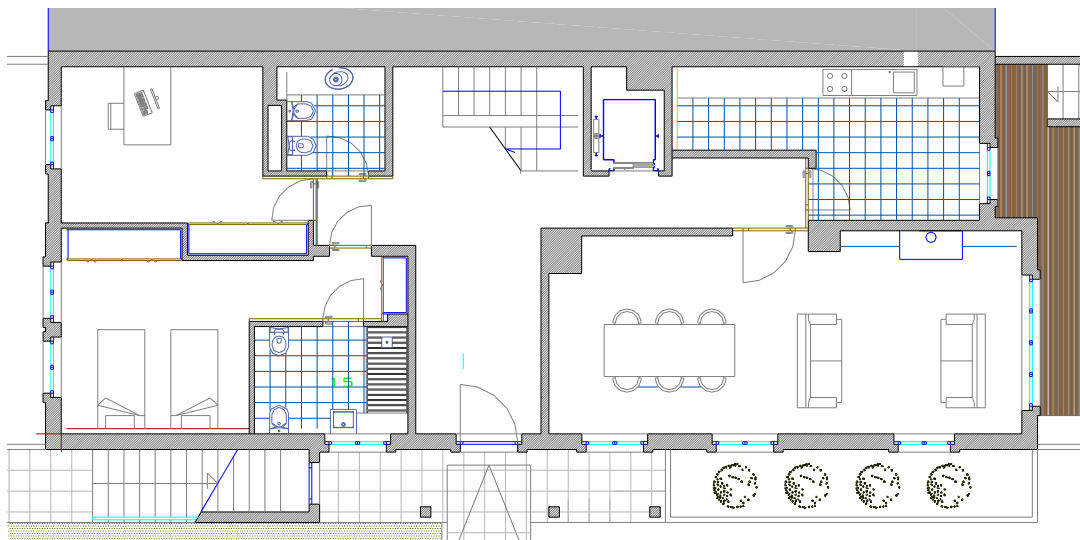


Figura nº 28: Planta do rés-do-chão

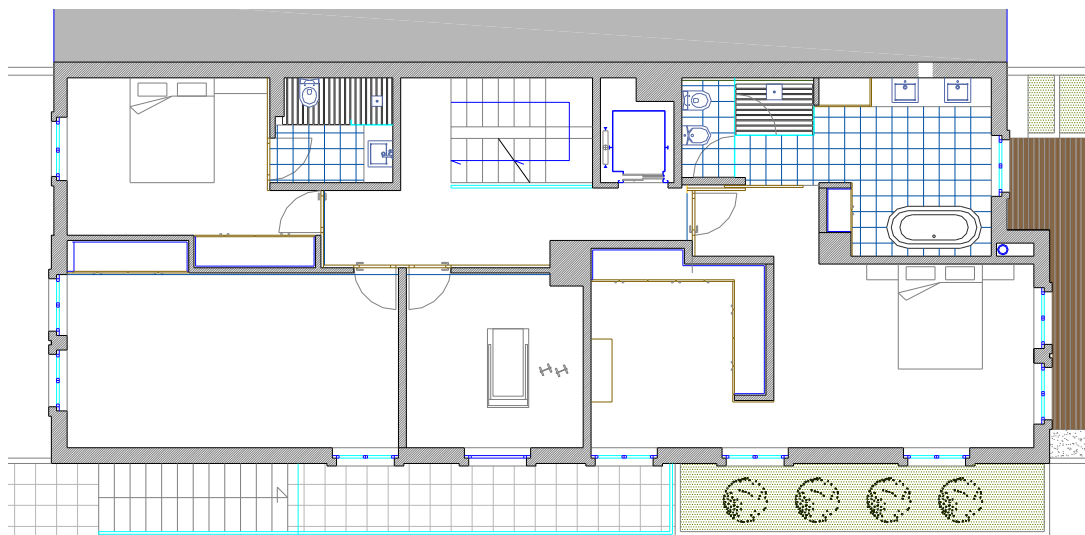


Figura nº 29: Planta do primeiro piso

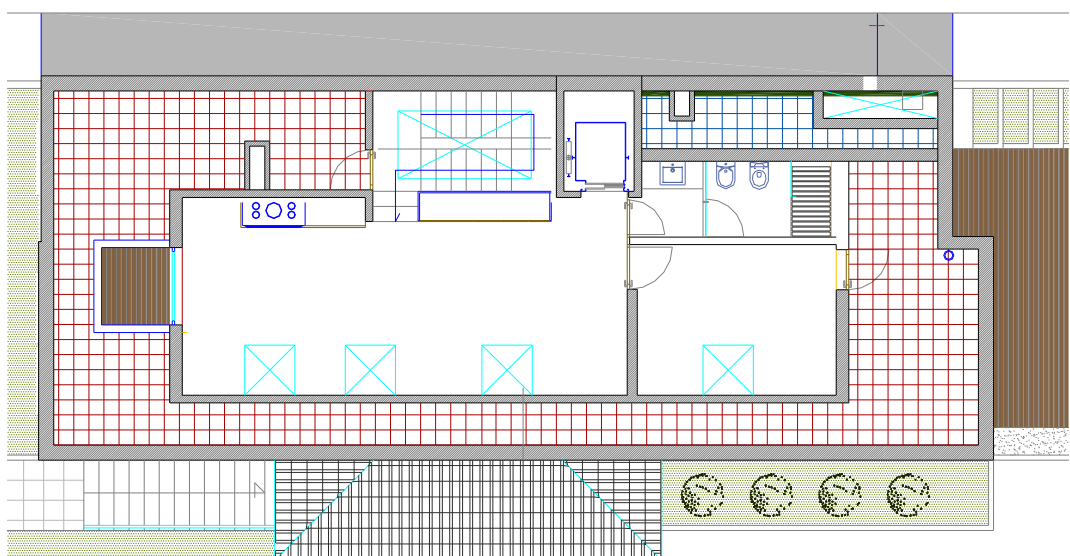


Figura nº 30: Planta do desvão do telhado

Tendo em conta que o empreendimento em causa se refere a uma grande intervenção de reabilitação, a aplicação do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) torna-se necessária, assim como a respetiva emissão da Declaração de Conformidade Regulamentar (DCR) e o Certificado Energético e da Qualidade do Ar Interior (CE). Entende-se como grande reabilitação qualquer intervenção cujo custo ultrapasse cerca de 25% do valor imobiliário do edifício a intervir.

A elevada dimensão das alterações realizadas na presente obra, principalmente nos sistemas de preparação de AQS, justifica a aplicação do RCCTE.

Não foi possível aceder ao orçamento da obra, apesar do valor patrimonial Tributário do edifício estar estimado em cerca de 578.120,00 euros (valor recolhido do *website* <http://www.e-financas.gov.pt/SIGIMI/default.jsp>).

### 3.1.2 Dados climáticos

Conforme o Quadro III.1 do Anexo III do RCCTE, a zona climática de Inverno é I<sub>2</sub> e a zona climática de Verão é V<sub>1</sub> Norte. O edifício situa-se a uma altitude de 17 metros, apresentando os dados climáticos:

- Estação de aquecimento:

- ❖ Graus-dias de aquecimento (GD): 1610 °C.dias;
- ❖ Duração da estação de aquecimento: 6,7 meses;
- ❖ Energia solar média incidente numa superfície orientada a sul ( $G_{sul}$ ): 93 kWh/m<sup>2</sup>.mês

- Estação de arrefecimento:

- ❖ Temperatura média: 19 °C
- ❖ Intensidade de radiação: NE= 300; SE= 430; SW= 430; Horizontal= 730 (kWh/m<sup>2</sup>)

### 3.1.3 Envoltentes e coeficientes de redução de temperatura

Pela análise dos espaços interiores existentes nesta habitação, concluiu-se que os seguintes espaços devem ser considerados como espaços não úteis (ENU):

- Desvão não acessível e não ventilado. A não ventilação deste espaço deve-se à aplicação de um forro nas vertentes da cobertura, não permitindo, desta forma, haver renovação de ar significativa;

- Desvão acessível e não ventilado;
- Edifício adjacente.

É ainda de salientar que apesar de esta moradia apresentar um elevador, este espaço foi considerado aquecido, em virtude do seu acesso ser realizado pelo interior da habitação e não apresentar qualquer vão para o exterior.

Para cada um destes espaços destes foi determinado o respetivo coeficiente de redução térmica ( $\tau$ ), de acordo com a metodologia proposta no RCCTE:

- Desvão não acessível e não ventilado:

Área em contacto com o interior ( $A_i$ ): 2,12 m<sup>2</sup>

Área em contacto com o exterior ( $A_u$ ): 4,03 m<sup>2</sup>

$$\frac{A_i}{A_u} = \frac{2,12}{4,03} = 0,53 \quad \rightarrow \quad \tau = 0,8$$

- Desvão acessível e não ventilado:

Área em contacto com o interior ( $A_i$ ): 87,02 m<sup>2</sup>





Área em contacto com o exterior ( $A_u$ ): 70,51 m<sup>2</sup>

$$\frac{A_i}{A_u} = \frac{87,02}{70,51} = 1,23 \quad \rightarrow \quad \tau = 0,6$$

- Edifício adjacente:

$$\tau = 0,6$$

Nas figuras seguintes estão marcadas as diferentes envolventes desta FA, tendo sido utilizado o seguinte esquema de cores:

- Envolvente exterior: 
- Envolvente interior com requisitos de interior: 
- Envolvente interior com requisitos de exterior ( $\tau > 0,7$ ): 
- Envolvente em contacto com o solo: 

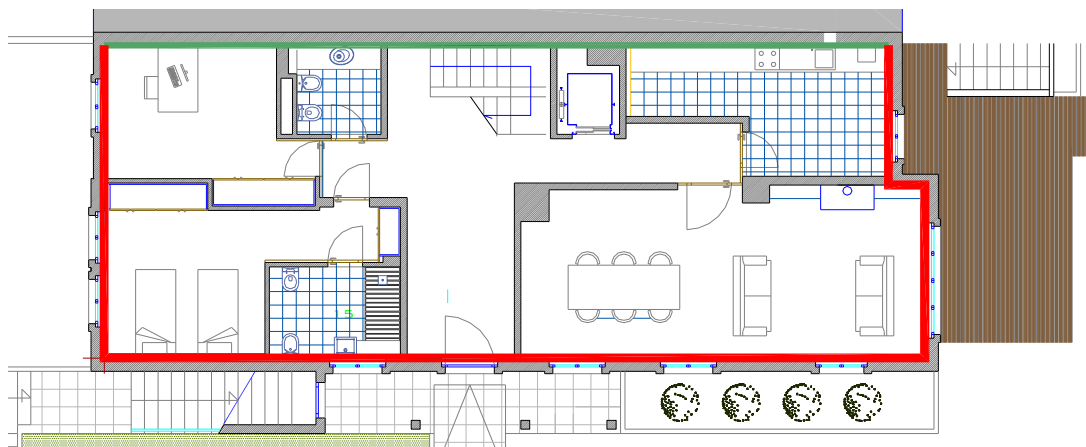


Figura nº 31: Marcação das envolventes na planta do rés-do-chão

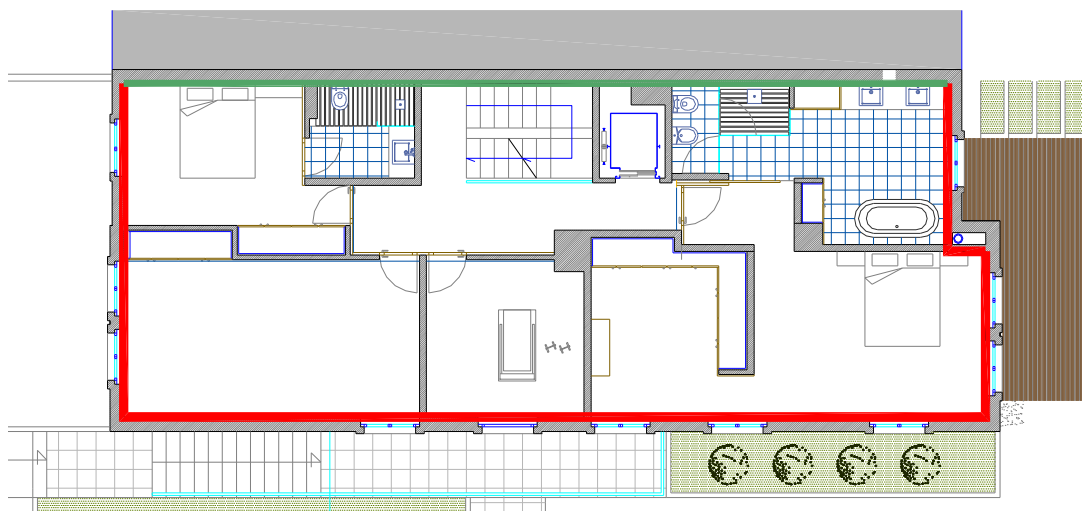


Figura nº 32: Marcação das envolventes na planta do 1º piso

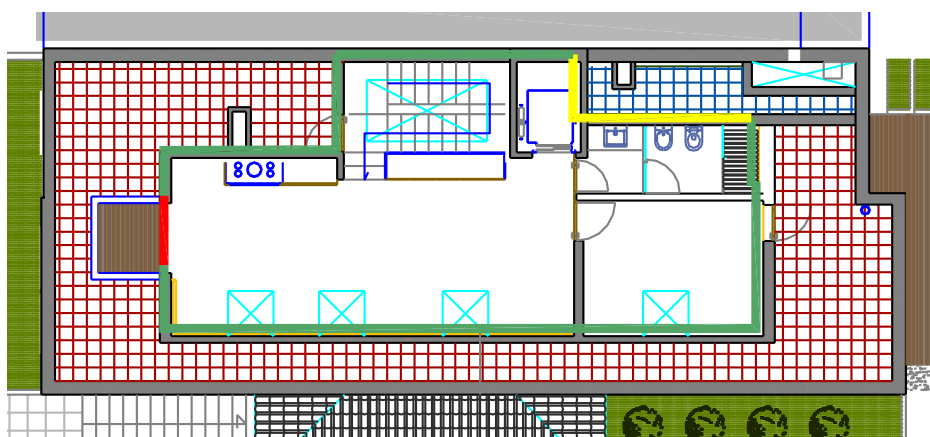


Figura nº 33: Planta da cobertura

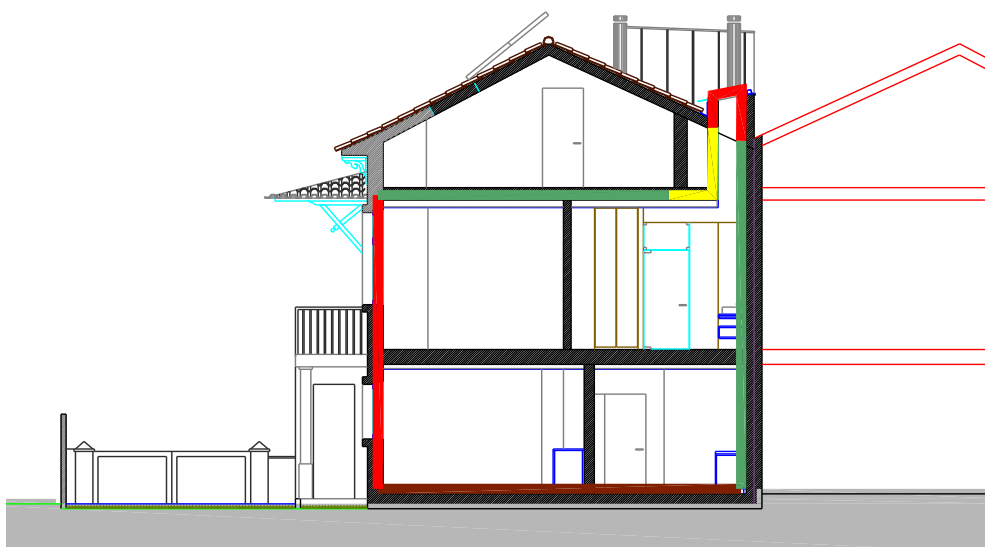


Figura nº 34: Marcação das envolventes no Corte C2

### 3.1.4 Sistema de preparação de Águas Quentes Sanitárias (AQS)

A contabilização das necessidades de energia para o sistema de preparação de Águas Quentes Sanitárias (AQS) vem não só fixar um limite máximo para este parâmetro, como também impor a instalação de coletores solares térmicos, nos casos em que exista exposição solar adequada. Estes equipamentos devem ser certificados, de acordo com as normas e legislação em vigor, instalados por técnicos acreditados pela Direção Geral de Energia e Geotecnia (DGEG) e, cumulativamente, deve existir um contrato de manutenção por um período mínimo de seis anos após a instalação.

Prevê-se a instalação de um sistema solar térmico individual de circulação forçada, composto por três coletores solares planos, perfazendo uma área total de 8,0 m<sup>2</sup>, instalado na cobertura com azimute de 45° e inclinação de 34°, com um ângulo de obstruções no horizonte de 20°. O depósito acumulador deve possuir 500 litros de capacidade com permutador de calor em serpentina, com eficácia de 55%, localizado no interior da fração e instalado na posição vertical, construído em inox e possuindo isolamento térmico em espuma rígida de poliuretano com espessura de 50 mm. O

controle do sistema é efetuado por um comando diferencial ligado a sondas de temperatura NTC. Os painéis têm certificação “DIN CERTCO”.

Considerou-se como sistema auxiliar do aquecimento de águas quentes sanitárias uma caldeira mural da classe C com acumulação e com 50 a 100 mm de isolamento térmico, com uma potência térmica prevista de 23 kW, eficiência a 30% da carga nominal de 80%, alimentada a gás natural.

As características e os cálculos da contribuição do sistema solar foram realizados com recurso à ferramenta informática “SOLTERM”, cuja listagem, tal como referido anteriormente, pode ser consultada no Anexo II.

### **3.1.5 Sistemas de climatização**

No que diz respeito ao sistema de arrefecimento, não se prevê a instalação de nenhum equipamento, pelo que se considerou o sistema por defeito previsto na regulamentação: máquina frigorífica com eficiência nominal ( $\eta_i$ ) de 3,00.

Para o sistema de aquecimento prevê-se a utilização de caldeira mural ventilada para aquecimento central, com potência térmica de 23 kW, eficiência a 30% da carga nominal de 80%, alimentada a gás natural, interligada a 16 radiadores distribuídos pelas várias divisões que compõem a fração (salas de estar, cozinha, quartos, banhos, escritório, ginásio), através de tubagens de polietileno reticulado (PEX), servindo a água como fluido de transporte e controlado por válvulas termostáticas.

### **3.1.6 Sistema de ventilação**

O edifício encontra-se, aproximadamente, a uma distância de 0,25 km da costa, conforme com a imagem recolhida através da ferramenta informática “*Google Earth*” (Figura nº35) e está implantado a uma altitude aproximada de 17 metros (Região B).

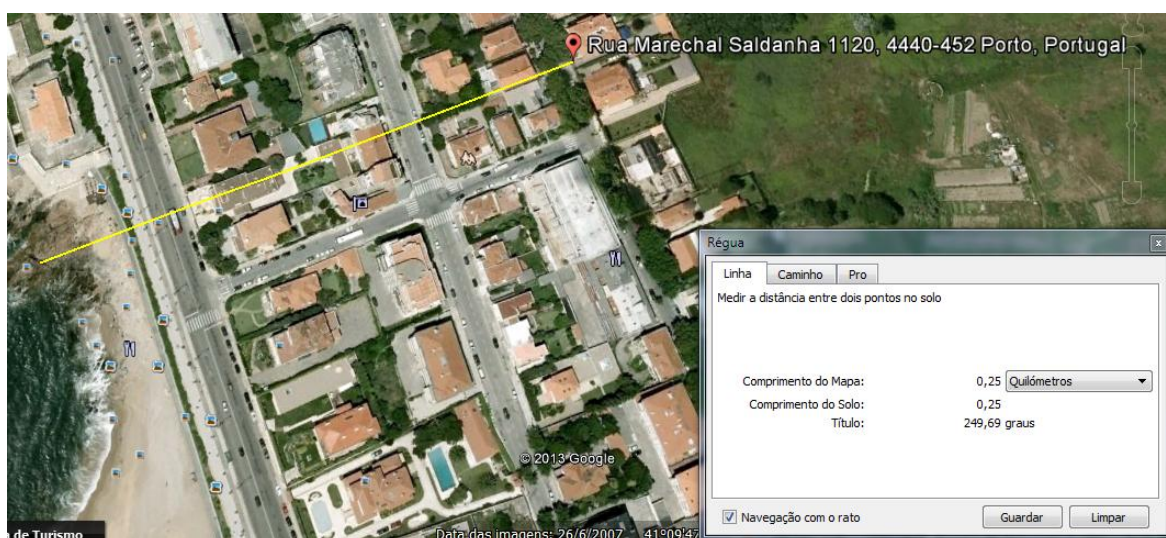


Figura n.º 35: Distância medida entre a moradia e a costa (Fonte: *Google Earth*)

A moradia encontra-se em zona urbana, pelo qual que a sua rugosidade será do tipo I. Assim, com uma altura acima do solo menor que 10 metros e pertencendo à região B, a moradia terá uma classe de exposição do tipo 1, conforme estipula o Quadro IV.2 do Anexo IV do RCCTE.

Considera-se que a taxa de renovação é garantida por ventilação natural. Neste edifício não existem dispositivos de admissão de ar na fachada nem caixas de estores, as caixilharias a utilizar não apresentam classificação relativamente à permeabilidade ao ar e considerou-se que todas as portas do edifício não foram vedadas com aplicação de borrachas ou equivalente.

Como,  $\frac{A_{env}}{A_p} = \frac{38,02 \text{ m}^2}{286,83 \text{ m}^2} = 13,26 \%$ , logo  $A_{env} < 15\% A_p$  e não é cumprida a norma NP-1037-1, logo, pela consulta do Quadro IV.1 do Anexo IV do RCCTE obtém um valor de:  $R_{ph} = 0,90 \text{ h}^{-1}$ .

Prevê-se a instalação de um exaustor na cozinha que, quando ligado, extrai um caudal de  $120 \text{ m}^3/\text{h}$  e consome 100 kW. Uma vez que este apenas se encontra ligado pontualmente, não se considera o caudal extraído.

Acrescenta-se ainda que não estão previstas *courettes* específicas para tubagens de rede de saneamento e/ou outras. Os tubos de queda previstos na rede de saneamento encontram-se embebidos em paredes e devidamente isolados por questões térmicas e acústicas. Deste modo, pode dizer-se que a ventilação das *courettes* é inexistente.

### 3.1.7 Cálculo dos parâmetros e coeficientes necessários ao balanço energético

Os subcapítulos que se seguem apresentam os materiais e espessuras dos materiais aplicados nas diferentes envolventes do edifício e serão também apresentados os parâmetros e coeficientes necessários para o cálculo do seu balanço energético.

#### ➤ Coeficientes de transmissão térmica (U) em zona corrente

Relativamente às soluções construtivas já existentes e que irão ser reaproveitadas, o coeficiente de transmissão térmica superficial será estimado com recurso aos valores definidos nas publicações do LNEC: “Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios” – Informação Técnica (ITE 50) e “Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios – Soluções construtivas de edifícios antigos” – Informação Técnica (ITE 54).

Nesta última publicação são caracterizados os elementos mais utilizados em Portugal, em função da data de construção.

- Paredes exteriores:

Materiais constituintes	Massa volúmica aparente seca ( $\rho$ ) (kg/m <sup>3</sup> )	Condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) (W/m.°C)	Espessura (cm)
Placas de gesso cartonado	900	0,25	1,3
Lã de rocha (MW)	70	0,040	5
Alvenaria rebocada já existente	Como se trata de uma construção posterior a 1960, admite-se uma resistência térmica de 0,872 m <sup>2</sup> .°C/W		35 (medidos no local)

Tabela nº 2: Materiais constituintes das paredes exteriores (N<sub>1</sub>)

$$U = \left( \frac{0,013}{0,25} + \frac{0,05}{0,040} + 0,872 + 0,13 + 0,04 \right)^{-1} = 0,43 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

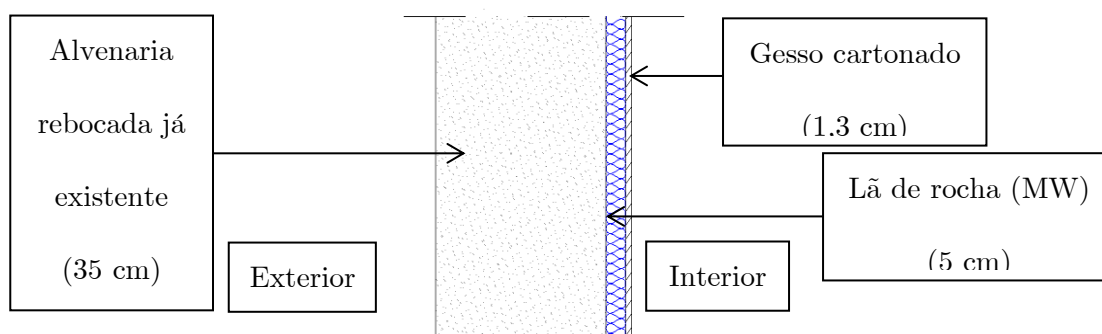


Figura nº 36: Pormenor construtivo das paredes exteriores (N<sub>1</sub>)

Por se tratar de uma obra de reabilitação, a aplicação de isolamento térmico pelo interior justifica-se pela conservação do aspeto exterior da fachada do edifício. No entanto, devido às propriedades higroscópicas da lã de rocha, recomenda-se que o seu revestimento interior seja devidamente executado e impermeabilizado, de modo a prevenir que o isolamento entre em contacto com a humidade.

- Paredes de separação do edifício adjacente:

Materiais constituintes	Massa volúmica aparente seca ( $\rho$ ) (kg/m <sup>3</sup> )	Condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) (W/m.°C)	Espessura (cm)
Placas de gesso cartonado	900	0,25	1,3
Alvenaria já existente	Como se trata de uma construção posterior a 1962, admite-se uma resistência térmica de 0,74 m <sup>2</sup> .°C/W		30 (aproximada)

Tabela nº 3: Materiais constituintes das paredes de separação do edifício adjacente

$$U = \left( \frac{0,013}{0,25} + 0,74 + 0,13 + 0,13 \right)^{-1} = 0,95 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

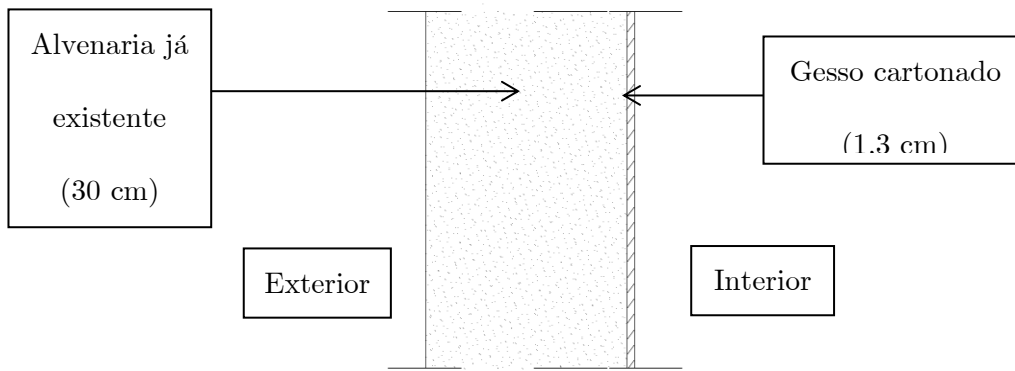


Figura nº 37: Pormenor construtivo da parede de separação do edifício adjacente

- Paredes interiores de separação entre o espaço útil e os desvãos:

Materiais constituintes	Massa volúmica aparente seca ( $\rho$ ) (kg/m <sup>3</sup> )	Condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) (W/m.°C)	Espessura (cm)
Placas de gesso cartonado	900	0,25	1,3
Alvenaria simples de tijolo furado	$R_t = 0,39 \text{ m}^2 \cdot \text{°C}/\text{W}$		15
Lã de rocha (MW)	70	0,040	5
Placas de gesso cartonado	900	0,25	1,3

Tabela nº 4: Materiais constituintes das paredes interiores de separação entre espaço útil e os desvãos

$$U = \left( \frac{0,026}{0,25} + \frac{0,05}{0,040} + 0,39 + 0,13 + 0,13 \right)^{-1} = 0,50 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

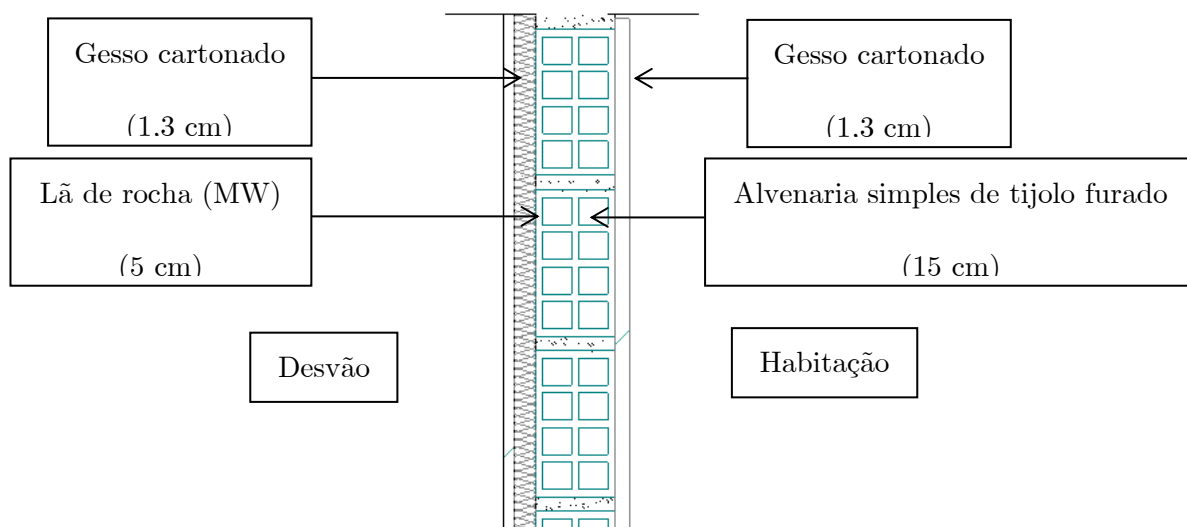


Figura nº 38: Pormenor construtivo das paredes interiores de separação entre o espaço útil e os desvãos

- Porta exterior:

Material constituinte	Massa volúmica aparente seca ( $\rho$ ) (kg/m <sup>3</sup> )	Condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) (W/m.°C)	Espessura (cm)
Madeira densa	800	0,23	3

Tabela nº 5: Materiais constituintes da porta exterior

$$U = \left( \frac{0,03}{0,23} + 0,13 + 0,04 \right)^{-1} = 3,33 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

- Porta interior de separação do desvão não-útil

Material constituinte	Massa volúmica aparente seca ( $\rho$ ) (kg/m <sup>3</sup> )	Condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) (W/m.°C)	Espessura (cm)
Madeira densa	800	0,23	3

Tabela nº 6: Materiais constituintes da porta interior de separação do desvão não-útil

$$U = \left( \frac{0,03}{0,23} + 0,13 + 0,13 \right)^{-1} = 2,56 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

- Cobertura inclinada:

Materiais constituintes	Massa volúmica aparente seca ( $\rho$ ) (kg/m <sup>3</sup> )	Condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) (W/m.°C)	Espessura (cm)
Tecto falso em gesso cartonado	900	0,25	1,3
Lã de rocha (MW)	70	0,040	3
Laje aligeirada pré-fabricada em blocos de betão leve	Base dos blocos $\leq 0,30$ m $R_t = 0,23$ m <sup>2</sup> .°C/W		20
Reboco	1900	1,3	2,5

Tabela nº 7: Materiais constituintes da cobertura inclinada (N<sub>1</sub>)

Nota: Sem formação de caixa-de-ar.

$$U_{\text{ascendente}} = \left( \frac{0,013}{0,25} + \frac{0,03}{0,040} + \frac{0,025}{1,3} + 0,23 + 0,10 + 0,04 \right)^{-1} = 0,84 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

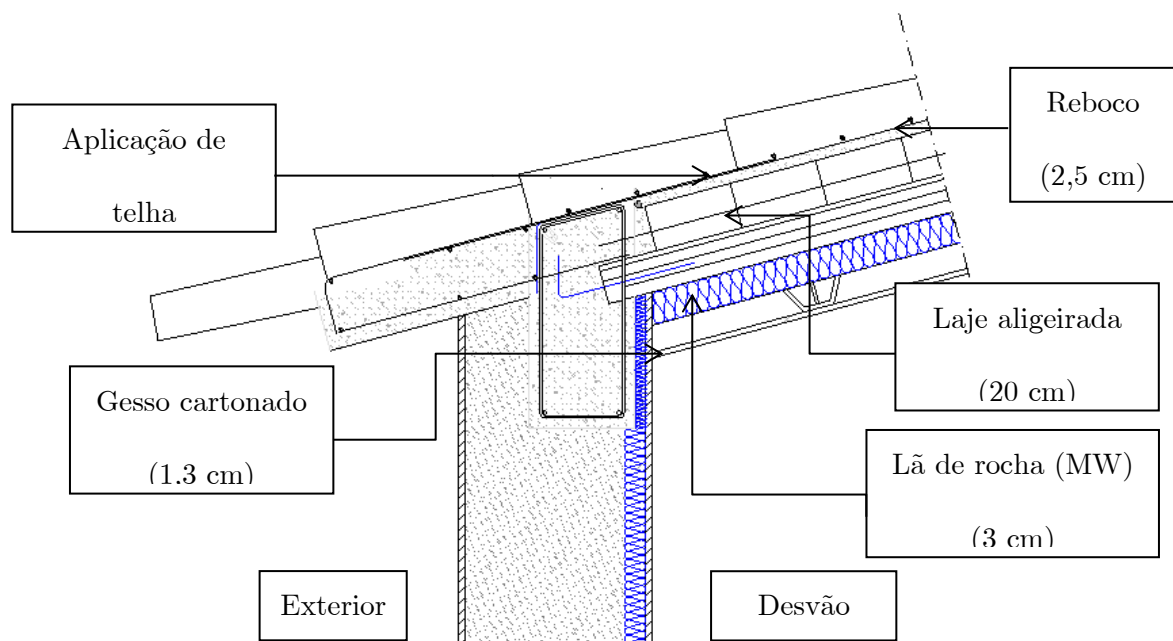


Figura nº 39: Pormenor construtivo da cobertura inclinada (N<sub>1</sub>)

▪ Cobertura em terraço

Materiais constituintes	Massa volúmica aparente seca ( $\rho$ ) (kg/m <sup>3</sup> )	Condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) (W/m.°C)	Espessura (cm)
Tecto falso em gesso cartonado	900	0,25	1,3
Lã de rocha (MW)	70	0,040	3
Laje aligeirada pré-fabricada em blocos de betão leve	Base dos blocos > 0,30 m $R_t = 0,23 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$		20

Tabela nº 8: Materiais constituintes da cobertura em terraço (N<sub>1</sub>)

Nota: Formação de caixa-de-ar entre 15 a 100 mm ( $R_t = 0,16 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$ )

$$U_{\text{exterior}} = \left( \frac{0,013}{0,25} + \frac{0,03}{0,040} + 0,23 + 0,16 + 0,10 + 0,04 \right)^{-1} = 0,75 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

$$U_{\text{interior}} = \left( \frac{0,013}{0,25} + \frac{0,03}{0,040} + 0,23 + 0,16 + 0,10 + 0,10 \right)^{-1} = 0,72 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

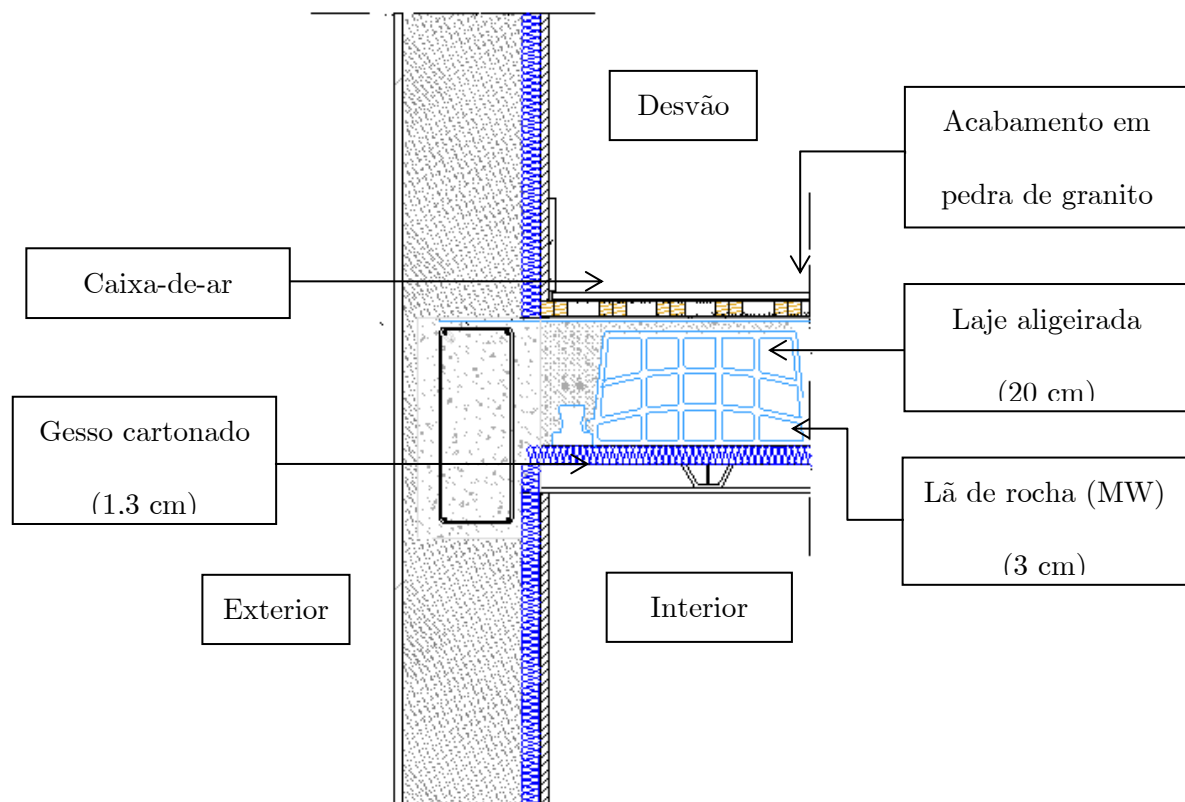


Figura nº 40: Pormenor construtivo da cobertura em terraço (N<sub>1</sub>)

➤ Coeficientes de transmissão térmica (U) em PTP

▪ Pilares

Materiais constituintes	Massa volúmica aparente seca ( $\rho$ ) (kg/m <sup>3</sup> )	Condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) (W/m.°C)	Espessura (cm)
Placas de gesso cartonado	900	0,25	1,3
Lã de rocha (MW)	70	0,040	5
Betão armado	2000	2,0	30
Reboco tradicional	1900	1,3	2,5

Tabela nº 9: Materiais constituintes dos pilares (N<sub>1</sub>)

$$U_{\text{exterior}} = \left( \frac{0,013}{0,25} + \frac{0,05}{0,040} + \frac{0,30}{2,0} + \frac{0,025}{1,3} + 0,13 + 0,04 \right)^{-1} = 0,61 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

$$U_{\text{interior}} = \left( \frac{0,013}{0,25} + \frac{0,05}{0,040} + \frac{0,30}{2,0} + \frac{0,025}{1,3} + 0,13 + 0,13 \right)^{-1} = 0,58 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

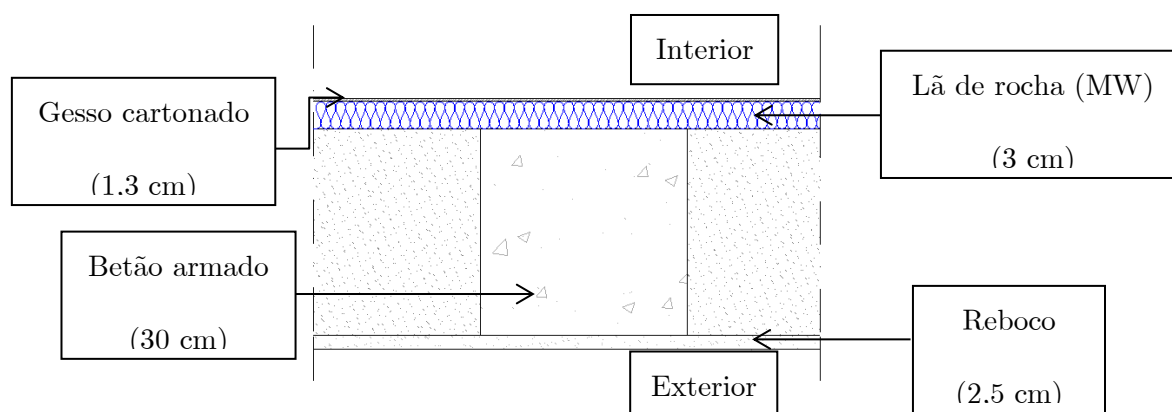


Figura nº 41: Pormenor construtivo dos pilares (N<sub>1</sub>)

▪ Vigas:

Materiais constituintes	Massa volúmica aparente seca ( $\rho$ ) (kg/m <sup>3</sup> )	Condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) (W/m.°C)	Espessura (cm)
Placas de gesso cartonado	900	0,25	1,3
Lã de rocha (MW)	70	0,040	5
Betão armado	2000	2,0	30
Reboco tradicional	1900	1,3	2,5

Tabela nº 10: Materiais constituintes das vigas (N<sub>1</sub>)

$$U_{\text{exterior}} = \left( \frac{0,013}{0,25} + \frac{0,05}{0,040} + \frac{0,30}{2,0} + \frac{0,025}{1,3} + 0,13 + 0,04 \right)^{-1} = 0,61 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

$$U_{\text{interior}} = \left( \frac{0,013}{0,25} + \frac{0,05}{0,040} + \frac{0,30}{2,0} + \frac{0,025}{1,3} + 0,13 + 0,13 \right)^{-1} = 0,58 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

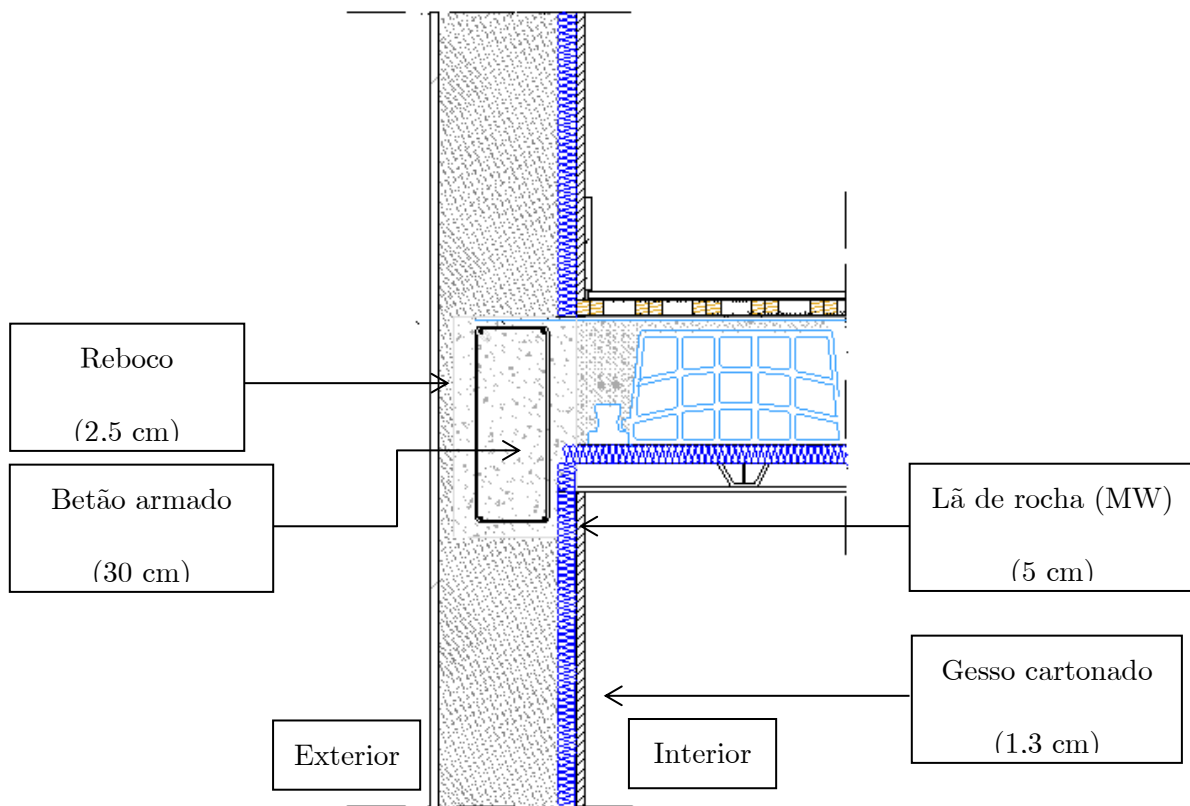


Figura nº 42: Pormenor construtivo das vigas ( $N_1$ )

### ➤ Pontes térmicas lineares

Foram consideradas as seguintes pontes térmicas lineares associadas a paredes exteriores:

- ❖ Fachada com pavimento térreo com isolamento térmico:  $\psi = 0,55$ ;  $B = 26,16 \text{ m}$ ;
- ❖ Fachada com pavimento intermédio:  $\psi = 0,60$ ;  $B = 32,12 \text{ m}$ ;
- ❖ Duas paredes verticais exteriores:  $\psi = 0,25$ ;  $B = 67,96 \text{ m}$ ;
- ❖ Fachada com padieira ou peitoril:  $\psi = 0,25$ ;  $B = 32,12 \text{ m}$ ;

Foram consideradas as seguintes pontes térmicas lineares a paredes interiores para espaços não-úteis com fatores de redução superiores a 0,7:

- ❖ Paredes interiores com a cobertura:  $\psi = 0,50$ ;  $B = 3,73 \text{ m}$ ;

- ❖ Paredes interiores com a laje de desvão:  $\psi= 0,50$ ;  $B= 3,73$  m.

O fluxo de calor através do pavimento térreo foi quantificado pelo produto do respetivo coeficiente de transmissão térmica linear pelo perímetro:

- ❖ Perímetro de pavimento em contacto com o solo, a uma altura entre 0,05 e 1,50 m em relação ao terreno exterior:  $\psi= 1,80$ ; Área=  $117,74 \text{ m}^2$ ;  $B= 26,16$  m.

#### ➤ Fatores solares dos envidraçados

Os vãos envidraçados exteriores apresentam diferentes constituições em função da sua orientação e localização na FA. Assim, devemos considerar:

- Vãos envidraçados orientados a SW, SE, NE localizados na sala, casas de banho, quartos e escritório:

Vidro simples incolor de 6 mm e caixilharia de madeira com quadrícula, protegido pelo exterior com portadas venezianas metálicas de cor escura, e pelo interior com portadas de madeira de cor clara.

$U= 3,9 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  (valor obtido no ITE 50).

Tendo em conta que o vão envidraçado se encontra protegido pelo interior e pelo exterior, utilizou-se a seguinte expressão numérica para o cálculo do fator solar do envidraçado com proteção 100% ativa:

$$g_{\perp} = g_{\perp v} \prod_i \frac{g_{\perp i}}{0,85} \text{ (RCCTE, Anexo V, subsecção 2.3).}$$

Em que:

$g_{\perp}$  – Fator solar do envidraçado com as proteções solares 100% ativadas;

$g_{\perp v}$  – Fator solar do envidraçado;

$g_{\perp}'$  – Fator solar dos vãos envidraçados com a proteção solar 100% ativada.

$$g_{\perp v} = 0,85;$$

$$g_{\perp}' = \frac{0,14 * 0,30}{0,85} = 0,049;$$

$$g_{\perp \text{-inverno}} = \frac{g_{\perp}' * g_{\perp v}}{0,85} \text{ (RCCTE, Anexo V, subsecção 2.3);}$$

$$g_{\perp \text{-inverno}} = 0,70$$

$$g_{\perp \text{-verão}} = (0,7 * 0,049) + (0,3 * 0,85) = 0,29$$

- Vãos envidraçados orientados a NE localizados na sala e cozinha:

Vidro simples incolor e caixilharia de madeira com quadrícula, sem classificação de permeabilidade, protegido pelo exterior com portadas venezianas metálicas de cor escura, e pelo interior com cortinas muito transparentes.

$$U = 3,9 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

$$g_{\perp v} = 0,85;$$

$$g_{\perp}' = \frac{0,14 * 0,70}{0,85} = 0,115;$$

$$g_{\perp \text{-inverno}} = 0,70;$$

$$g_{\perp \text{-verão}} = (0,7 * 0,115) + (0,3 * 0,85) = 0,34$$

- Vãos horizontais localizados na cobertura sobre a sala de estar e quarto e caixa de elevadores:

Envidraçado duplo incolor com caixa-de-ar de 12 mm e caixilharia metálica com corte térmico sem classificação, protegido pelo interior com cortinas opacas do tipo “*blackout*” de cor clara.

$$U_{wdn} = 3,1 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C} \text{ (valor obtido do ITE 50, Quadro III.2).}$$

$$U_{wh} = \frac{1}{\frac{1}{U_{wdn}} - 0,04} = 3,49 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

$$g_{\pm v} = 0,75;$$

$$g_{\pm'} = 0,37$$

$$g_{\pm inverno} = 0,63;$$

$$g_{\pm verão} = (0,7 * 0,37) + (0,3 * 0,75) = 0,48$$

➤ **Fatores de sombreamento dos vãos envidraçados**

Nas Tabelas nº 11 e nº 12 estão descritos os vários ângulos de sombreamento de cada vão envidraçado, assim como os respectivos fatores de sombreamento e localização:

Orientação	Localização	Ângulo do horizonte	Fator de sombreamento do horizonte ( $F_h$ )		Ângulo da pala horizontal	Fator de sombreamento por elementos horizontais ( $F_o$ )	
			Inverno	Verão		Inverno	Verão
Sudoeste	Escritório	20°	0,88	1,00	3°	0,97	0,96
	Quarto 1	20°	0,88	1,00	3°	0,97	0,96
	Quarto 2	20°	0,88	1,00	8°	0,93	0,91
	Quarto 3	20°	0,88	1,00	8°	0,93	0,91
	Desvão	0°	1,00	1,00	0°	1,00	1,00
Sudeste	WC 1	25°	0,78	1,00	22°	0,82	0,76
	Sala 1	25°	0,78	1,00	22°	0,82	0,76
	Quarto 3	20°	0,88	1,00	57°	0,52	0,51
Nordeste	Sala 1	4°	0,98	1,00	3°	0,99	0,98
	Cozinha	3°	0,99	1,00	3°	0,99	0,98
	Quarto 4	20°	0,96	1,00	8°	0,98	0,96
	WC 4	20°	0,96	1,00	8°	0,98	0,96
Horizontal	Sala 2	45°	0,62	1,00	0°	1,00	1,00
	Quarto 5	45°	0,62	1,00	0°	1,00	1,00
	Escadas	0°	1,00	1,00	0°	1,00	1,00

Tabela nº 11: Vãos envidraçados e respectivos fatores de sombreamento do horizonte e por elementos horizontais

Orientação	Localização	Ângulo da pala direita	Ângulo da pala esquerda	Fator de sombreamento por elementos verticais ( $F_f$ )		Fator de obstrução ( $F_s = F_h * F_o * F_f$ )	
				Inverno	Verão	Inverno	Verão
Sudoeste	Escritório	0°	0°	1,00	1,00	0,85	0,85
	Quarto 1	0°	0°	1,00	1,00	0,85	0,85
	Quarto 2	0°	0°	1,00	1,00	0,82	0,82
	Quarto 3	0°	0°	1,00	1,00	0,82	0,82
	Desvão	29°	29°	0,88	0,91	0,88	0,88
Sudeste	WC 1	0°	0°	1,00	1,00	0,64	0,64
	Sala 1	0°	0°	1,00	1,00	0,64	0,64
	Quarto 3	0°	0°	1,00	1,00	0,46	0,46
Nordeste	Sala 1	0°	0°	1,00	1,00	0,90	0,90
	Cozinha	42°	0°	0,85	1,00	0,83	0,83
	Quarto 4	0°	0°	1,00	1,00	0,90	0,90
	WC 4	32°	0°	0,88	1,00	0,90	0,83
Horizontal	Sala 2	0°	0°	1,00	1,00	1,00	1,00
	Quarto 5	0°	0°	1,00	1,00	1,00	1,00
	Escadas	0°	0°	1,00	1,00	1,00	1,00

Tabela nº 12: Vãos envidraçados e respetivos fatores de sombreamento por elementos e de obstrução

Refira-se que em todos os envidraçados da Tabela nº 12 cumpre-se a regra imposta pela subsecção 4.3.3 do Anexo IV do RCCTE, em que o produto de  $F_s$  com o fator de orientação ( $X_j$ ) nunca deve ser menor que 0,27.

#### ➤ **Inércia térmica**

O cálculo da inércia térmica interior foi realizado através da quantificação, para cada elemento construtivo, da massa superficial útil, do fator de redução da massa e da sua área. Estes cálculos estão sintetizados na Tabela nº 13:

Designação do elemento construtivo	Massa térmica superficial (mt) (Kg/m <sup>2</sup> )	Massa superficial útil (M <sub>si</sub> ) (Kg/m <sup>2</sup> )	Área (S <sub>i</sub> ) (m <sup>2</sup> )	Fator de correção (r)	M <sub>si</sub> * r * S <sub>i</sub> (Kg)
Paredes exteriores	890	0	133,67	0,5	0
Pilares	459	0	7,82	0,5	0
Vigas	459	0	9,68	0,5	0
Cobertura em terraço	466	150	1,95	1	293
Paredes em contacto com o desvãos	292	150	39,17	1	2938
PTP em contacto com o desvãos	813	150	39,17	1	792
Parede em contacto com o edifício adjacente	810	150	92,61	0,5	6946
Pavimentos em contacto com o solo	210	150	117,74	1	17661
Coberturas interiores	141	0	53,17	0,5	0
Parede interiores do fogo	203	203	179,24	1	40150
Pavimentos interiores do fogo	649	300	106,18	1	31854
	640	300	6,16	1	1848

Tabela nº 13: Cálculo da massa térmica total (N<sub>1</sub>)

Para o cálculo da inércia térmica (I<sub>t</sub>) utilizou-se a seguinte expressão numérica:

$$I_t = \frac{\sum M_{si} * r * S_i}{A_p} = \frac{102961}{286,83} = 359 \text{ Kg/m}^2$$

Como  $150 \text{ Kg/m}^2 < 359 \text{ Kg/m}^2 \leq 400 \text{ Kg/m}^2$ , logo terá uma classe de inércia térmica interior **média**.

➤ **Verificação dos requisitos mínimos de qualidade térmica**

Para os elementos construtivos em zona corrente da envolvente, o coeficiente de transmissão térmica superficial não poderá ser superior ao valor máximo definido na legislação nacional. Este limite depende da zona climática de inverno e do tipo de envolvente em que se situa o elemento em análise.

Nas zonas de pontes térmicas planas, o respetivo coeficiente de transmissão térmica superficial não poderá exceder o valor de  $U$  máximo nem o dobro do coeficiente do elemento em que estas heterogeneidades estão inseridas os envidraçados. O valor do fator solar do vidro com a respetiva proteção ativada a 100% não poderá ultrapassar o valor máximo definido para cada uma das zonas climáticas de verão e em função da inércia térmica da FA.

Elementos da envolvente em zona corrente:

◆ Paredes exteriores

$$U = 0,43 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C} \leq U_{\text{máx}} = 1,60 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C} \text{ (Verifica);}$$

◆ Paredes de separação do edifício adjacente:

$$U = 0,95 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C} \leq U_{\text{máx}} = 2,00 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C} \text{ (Verifica);}$$

◆ Paredes interiores de separação entre o espaço útil e os desvãos:

$$U = 0,50 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C} \leq U_{\text{máx}} = 2,00 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C} \text{ (Verifica) para desvão com } \tau = 0.6;$$

$$U = 0,50 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C} \leq U_{\text{máx}} = 1,60 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C} \text{ (Verifica) para desvão com } \tau = 0.8;$$

◆ Cobertura inclinada:

$$U = 0,84 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C} \leq U_{\text{máx}} = 1,00 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C} \text{ (Verifica);}$$

◆ Cobertura em terraço:

$$U_{\text{exterior}} = 0,75 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C} \leq U_{\text{máx}} = 1,00 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C} \text{ (Verifica)}$$

$$U_{\text{interior}} = 0,72 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C} \leq U_{\text{máx}} = 1,30 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C} \text{ (Verifica) para desvão com } \tau = 0.6.$$

Pontes térmicas planas:

- ◆ Pilares e vigas:

$$U_{\text{exterior}} = 0,61 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C} \leq U_{\text{máx}} = 1,60 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C} \text{ (Verifica) e}$$

$$U_{\text{exterior}} = 0,61 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C} \leq 2 * U_{\text{parede exterior}} = 2 * 0,43 = 0,86 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C} \text{ (Verifica);}$$

$$U_{\text{interior}} = 0,58 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C} \leq U_{\text{máx}} = 2,00 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C} \text{ (Verifica) e}$$

$$U_{\text{interior}} = 0,58 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C} \leq 2 * U_{\text{parede interior}} = 2 * 0,50 = 1,00 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C} \text{ (Verifica).}$$

Fatores solares:

- ◆ Fatores solares dos envidraçados verticais:

$$g_{\perp} = 0,049 \leq g_{\perp\text{-máx}} = 0,56 \text{ (Verifica);}$$

$$g_{\perp} = 0,115 \leq g_{\perp\text{-máx}} = 0,56 \text{ (Verifica);}$$

- ◆ Fatores solares dos envidraçados horizontais:

$$g_{\perp} = 0,37 \leq g_{\perp\text{-máx}} = 0,56 \text{ (Verifica).}$$

### 3.1.8 Níveis de qualidade

A partir da solução base, descrita nos subcapítulos anteriores, foram propostas soluções construtivas alternativas, de modo a elevar o nível de qualidade térmica que esta solução oferece. As soluções construtivas propostas referem-se a alterações a serem realizadas na envolvente exterior, mais concretamente, a nível das paredes exteriores, coberturas, pontes térmicas planas e envidraçados. A solução base adotada é denominada como solução N<sub>1</sub>.

Como nota de referência, é possível consultar o custo de investimento de cada uma das soluções construtivas base e alternativas propostas para os elementos construtivos estudados no Anexo V.

Para a escolha das soluções construtivas propostas nos níveis de qualidade N<sub>2</sub>, N<sub>3</sub> e N<sub>4</sub> utilizaram-se os critérios descritos na Tabela nº 14:

Nível de qualidade	Critério
N <sub>2</sub>	$U_{\text{envolvente opaca}} \approx U_{\text{ref}}$
	$U_{\text{envidraçado}} \leq U_{\text{ref}}$
N <sub>3</sub>	$U_{\text{envolvente opaca}} \approx 0,50 * U_{\text{ref}}$
	$U_{\text{envidraçado}} \leq 0,50 * U_{\text{ref}}$
N <sub>4</sub>	$U_{\text{envolvente opaca}} \approx 0,25 * U_{\text{ref}}$
	$U_{\text{envidraçado}} \leq 0,25 * U_{\text{ref}}$

Tabela nº 14: Critérios de escolha dos níveis de qualidade estudados

Os valores dos coeficientes de transmissão térmica definidos no RCCTE para edifícios situados na zona climática I<sub>2</sub> podem ser consultados na Tabela nº 15:

Elementos da envolvente	Coefficiente de transmissão térmica de referência ( $U_{\text{ref}}$ ) (W/m <sup>2</sup> .°C)
Exterior ou para ENU com $\tau > 0,7$ :	
Paredes e pontes térmicas planas	0,60
Pavimentos ou coberturas	0,45
Interior para ENU com $\tau < 0,7$ :	
Paredes e pontes térmicas planas	1,20
Pavimentos ou coberturas	0,90
Envidraçados	3,30

Tabela nº 15: Coeficientes de transmissão térmica de referência para elementos da envolvente em zona I<sub>2</sub>

Refira-se que no Anexo I apenas se encontram as folhas de cálculo referentes ao nível de qualidade N<sub>1</sub>, tendo sido adotada uma metodologia de cálculo semelhante a esta para os níveis N<sub>2</sub>, N<sub>3</sub> e N<sub>4</sub>.

### 3.1.8.1 Nível de qualidade N<sub>2</sub>

A escolha das soluções construtivas para o nível de qualidade N<sub>2</sub> é apresentada nos subcapítulos seguintes:

➤ **Coefficientes de transmissão térmica (U) em zona corrente**

- Paredes exteriores:

Materiais constituintes	Massa volúmica aparente seca ( $\rho$ ) (kg/m <sup>3</sup> )	Condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) (W/m.°C)	Espessura (cm)
Reboco tradicional	1900	1,3	2,5
Alvenaria rebocada já existente	Como se trata de uma construção posterior a 1960, admite-se uma resistência térmica de 0,872 m <sup>2</sup> .°C/W		35 (medidos no local)
Poliestireno expandido moldado (EPS)	20	0,036	3
Reboco	1900	1,3	2,5

Tabela nº 16: Materiais constituintes das paredes exteriores (N<sub>2</sub>)

$$U = \left( \frac{0,05}{1,3} + \frac{0,03}{0,036} + 0,872 + 0,13 + 0,04 \right)^{-1} = 0,52 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

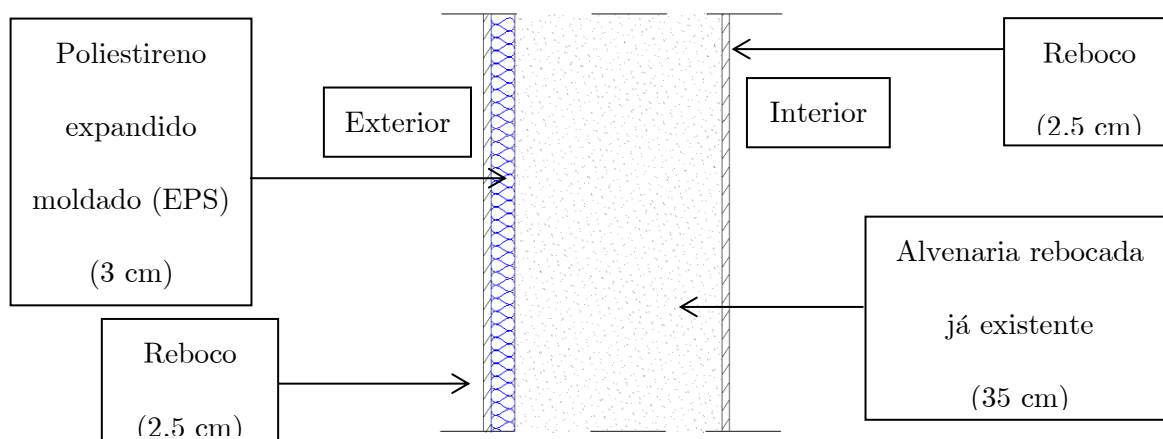


Figura nº 43: Pormenor construtivo das paredes exteriores (N<sub>2</sub>)

Propõe-se aplicar isolamento térmico pelo exterior da alvenaria, visto que, deste modo, o elemento construtivo em causa consegue acumular maior massa térmica, permitindo-lhe obter uma classe de inércia térmica mais elevada, tal como pode se verificar na Tabela nº 23.

- Cobertura inclinada:

Materiais constituintes	Massa volúmica aparente seca ( $\rho$ ) (kg/m <sup>3</sup> )	Condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) (W/m.°C)	Espessura (cm)
Tecto falso em gesso cartonado	900	0,25	1,3
Laje aligeirada pré-fabricada em blocos de betão leve	Base dos blocos > 0,30 m $R_t = 0,23 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$		20
Lã de rocha (MW)	70	0,040	8

Tabela nº 17: Materiais constituintes da cobertura inclinada (N<sub>2</sub>)

Nota: Sem formação de caixa-de-ar.

$$U_{\text{ascendente}} = \left( \frac{0,013}{0,25} + \frac{0,08}{0,040} + \frac{0,025}{1,3} + 0,23 + 0,10 + 0,04 \right)^{-1} = 0,41 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

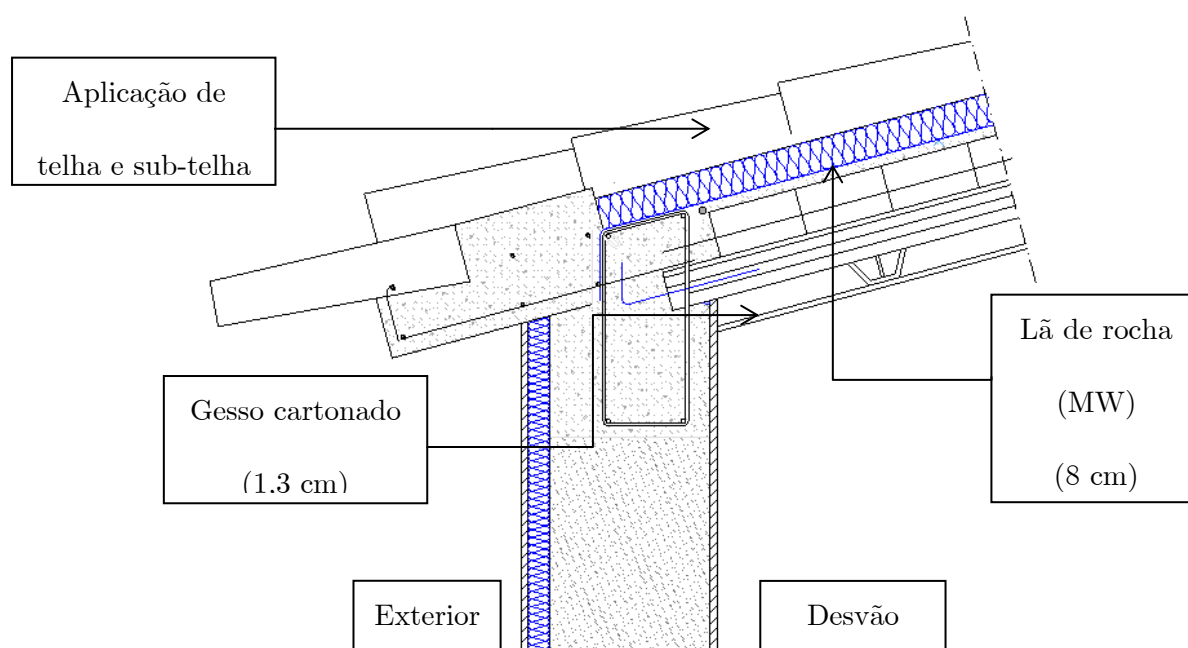


Figura nº 44: Pormenor construtivo da cobertura inclinada (N<sub>2</sub>)

A aplicação da sub-telha justifica-se pela função protetora em relação ao isolamento térmico aplicado.

- Cobertura em terraço:

Materiais constituintes	Massa volúmica aparente seca ( $\rho$ ) (kg/m <sup>3</sup> )	Condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) (W/m.°C)	Espessura (cm)
Tecto falso em gesso cartonado	900	0,25	1,3
Lã de rocha (MW)	70	0,040	8
Laje aligeirada pré-fabricada em blocos de betão leve	Base dos blocos $\leq 0,30$ m $R_t = 0,23$ m <sup>2</sup> .°C/W		20
Reboco	1900	1,3	2,5

Tabela nº 18: Materiais constituintes da cobertura em terraço (N<sub>2</sub>)

Nota: Formação de caixa-de-ar entre 15 a 100 mm ( $R_t = 0,16$  m<sup>2</sup>.°C/W)

$$U_{\text{exterior}} = \left( \frac{0,013}{0,25} + \frac{0,08}{0,040} + 0,23 + 0,16 + 0,10 + 0,04 \right)^{-1} = 0,39 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

$$U_{\text{interior}} = \left( \frac{0,013}{0,25} + \frac{0,08}{0,040} + 0,23 + 0,16 + 0,10 + 0,10 \right)^{-1} = 0,38 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

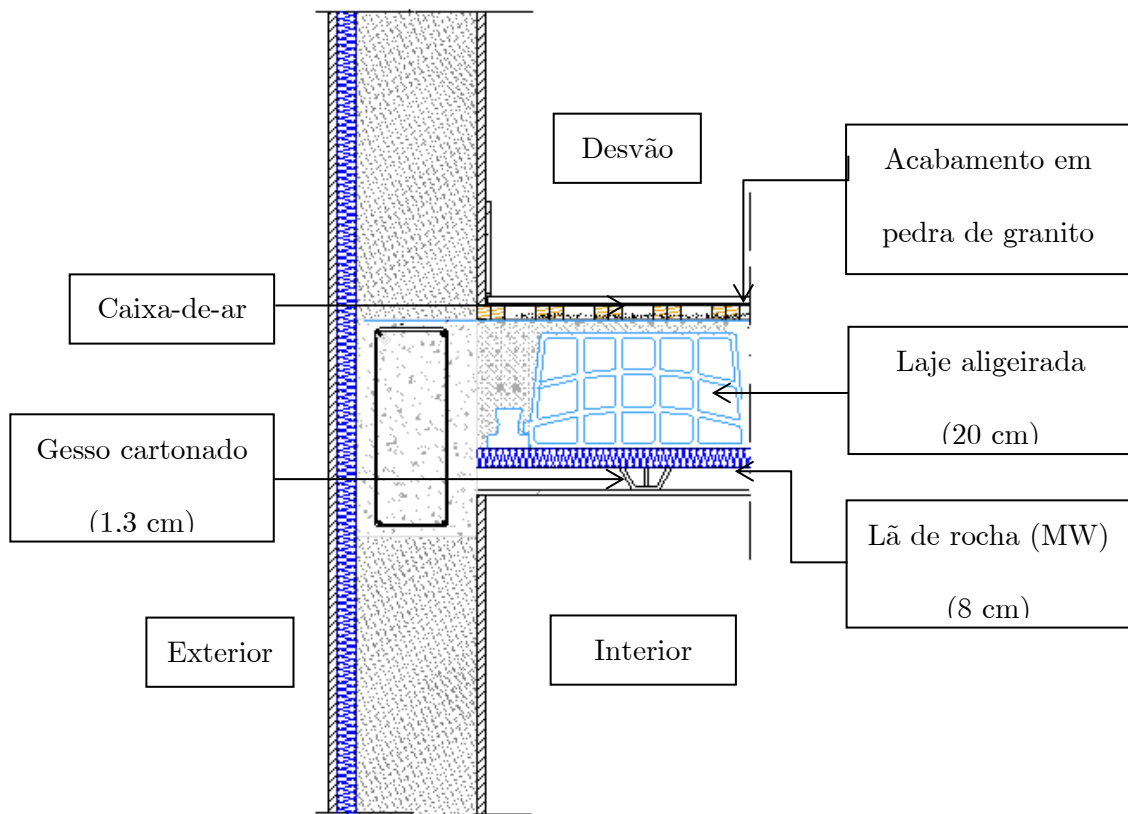


Figura nº 45: Pormenor construtivo da cobertura em terraço (N<sub>2</sub>)

➤ **Coefficientes de transmissão térmica (U) em PTP**

▪ Pilares

Materiais constituintes	Massa volúmica aparente seca ( $\rho$ ) (kg/m <sup>3</sup> )	Condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) (W/m.°C)	Espessura (cm)
Reboco tradicional	1900	1,3	2,5
Betão armado	2000	2,0	30
Poliestireno expandido moldado (EPS)	20	0,036	3
Reboco	1900	1,3	2,5

Tabela nº 19: Materiais constituintes dos pilares (N<sub>2</sub>)

$$U_{\text{exterior}} = \left( \frac{0,05}{1,3} + \frac{0,03}{0,036} + \frac{0,30}{2,0} + 0,13 + 0,04 \right)^{-1} = 0,84 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

$$U_{\text{interior}} = \left( \frac{0,05}{1,3} + \frac{0,03}{0,036} + \frac{0,30}{2,0} + 0,13 + 0,13 \right)^{-1} = 0,78 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

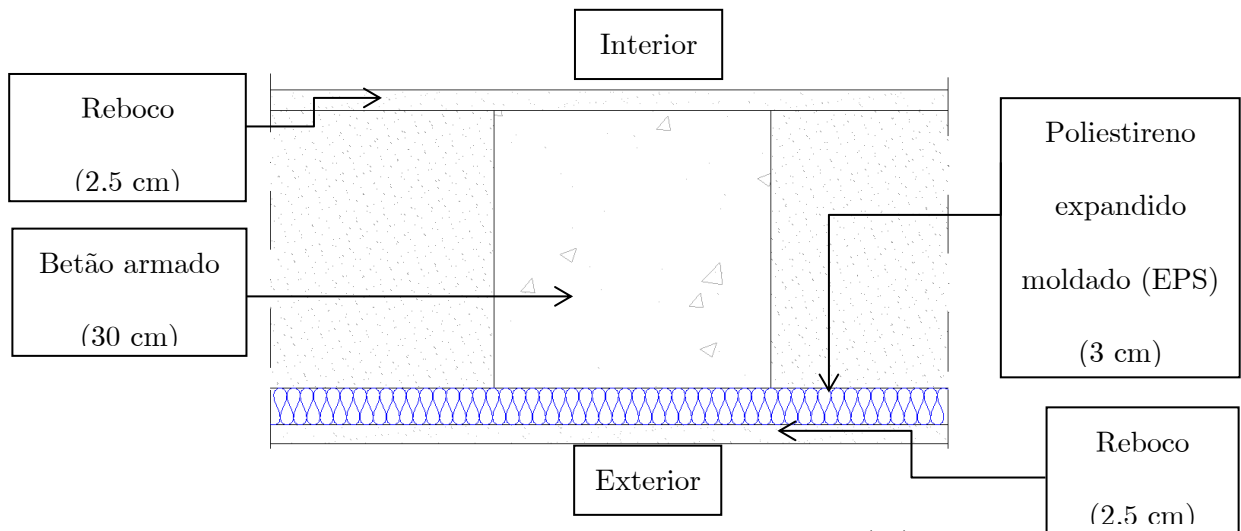


Figura nº 46: Pormenor construtivo dos pilares (N<sub>2</sub>)

▪ Vigas:

Materiais constituintes	Massa volúmica aparente seca ( $\rho$ ) (kg/m <sup>3</sup> )	Condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) (W/m.°C)	Espessura (cm)
Reboco tradicional	1900	1,3	2,5
Betão armado	2000	2,0	30
Poliestireno expandido moldado (EPS)	20	0,036	3
Reboco	1900	1,3	2,5

Tabela nº 20: Materiais constituintes das vigas (N<sub>2</sub>)

$$U_{\text{exterior}} = \left( \frac{0,05}{1,3} + \frac{0,04}{0,036} + \frac{0,30}{2,0} + 0,13 + 0,04 \right)^{-1} = 0,84 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

$$U_{\text{interior}} = \left( \frac{0,05}{1,3} + \frac{0,04}{0,036} + \frac{0,30}{2,0} + 0,13 + 0,13 \right)^{-1} = 0,78 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

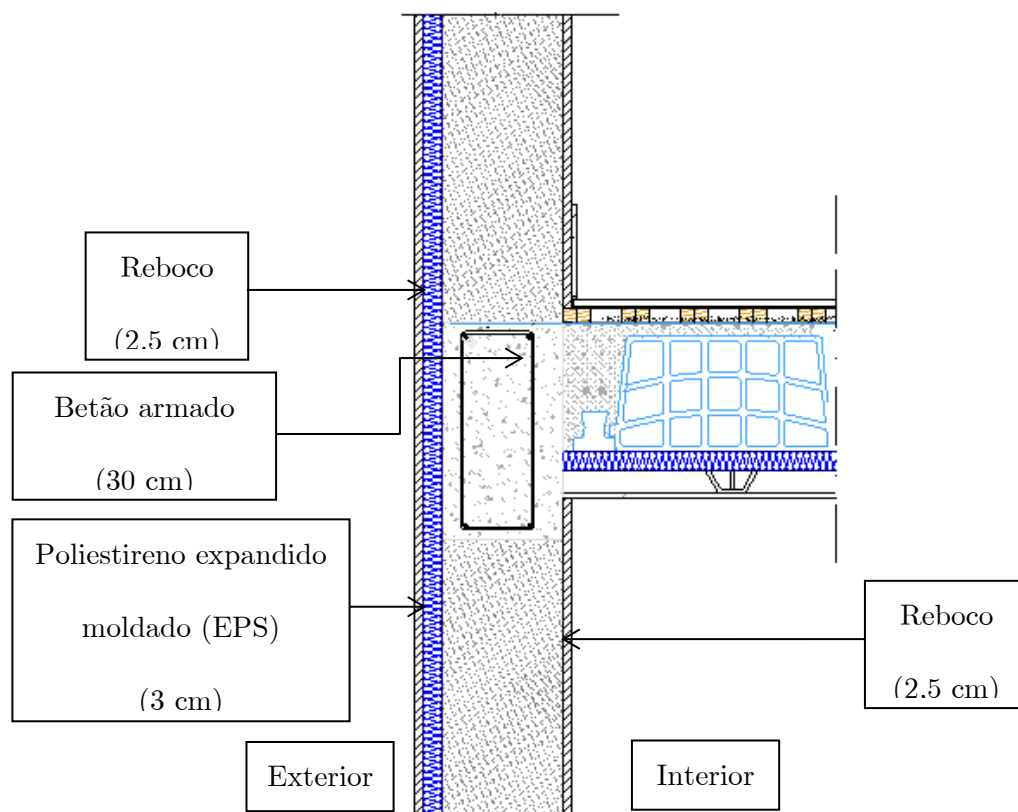


Figura nº 47: Pormenor construtivo das vigas (N<sub>2</sub>)

#### ➤ Pontes térmicas lineares

Atendendo à mudança de posição do isolamento térmico, relativamente à alvenaria, os coeficientes de transmissão térmica linear irão sofrer alterações.

Foram consideradas as seguintes pontes térmicas lineares associadas a paredes exteriores:

- ❖ Fachada com pavimento térreo com isolamento térmico:  $\psi = 0,30$ ;
- ❖ Fachada com pavimento intermédio:  $\psi = 0,20$ ;
- ❖ Duas paredes verticais exteriores:  $\psi = 0,15$ ;
- ❖ Fachada com padieira ou peitoril:  $\psi = 0$  (considera-se que a caixilharia está em contacto com o isolamento térmico);

Foram consideradas as seguintes pontes térmicas lineares a paredes interiores para espaços não-úteis com fatores de redução superiores a 0,7:

- ❖ Paredes interiores com a cobertura:  $\psi = 0,50$
- ❖ Paredes interiores com a laje de desvão:  $\psi = 0,50$

O fluxo de calor através do pavimento térreo foi quantificado pelo produto do respetivo coeficiente de transmissão térmica linear pelo perímetro:

- ❖ Perímetro de pavimento em contacto com o solo, a uma altura entre 0,05 e 1,50 m em relação ao terreno exterior:  $\psi = 1,80$

➤ **Fatores solares e coeficiente de transmissão térmica dos envidraçados**

O presente subcapítulo resume as soluções construtivas propostas para os envidraçados correspondentes à solução N<sub>2</sub>, utilizando como critério a redução do coeficiente de transmissão térmica e de fator solar. As respetivas proteções dos envidraçados verticais e horizontais mantêm-se.

- Envidraçados verticais:

Vidro <i>standard</i> duplo envidraçado de 10 mm + 16 mm (caixa-de-ar) + 10 mm	$U = 2,7 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$
	$g_{\perp v} = 0,69;$
	$g_{\perp}'_{\text{proteção exterior}} = \frac{0,09 \cdot 0,69}{0,75} = 0,08$
	$g_{\perp}'_{\text{proteção interior}} = \frac{0,35 \cdot 0,69}{0,75} = 0,32$
	$g_{\perp}'_{\text{proteção interior}} = \frac{0,63 \cdot 0,69}{0,75} = 0,58$
	$g_{\perp}' = \frac{0,08 \cdot 0,32}{0,75} = 0,034;$
	$g_{\perp}' = \frac{0,08 \cdot 0,58}{0,75} = 0,062$ (cozinha e sala a nordeste);
	$g_{\perp \text{inverno}} = 0,58;$
	$g_{\perp \text{verão}} = (0,7 \cdot 0,034) + (0,3 \cdot 0,69) = 0,23;$
	$g_{\perp \text{verão}} = (0,7 \cdot 0,062) + (0,3 \cdot 0,69) = 0,25$ (cozinha e sala a nordeste)

Tabela nº 21: Caraterísticas térmicas dos envidraçados verticais (N<sub>2</sub>)

- Envidraçados horizontais:

Vidro <i>standard</i> duplo envidraçado de 10 mm + 16 mm (caixa-de-ar) + 10 mm	$U_w = 2,7 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$
	$U_{wh} = \frac{1}{\frac{1}{U_w} - 0,04} = 3,03 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$
	$g_{\perp v} = 0,69;$ $g_{\perp inverno} = \frac{0,37 * 0,69}{0,75} = 0,34$ $g_{\perp verão} = (0,7 * 0,34) + (0,3 * 0,69) = 0,45$

Tabela nº 22: Caraterísticas térmicas dos envidraçados horizontais (N<sub>2</sub>)

➤ **Inércia térmica**

Devido à mudança da posição do isolamento térmico, em relação à alvenaria, o valor da inércia térmica do edifício irá sofrer alterações, tal como se pode verificar na Tabela n° 23:

Designação do elemento construtivo	Massa térmica superficial (mt) (Kg/m <sup>2</sup> )	Massa superficial útil (M <sub>si</sub> ) (Kg/m <sup>2</sup> )	Área (S <sub>i</sub> ) (m <sup>2</sup> )	Fator de correção (r)	M <sub>si</sub> * r * S <sub>i</sub> (Kg)
Paredes exteriores	1041	150	133,67	1	20051
Pilares	540	150	7,82	1	1173
Vigas	540	150	9,68	1	1452
Cobertura em terraço	466	150	1,95	1	293
Paredes em contacto com o desvãos	292	150	39,17	1	2938
PTP em contacto com o desvãos	813	150	39,17	1	792
Parede em contacto com o edifício adjacente	810	150	92,61	1	13981
Pavimentos em contacto com o solo	210	150	117,74	1	17661
Coberturas interiores	461	150	53,17	1	7928
Parede interiores do fogo	203	203	179,24	1	40150
Pavimentos interiores do fogo	649	300	106,18	1	31854
	640	300	6,16	1	1848

Tabela n° 23: Cálculo da massa térmica total (N<sub>2</sub>)

Para o cálculo da inércia térmica (I<sub>t</sub>) utilizou-se a seguinte expressão numérica:

$$I_t = \frac{\sum M_{si} * r * S_i}{A_p} = \frac{140121}{286,83} = 489 \text{ Kg/m}^2$$

Como 489 Kg/m<sup>2</sup> > 400 Kg/m<sup>2</sup>, logo terá uma classe de inércia térmica interior **forte**.

### 3.1.8.2 Nível de qualidade N<sub>3</sub>

A escolha das soluções construtivas para o nível de qualidade N<sub>3</sub> é apresentada nos subcapítulos seguintes:

➤ **Coefficientes de transmissão térmica (U) em zona corrente**

- Paredes exteriores:

Materiais constituintes	Massa volúmica aparente seca ( $\rho$ ) (kg/m <sup>3</sup> )	Condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) (W/m.°C)	Espessura (cm)
Reboco	1900	1,3	2,5
Alvenaria rebocada já existente	Como se trata de uma construção posterior a 1960, admite-se uma resistência térmica de 0,872 m <sup>2</sup> .°C/W		35 (medidos no local)
Poliestireno expandido elastificado (EEPS)	20	0,031	6
Reboco	1900	1,3	2,5

Tabela n° 24: Materiais constituintes das paredes exteriores (N<sub>3</sub>)

$$U = \left( \frac{0,05}{1,3} + \frac{0,06}{0,031} + 0,872 + 0,13 + 0,04 \right)^{-1} = 0,33 \text{ W/m}^2.\text{°C}$$

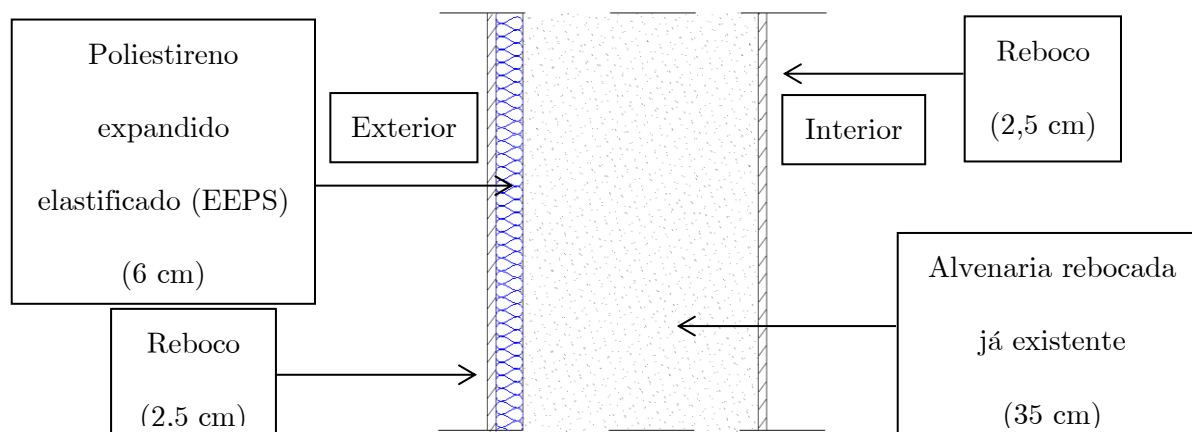


Figura n° 48: Pormenor construtivo das paredes exteriores (N<sub>3</sub>)

Propõe-se aplicar isolamento térmico pelo exterior da alvenaria, visto que, deste modo, o elemento construtivo em causa consegue acumular maior massa térmica, permitindo-lhe obter uma classe de inércia térmica mais elevada, tal como pode se verificar na Tabela nº 23.

- Cobertura inclinada:

Materiais constituintes	Massa volúmica aparente seca ( $\rho$ ) (kg/m <sup>3</sup> )	Condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) (W/m.°C)	Espessura (cm)
Tecto falso em gesso cartonado	900	0,25	1,3
Laje aligeirada pré-fabricada em blocos de betão leve	Base dos blocos > 0,30 m $R_t = 0,23 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$		20
Lã de rocha (MW)	70	0,040	10
Reboco	1900	1,3	2,5

Tabela nº 25: Materiais constituintes da cobertura inclinada (N<sub>3</sub>)

Nota: Sem formação de caixa-de-ar.

$$U_{\text{ascendente}} = \left( \frac{0,013}{0,25} + \frac{0,10}{0,040} + \frac{0,025}{1,3} + 0,23 + 0,10 + 0,04 \right)^{-1} = 0,34 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

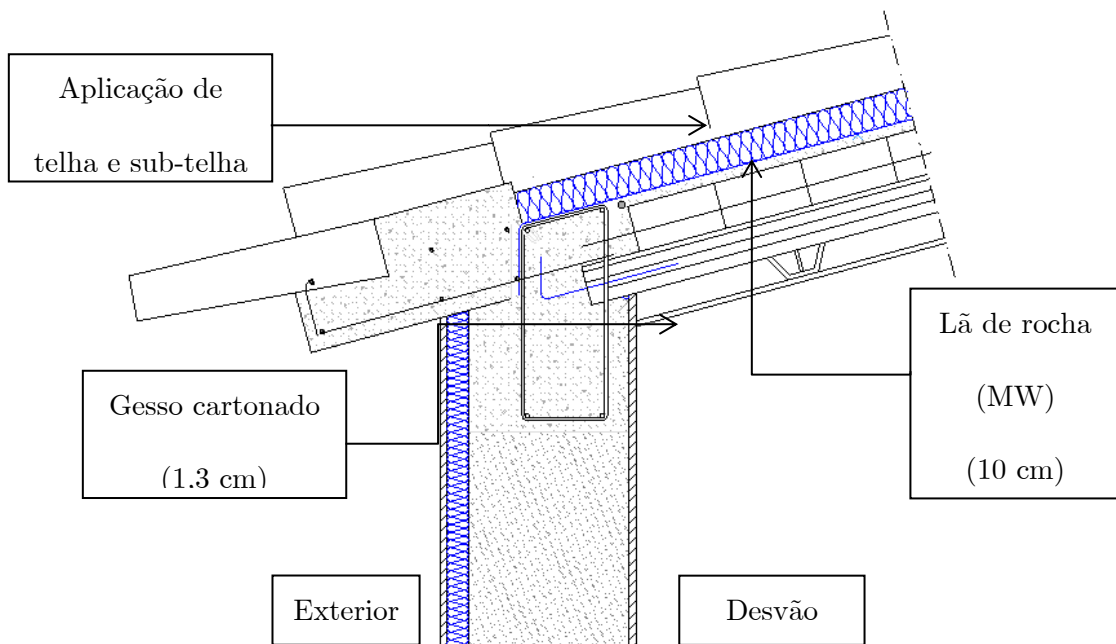


Figura nº 49: Pormenor construtivo da cobertura inclinada (N<sub>3</sub>)

A aplicação da sub-telha justifica-se pela função protetora em relação ao isolamento térmico aplicado.

- Cobertura em terraço

Materiais constituintes	Massa volúmica aparente seca ( $\rho$ ) ( $\text{kg/m}^3$ )	Condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) ( $\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$ )	Espessura (cm)
Tecto falso em gesso cartonado	900	0,25	1,3
Lã de rocha (MW)	70	0,040	10
Laje aligeirada pré-fabricada em blocos de betão leve	Base dos blocos > 0,30 m $R_t = 0,23 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$		20

Tabela nº 26: Materiais constituintes da cobertura em terraço ( $N_3$ )

Nota: Formação de caixa-de-ar entre 15 a 100 mm ( $R_t = 0,16 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$ )

$$U_{\text{exterior}} = \left( \frac{0,013}{0,25} + \frac{0,10}{0,040} + 0,23 + 0,16 + 0,10 + 0,04 \right)^{-1} = 0,32 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$$

$$U_{\text{interior}} = \left( \frac{0,013}{0,25} + \frac{0,10}{0,040} + 0,23 + 0,16 + 0,10 + 0,10 \right)^{-1} = 0,32 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$$

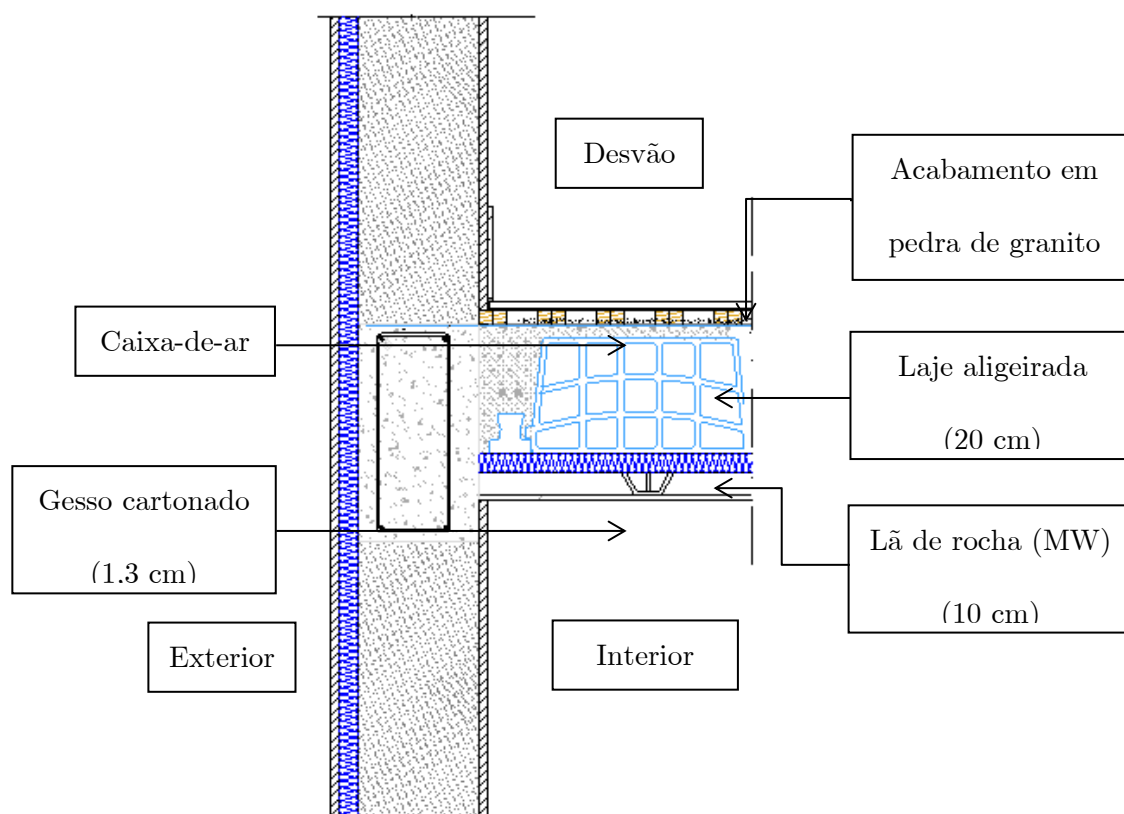


Figura nº 50: Pormenor construtivo da cobertura em terraço (N<sub>3</sub>)

➤ **Coefficientes de transmissão térmica (U) em PTP**

- Pilares:

Materiais constituintes	Massa volúmica aparente seca ( $\rho$ ) (kg/m <sup>3</sup> )	Condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) (W/m.°C)	Espessura (cm)
Reboco	1900	1,3	2,5
Betão armado	2000	2,0	30
Poliestireno expandido elastificado (EEPS)	20	0,031	6
Reboco	1900	1,3	2,5

Tabela nº 27: Materiais constituintes dos pilares (N<sub>3</sub>)

$$U_{\text{exterior}} = \left( \frac{0,05}{1,3} + \frac{0,06}{0,031} + \frac{0,30}{2,0} + 0,13 + 0,04 \right)^{-1} = 0,44 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

$$U_{\text{interior}} = \left( \frac{0,05}{1,3} + \frac{0,06}{0,031} + \frac{0,30}{2,0} + 0,13 + 0,13 \right)^{-1} = 0,42 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

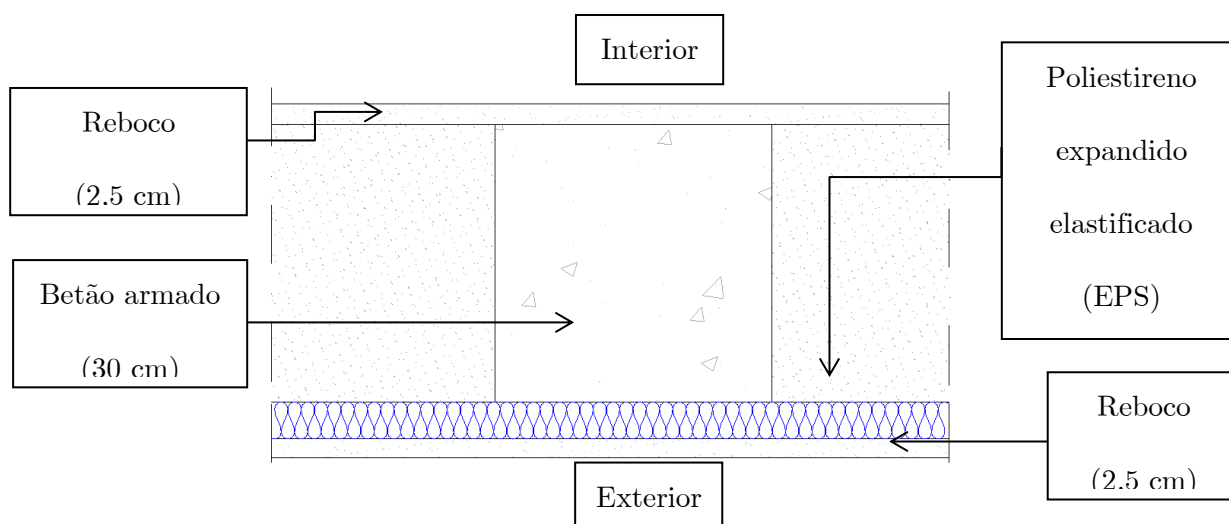


Figura nº 51: Pormenor construtivo dos pilares (N<sub>3</sub>)

▪ Vigas:

Materiais constituintes	Massa volúmica aparente seca ( $\rho$ ) (kg/m <sup>3</sup> )	Condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) (W/m.°C)	Espessura (cm)
Reboco	1900	1,3	2,5
Betão armado	2000	2,0	30
Poliestireno expandido elastificado (EEPS)	20	0,031	6
Reboco	1900	1,3	2,5

Tabela nº 28: Materiais constituintes das vigas (N<sub>3</sub>)

$$U_{\text{exterior}} = \left( \frac{0,05}{1,3} + \frac{0,06}{0,031} + \frac{0,30}{2,0} + 0,13 + 0,04 \right)^{-1} = 0,44 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

$$U_{\text{interior}} = \left( \frac{0,05}{1,3} + \frac{0,06}{0,031} + \frac{0,30}{2,0} + 0,13 + 0,13 \right)^{-1} = 0,42 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

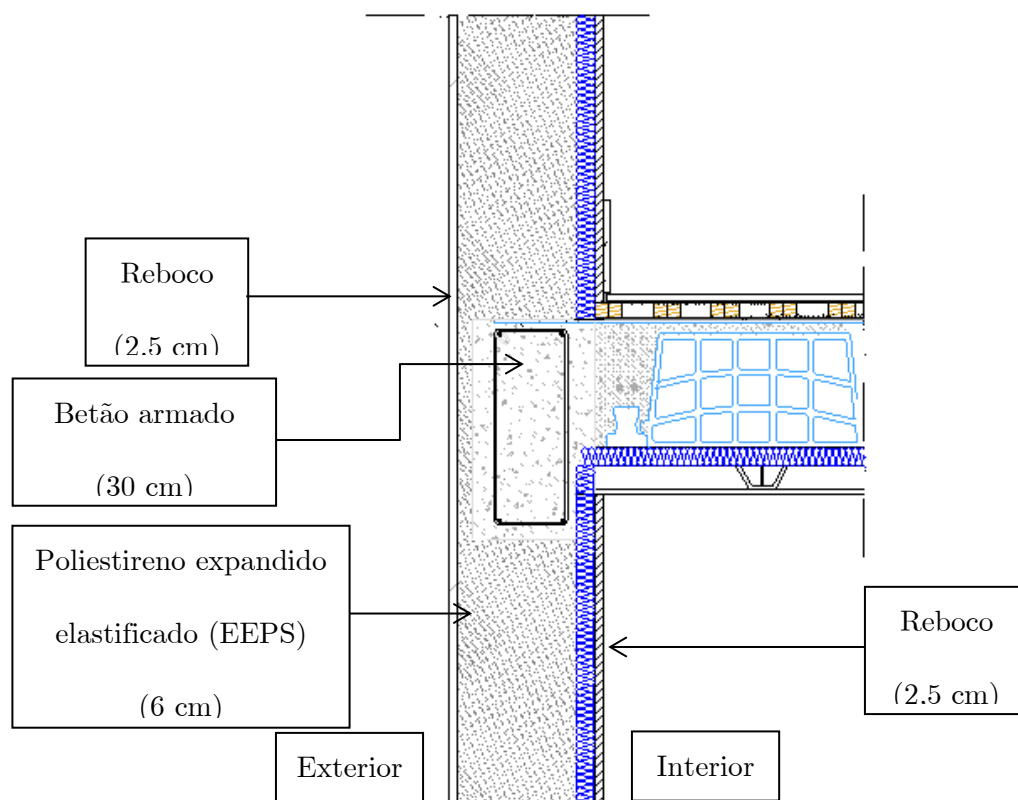


Figura nº 52: Pormenor construtivo das vigas (N<sub>3</sub>)

➤ **Pontes térmicas lineares**

Atendendo à mudança de posição do isolamento térmico, relativamente à alvenaria, os coeficientes de transmissão térmica linear irão sofrer alterações. Os valores dos coeficientes são os mesmos da solução N<sub>2</sub> e podem ser consultados no subcapítulo 4.3.1.8.1.3.

➤ **Fatores solares e coeficiente de transmissão térmica dos envidraçados**

O presente subcapítulo resume as soluções construtivas propostas para os envidraçados correspondentes à solução N<sub>3</sub>, utilizando como critério a redução do coeficiente de transmissão térmica e de fator solar. As respetivas proteções dos envidraçados verticais e horizontais mantêm-se.

- Envidraçados verticais:

Vidro de baixa emissividade térmica duplo envidraçado de 8 mm + 10 mm (árgon) + 6 mm	$U = 1,4 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$
	$g_{\perp v} = 0,39;$
	$g_{\perp}' \text{ proteção exterior} = \frac{0,09 \cdot 0,39}{0,75} = 0,035$
	$g_{\perp}' \text{ proteção interior} = \frac{0,35 \cdot 0,39}{0,75} = 0,18$
	$g_{\perp}' \text{ proteção interior} = \frac{0,63 \cdot 0,39}{0,75} = 0,33$
	$g_{\perp}' = \frac{0,035 \cdot 0,18}{0,75} = 0,0084;$
	$g_{\perp}' = \frac{0,035 \cdot 0,33}{0,75} = 0,015$ (cozinha e sala a nordeste);
	$g_{\perp \text{ inverno}} = 0,33$
	$g_{\perp \text{ verão}} = (0,7 \cdot 0,0084) + (0,3 \cdot 0,39) = 0,13$
	$g_{\perp \text{ verão}} = (0,7 \cdot 0,015) + (0,3 \cdot 0,39) = 0,13$ (cozinha e sala a nordeste)

Tabela nº 29: Características térmicas dos envidraçados verticais (N<sub>3</sub>)

- Envidraçados horizontais:

Vidro standard duplo envidraçado de 10 mm + 16 mm (caixa-de-ar) + 10 mm	$U_w = 1,4 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$
	$U_{wh} = \frac{1}{\frac{1}{U_w} - 0,04} = 1,48 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$
	$g_{\perp v} = 0,39;$
	$g_{\perp \text{ inverno}} = \frac{0,37 \cdot 0,39}{0,75} = 0,19$
	$g_{\perp \text{ verão}} = (0,7 * 0,19) * (0,3 * 0,39) = 0,25$

Tabela nº 30: Características térmicas dos envidraçados horizontais (N<sub>3</sub>)

### ➤ Inércia térmica

À semelhança do que se verificou na situação N<sub>2</sub> (consultar a Tabela nº 23), devido à mudança da posição do isolamento térmico, a inércia térmica do edifício irá sofrer alterações, passando a ter uma classe de inércia térmica **forte**.

### 3.1.8.3 Nível de qualidade $N_4$

Para a escolha do tipo de envidraçados, no nível de qualidade  $N_4$ , não foi possível seguir o critério definido no subcapítulo 4.3.1.8, visto que não existe no mercado, atualmente, uma solução disponível que cumpra esse critério. Como tal, foi escolhida uma solução de envidraçados que tivessem um coeficiente de transmissão térmica o mais próximo possível do valor definido nos critérios. A escolha das soluções construtivas para o nível de qualidade  $N_4$  é apresentada nos subcapítulos seguintes:

➤ **Coefficientes de transmissão térmica (U) em zona corrente**

- Paredes exteriores:

Materiais constituintes	Massa volúmica aparente seca ( $\rho$ ) (kg/m <sup>3</sup> )	Condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) (W/m.°C)	Espessura (cm)
Reboco	1900	1,3	2,5
Alvenaria rebocada já existente	Como se trata de uma construção posterior a 1960, admite-se uma resistência térmica de 0,872 m <sup>2</sup> .°C/W		35 (medidos no local)
Lã de rocha (MW)	150 (camada superior) e 80 (camada inferior)	0,036	20
Reboco	1900	1,3	2,5

Tabela nº 31: Materiais constituintes das paredes exteriores ( $N_4$ )

$$U = \left( \frac{0,05}{1,3} + \frac{0,20}{0,036} + 0,872 + 0,13 + 0,04 \right)^{-1} = 0,15 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

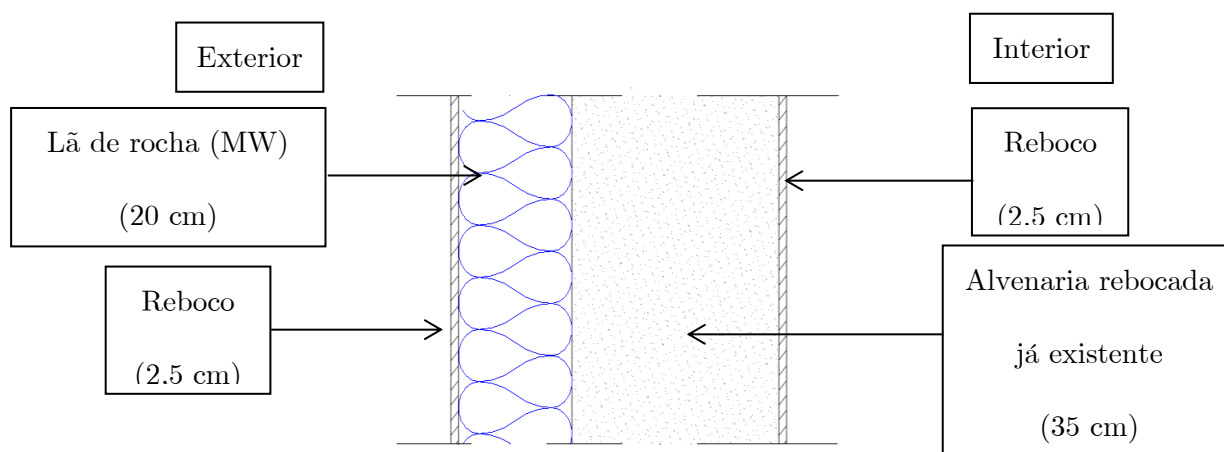


Figura nº 53: Pormenor construtivo das paredes exteriores (N<sub>4</sub>)

Propõe-se aplicar isolamento térmico pelo exterior da alvenaria, visto que, deste modo, o elemento construtivo em causa consegue acumular maior massa térmica, permitindo-lhe obter uma classe de inércia térmica mais elevada, tal como pode se verificar na Tabela nº 23. No entanto, devido às propriedades higroscópicas da lã de rocha, recomenda-se que o seu revestimento exterior seja devidamente executado e impermeabilizado, de modo a prevenir que o isolamento entre em contacto com a humidade.

- Cobertura inclinada:

Materiais constituintes	Massa volúmica aparente seca ( $\rho$ ) (kg/m <sup>3</sup> )	Condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) (W/m.°C)	Espessura (cm)
Tecto falso em gesso cartonado	900	0,25	1,3
Laje aligeirada pré-fabricada em blocos de betão leve	Base dos blocos > 0,30 m $R_t = 0,23 \text{ m}^2 \cdot \text{°C}/\text{W}$		20
Poliestireno extrudido (XPS)	40	0,037	10

Tabela nº 32: Materiais constituintes da cobertura inclinada (N<sub>4</sub>)

Nota: Sem formação de caixa-de-ar.

$$U_{\text{ascendente}} = \left( \frac{0,013}{0,25} + \frac{0,10}{0,037} + 0,23 + 0,10 + 0,04 \right)^{-1} = 0,32 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

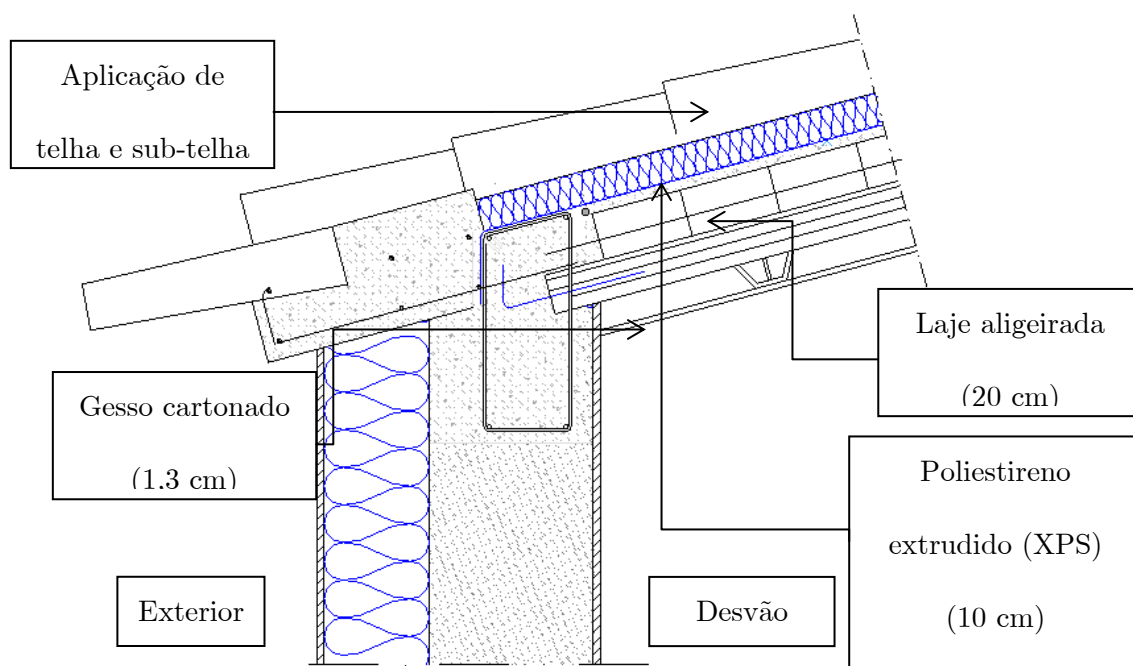


Figura nº 54: Pormenor construtivo da cobertura inclinada (N<sub>4</sub>)

A aplicação da sub-telha justifica-se pela função protetora em relação ao isolamento térmico aplicado.

▪ Cobertura em terraço

Materiais constituintes	Massa volúmica aparente seca ( $\rho$ ) (kg/m <sup>3</sup> )	Condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) (W/m.°C)	Espessura (cm)
Tecto falso em gesso cartonado	900	0,25	1,3
Poliestireno extrudido (XPS)	40	0,037	10
Laje aligeirada pré-fabricada em blocos de betão leve	Base dos blocos > 0,30 m $R_t = 0,23 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$		20

Tabela nº 33: Materiais constituintes da cobertura em terraço

Nota: Formação de caixa-de-ar entre 15 a 100 mm ( $R_t = 0,16 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$ )

$$U_{\text{exterior}} = \left( \frac{0,013}{0,25} + \frac{0,10}{0,037} + 0,23 + 0,16 + 0,10 + 0,04 \right)^{-1} = 0,30 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

$$U_{\text{interior}} = \left( \frac{0,013}{0,25} + \frac{0,10}{0,037} + 0,23 + 0,16 + 0,10 + 0,10 \right)^{-1} = 0,30 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

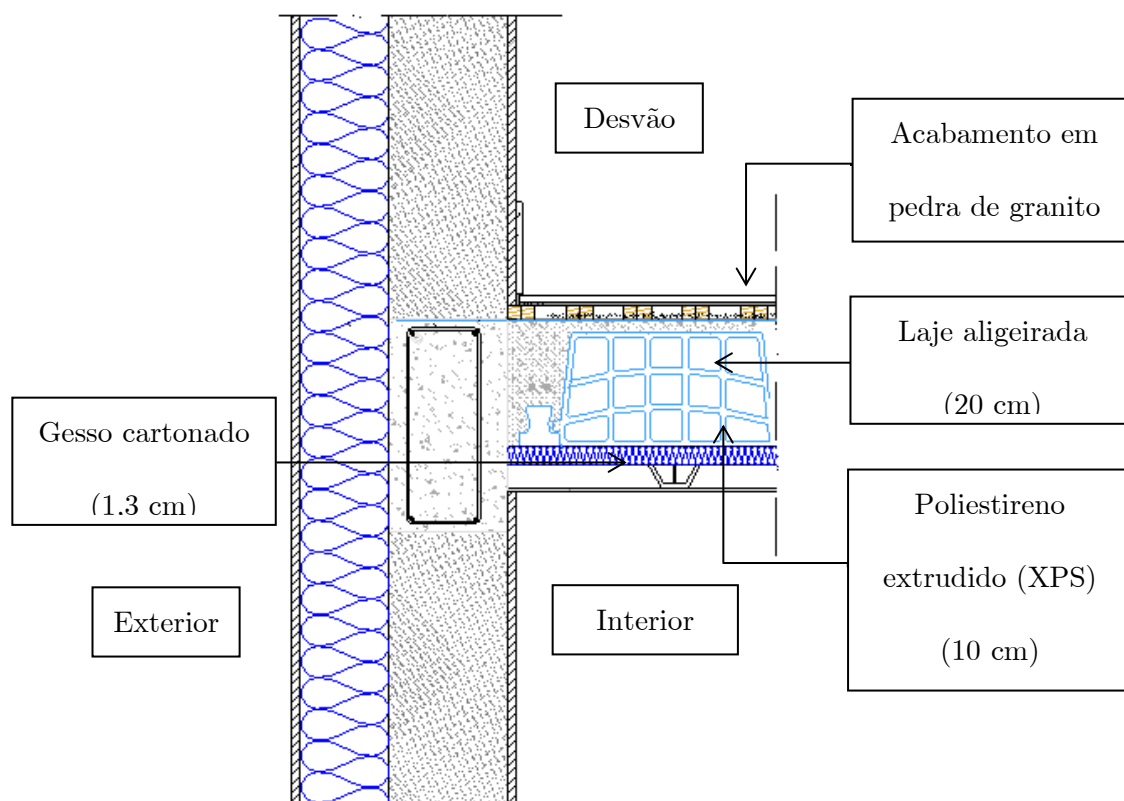


Figura nº 55: Pormenor construtivo da cobertura em terraço (N<sub>4</sub>)

➤ **Coefficientes de transmissão térmica (U) em PTP:**

- Pilares

Materiais constituintes	Massa volúmica aparente seca ( $\rho$ ) (kg/m <sup>3</sup> )	Condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) (W/m.°C)	Espessura (cm)
Reboco	1900	1,3	2,5
Betão armado	2500	2,0	30
Lã de rocha (MW)	150 (camada superior) e 80 (camada inferior)	0,036	20
Reboco	1900	1,3	2,5

Tabela nº 34: Materiais constituintes dos pilares (N<sub>4</sub>)

$$U_{\text{exterior}} = \left( \frac{0,05}{1,3} + \frac{0,20}{0,036} + \frac{0,30}{2,0} + 0,13 + 0,04 \right)^{-1} = 0,17 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$U_{\text{exterior}} = \left( \frac{0,05}{1,3} + \frac{0,20}{0,036} + \frac{0,30}{2,0} + 0,13 + 0,13 \right)^{-1} = 0,17 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

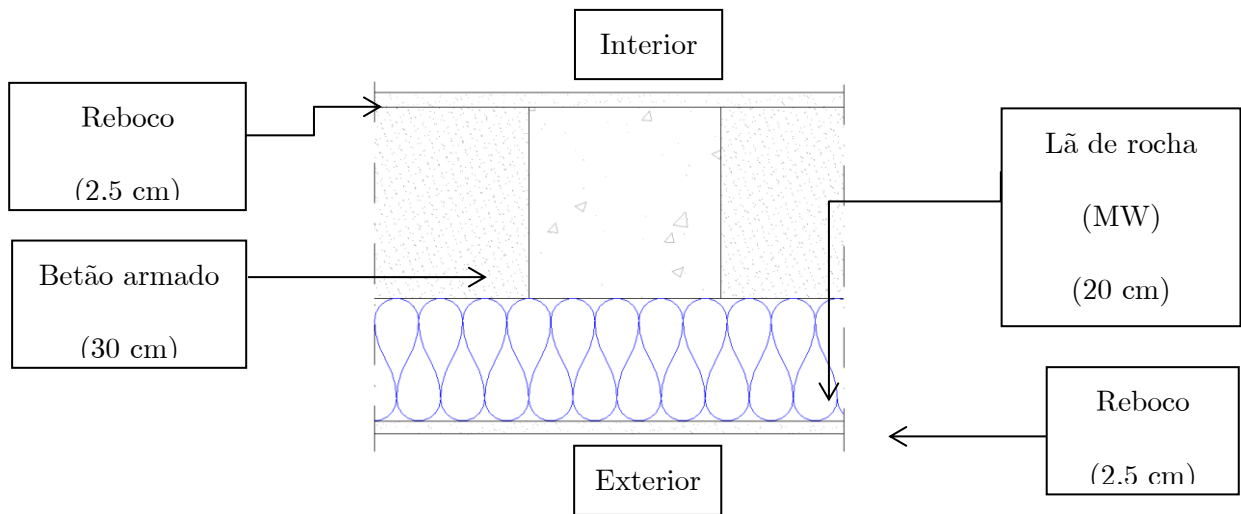


Figura nº 56: Pormenor construtivo dos pilares (N<sub>4</sub>)

- Vigas:

Materiais constituintes	Massa volúmica aparente seca ( $\rho$ ) (kg/m <sup>3</sup> )	Condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) (W/m.°C)	Espessura (cm)
Reboco	1900	1,3	2,5
Betão armado	2500	2,0	30
Lã de rocha (MW)	150 (camada superior) e 80 (camada inferior)	0,036	20
Reboco	1900	1,3	2,5

Tabela nº 35: Materiais constituintes dos pilares (N<sub>4</sub>)

$$U_{\text{exterior}} = \left( \frac{0,05}{1,3} + \frac{0,20}{0,036} + \frac{0,30}{2,0} + 0,13 + 0,04 \right)^{-1} = 0,17 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$U_{\text{exterior}} = \left( \frac{0,05}{1,3} + \frac{0,20}{0,036} + \frac{0,30}{2,0} + 0,13 + 0,13 \right)^{-1} = 0,17 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

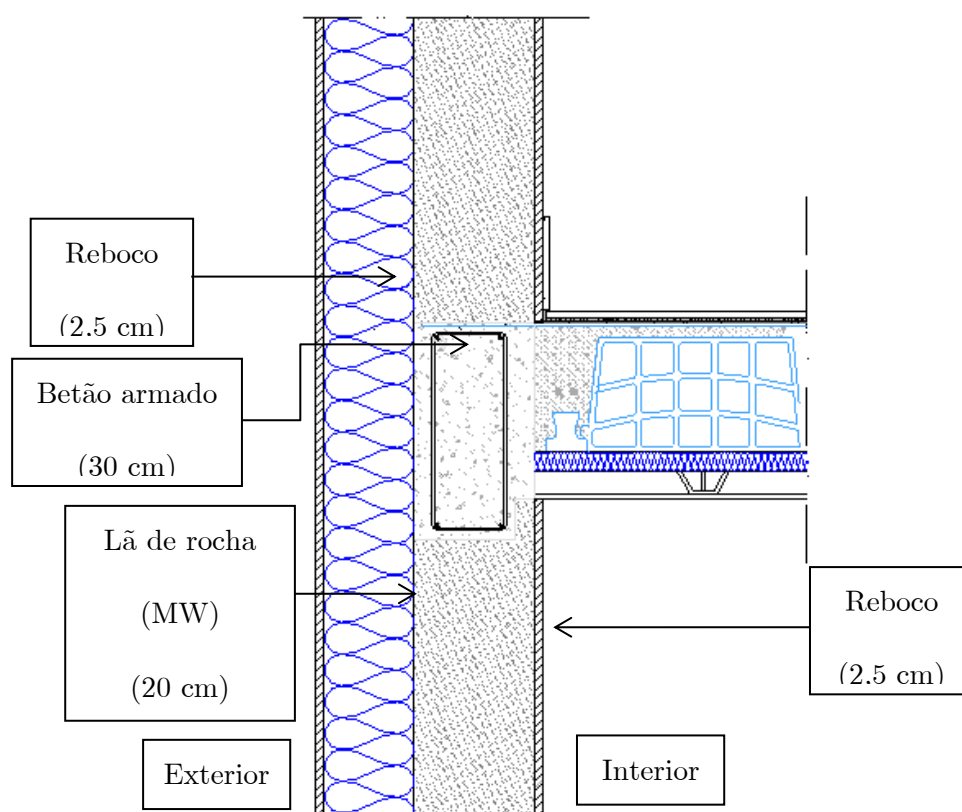


Figura nº 57: Pormenor construtivo das vigas (N<sub>4</sub>)

➤ **Pontes térmicas lineares**

Atendendo à mudança de posição do isolamento térmico, relativamente à alvenaria, os coeficientes de transmissão térmica linear irão sofrer alterações. Os valores dos coeficientes são os mesmos da solução N<sub>2</sub> e podem ser consultados no subcapítulo 4.3.1.8.1.3.

➤ **Fatores solares e coeficiente de transmissão térmica dos envidraçados**

O presente subcapítulo resume as soluções construtivas propostas para os envidraçados correspondentes à solução N<sub>4</sub>, utilizando como critério a redução do coeficiente de transmissão térmica e de fator solar. As respetivas proteções dos envidraçados verticais mantêm-se e os envidraçados horizontais já não dispõem de qualquer dispositivo de oclusão noturna.

- Envidraçados verticais

Vidro de baixa emissividade térmica, mais controlo solar, duplo envidraçado de 8 mm + 20 mm (árgon) + 8 mm	$U = 1,1 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$
	$g_{\perp v} = 0,15;$
	$g_{\perp}'_{\text{proteção exterior}} = \frac{0,09 \cdot 0,15}{0,75} = 0,018$
	$g_{\perp}'_{\text{proteção interior}} = \frac{0,35 \cdot 0,15}{0,75} = 0,07$
	$g_{\perp}'_{\text{proteção interior}} = \frac{0,63 \cdot 0,15}{0,75} = 0,13$
	$g_{\perp}' = \frac{0,018 \cdot 0,07}{0,75} = 0,0017;$
	$g_{\perp}' = \frac{0,018 \cdot 0,13}{0,75} = 0,0031$ (cozinha e sala a nordeste);
	$g_{\perp \text{inverno}} = 0,13;$
	$g_{\perp \text{verão}} = (0,7 \cdot 0,0017) + (0,3 \cdot 0,15) = 0,05$
	$g_{\perp \text{verão}} = (0,7 \cdot 0,0031) + (0,3 \cdot 0,15) = 0,05$ (cozinha e sala a nordeste)

Tabela nº 36: Caraterísticas térmicas dos envidraçados verticais (N<sub>4</sub>)

- Envidraçados horizontais:

Vidro de baixa emissividade térmica, mais controlo solar, duplo envidraçado de 8 mm + 20 mm (árgon) + 8 mm	$U_w = 1,1 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$
	$U_{wh} = \frac{1}{\frac{1}{U_w} - 0,04} = 1,15 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$
	$g_{\perp v} = 0,15;$
	$g_{\perp \text{inverno}} = \frac{0,37 \cdot 0,15}{0,75} = 0,074$
	$g_{\perp \text{verão}} = (0,7 * 0,074) + (0,3 * 0,15) = 0,10$

Tabela nº 37: Caraterísticas térmicas dos envidraçados horizontais (N<sub>4</sub>)

### ➤ Inércia térmica

À semelhança do que se verificou na situação N<sub>2</sub> e N<sub>3</sub> (consultar a Tabela nº 23), devido à mudança da posição do isolamento térmico, a inércia térmica do edifício irá sofrer alterações, passando a ter uma classe de inércia térmica **forte**.

### 3.1.9 Balanço energético

No presente subcapítulo estão apresentados os resultados do balanço energético de todos os níveis de qualidade estudados. De modo a facilitar a consulta do balanço energético, recomenda-se a consulta da Tabela nº 38, onde estão resumidos todos os coeficientes de transmissão térmica calculados para todos os níveis de qualidade (U) em  $W/m^2 \cdot ^\circ C$ .

Elementos construtivos	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>4</sub>
Paredes exteriores	0,43	0,52	0,33	0,15
Paredes de separação do edifício adjacente	0,95	0,95	0,95	0,95
Paredes interiores de separação entre o espaço útil e os desvãos	0,50	0,50	0,50	0,50
Porta exterior	3,33	3,33	3,33	3,33
Porta interior de separação do desvão não-útil	2,56	2,56	2,56	2,56
Cobertura inclinada	0,84 (ascendente)	0,41 (ascendente)	0,34 (ascendente)	0,32 (ascendente)
Cobertura em terraço	0,75 (exterior)	0,39 (exterior)	0,32 (exterior)	0,30 (exterior)
	0,72 (interior)	0,38 (interior)	0,32 (interior)	0,30 (interior)
Pontes térmicas planas	0,61 (exterior)	0,84 (exterior)	0,44 (exterior)	0,17 (exterior)
	0,58 (interior)	0,78 (interior)	0,42 (interior)	0,17 (interior)
Envidraçados verticais	3,90	2,70	1,40	1,10
Envidraçados horizontais	3,06	3,03	1,48	1,15

Tabela nº 38: Coeficientes de transmissão térmica calculados para todos os níveis de qualidade

Os resultados obtidos do balanço energético de todos os níveis de qualidade estudados podem ser consultados nos seguintes parágrafos:

Perdas por renovação de ar: 263,31 W/ $^\circ C$  (FCIV.1d)

Estação de Aquecimento:

Soluções construtivas da envolvente opaca	Perdas pela envolvente opaca exterior (W/°C) (FCIV.1a)	Perdas pela envolvente interior (W/°C) (FCIV.1b)	Perdas pelos envidraçados (W/°C) (FCIV.1c)	Ganhos solares brutos (kWh/ano) (FCIV.1e)
N <sub>1</sub>	242,09	98,20	174,20	6613,41
N <sub>2</sub>	197,88	87,92	126,14	4894,84
N <sub>3</sub>	160,95	84,08	64,70	2818,46
N <sub>4</sub>	130,88	82,13	57,31	1101,37

Tabela nº 39: Balanço energético de todos os níveis de qualidade estudados para a estação de aquecimento

Através da análise da Tabela nº 39, verificou-se que o nível N<sub>4</sub> foi o que teve menos perdas pelas envolventes e menos ganhos solares brutos na estação de Aquecimento. Este dado justifica-se pela utilização de um vidro com funções de controlo solar no nível N<sub>4</sub>, cujo fator solar é bastante baixo ( $g_{\rightarrow v} = 0,15$ ), reduzindo, de uma forma bastante significativa, os ganhos solares brutos e pela utilização do isolamento em lã de rocha de 20 cm, que por sua vez, irá reduzir as perdas térmicas pela envolvente opaca exterior. Por esse mesmo motivo, recomenda-se apenas utilização destas soluções construtivas (N<sub>4</sub>) para ambientes com condições de temperatura extremas, nas quais se pretende evitar o sobreaquecimento do interior do edifício durante a estação de Arrefecimento, através do controlo solar, e nas quais se pretende evitar as perdas térmicas pela envolvente opaca exterior durante a estação de Aquecimento.

Verificou-se que os ganhos solares brutos sofrem um decréscimo linear, desde o nível N<sub>1</sub>, até ao nível N<sub>4</sub>. Este dado justifica-se pelo facto dos seus respetivos fatores solares também sofrerem um decréscimo linear, desde o nível N<sub>1</sub> até ao nível N<sub>4</sub>.

É possível também verificar que a diferença nas perdas pelos envidraçados entre o nível  $N_3$  e  $N_4$  será muito reduzida, visto que os respetivos coeficientes de transmissão térmica (U) também não registam grande diferença ( $1,4 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$  e  $1,1 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$ , respetivamente).

As perdas pela envolvente interior são muito pouco significativas, visto que o único elemento da envolvente interior que irá sofrer alterações nos níveis de qualidade é a laje de esteira que separa o espaço útil interior dos desvãos não-ventilados.

Soluções construtivas	Necessidades brutas de aquecimento (kWh/ano) (FCIV.2)	Ganhos úteis na estação de Aquecimento (kWh/ano) (FCIV.1e)	$N_{ic}$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano) (FCIV.2)
$N_1$	30053,93	11433,98	64,92
$N_2$	26091,33	10295,31	55,07
$N_3$	22142,46	8265,89	48,38
$N_4$	20619,20	6597,44	48,89

Tabela nº 40: Necessidades de aquecimento de todos os níveis de qualidade estudados

A Tabela nº 40 demonstra que a partir do nível  $N_2$ , as necessidades brutas de aquecimento vai decrescendo, tal como será natural, devido à redução das perdas térmicas totais. É também possível verificar que o  $N_{ic}$  do nível  $N_4$  acabou por ser ligeiramente superior ao nível  $N_3$ , devido ao facto do nível  $N_4$  utilizar vidros de baixa emissividade térmica, reduzindo, drasticamente, os seus ganhos solares, e, conseqüentemente, aumentado as suas necessidades nominais.

Estação de Arrefecimento:

Soluções construtivas da envolvente opaca	Perdas (W/°C) (FCV.1a)	Ganhos pela envolvente opaca exterior (kWh) (FCV.1c)	Ganhos pelos envidraçados (kWh) (FCV.1d)	N <sub>vc</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano) (FCV.1g)
N <sub>1</sub>	522,74	543,85	3862,42	5,96
N <sub>2</sub>	490,05	638,68	3313,19	3,38
N <sub>3</sub>	396,09	430,03	1841,31	2,31
N <sub>4</sub>	359,88	245,62	723,43	1,13

Tabela n° 41: Balanço energético de todos os níveis de qualidade estudados para a estação de arrefecimento

Pela análise da Tabela n° 41 verificou-se que os ganhos solares pela envolvente opaca exterior no nível N<sub>2</sub> são superiores aos do nível N<sub>1</sub>. Este dado justifica-se pelo facto de a solução construtiva para as paredes exteriores do nível N<sub>2</sub> ter um coeficiente de transmissão térmica superior ao de N<sub>1</sub>, resultando em maiores ganhos solares pela sua envolvente opaca exterior.

Na Tabela n° 42 estão representados os ganhos térmicos e as perdas térmicas totais das soluções construtivas adotadas:

Soluções construtivas	Ganhos úteis na estação de Aquecimento (kWh/ano) (FCIV.1e)	Perdas totais (kWh) (FCV.1a)	Ganhos totais na estação de Arrefecimento (kWh) (FCV.1f)
N <sub>1</sub>	11433,98	9183,42	7765,62
N <sub>2</sub>	10295,31	8609,14	7311,21
N <sub>3</sub>	8265,89	6958,58	5630,69
N <sub>4</sub>	6597,44	6322,34	4328,40

Tabela n° 42: Ganhos e perdas térmicas totais de todos os níveis de qualidade

Feita uma análise da Tabela n° 42 é possível concluir, que, num contexto geral, o nível que apresenta melhores resultados energéticos, em relação aos ganhos e perdas térmicas, é o nível N<sub>4</sub>.

Ganhos internos: 3359,35 kWh (FCV.1e)

Nos seguintes parágrafos são apresentados todos os valores máximos limite correspondentes às necessidades nominais anuais da fração autónoma em estudo:

- Necessidades nominais anuais globais de aquecimento máximas ( $N_i$ ): 68,10 kWh/m<sup>2</sup>.ano;
- Necessidades nominais anuais globais de arrefecimento máximas ( $N_v$ ): 16,00 kWh/m<sup>2</sup>.ano;
- Necessidades nominais anuais globais para preparação de AQS máximas ( $N_a$ ): 28,86 kWh/m<sup>2</sup>.ano;
- Necessidades nominais anuais globais de energia primária máximas ( $N_t$ ): 4,65 kgep/m<sup>2</sup>.ano.

Na Tabela nº 48 estão representados os valores das necessidades das necessidades energéticas que variam conforme a solução adotada, assim como a respetiva classe energética. As unidades estão expressas em kWh/m<sup>2</sup>.ano para  $N_{ic}$ ,  $N_i$ ,  $N_{vc}$  e  $N_v$  e em kgep/m<sup>2</sup>.ano para  $N_{tc}$  e  $N_t$ :

Soluções construtivas	$N_{ic}$	$N_i$	$N_{vc}$	$N_v$	$N_{tc}$	$N_t$	R	Classe
$N_1$	64,92	68,10	5,96	16,00	1,68	4,65	0,36	A
$N_2$	55,07		3,38		1,55		0,33	A
$N_3$	48,38		2,30		1,47		0,32	A
$N_4$	48,89		1,13		1,46		0,32	A

Tabela nº 43: Resumo das verificações relativas às necessidades nominais de energia para todos os níveis de qualidade

Necessidades nominais anuais globais para preparação de AQS ( $N_{ac}$ ): 10,74 kWh/m<sup>2</sup>.ano (logo cumpre).

Verifica-se, através da análise da Tabela nº 43, que a classe energética do edifício não sofrerá alterações em qualquer um dos níveis de qualidade.

Através da análise energética de todos os níveis de qualidade estudados, foi possível atribuir a respetiva classificação energética, conforme pode ser verificado no Gráfico nº 9:

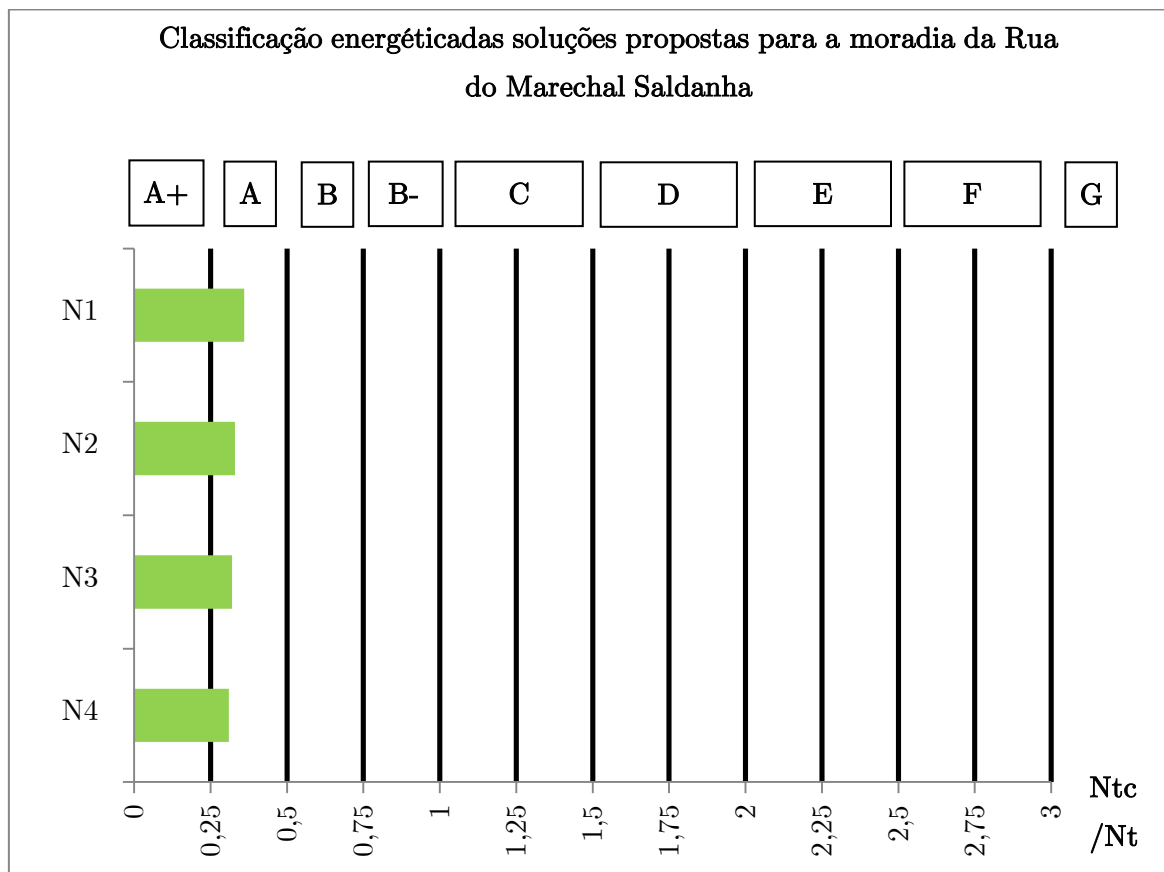


Gráfico nº 9: Classificação energética das soluções propostas para a moradia da Rua do Marechal Saldanha

### 3.2 Fração autónoma em estudo – Lugar da Quintã, Espargo

O projeto térmico desenvolvido no presente subcapítulo refere-se à construção de uma moradia unifamiliar que o requerente, Pedro Lopes, pretende levar a efeito, no lugar da Quintã, freguesia de Espargo, concelho do Santa Maria da Feira.

Uma vez que se trata de uma moradia unifamiliar localizada no interior de uma zona urbana (loteamento), contabilizou-se um ângulo de sombreamento no horizonte de 45°.



Figura nº 58: Fachada principal do edifício

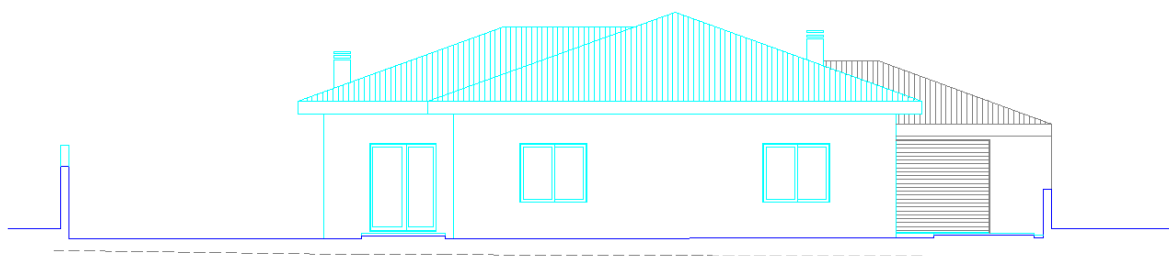


Figura nº 59: Fachada principal do edifício em formato .dwg

Os documentos analisados para o correto desenvolvimento deste estudo foram:

- Plantas e cortes fornecidos pela arquitetura;
- Plantas estruturais fornecidas pelo projetista de betão armado;

### 3.2.1 Tipologia de edifício

O edifício é da tipologia T3 e é constituído por uma fração autónoma que se desenvolve num único piso. A compartimentação dos espaços interiores foi concebida da seguinte forma:

*hall* de entrada e distribuição, cozinha, sala, uma casa de banho, escritório, três quartos, um deles com banho privativo, e uma sala de arrumos.

Prevê-se a também a construção de uma garagem, à qual estará anexada dois compartimentos para arrumos (não aquecidos), não tendo sido considerados para o estudo do comportamento térmico da fração autónoma (FA).

A fachada principal está orientada a nordeste (NE), enquanto as restantes fachadas se encontram orientadas a sudeste (SE), a sudoeste (SW) e a noroeste (NW).

A planta do edifício pode ser visualizada na Figura nº 60.

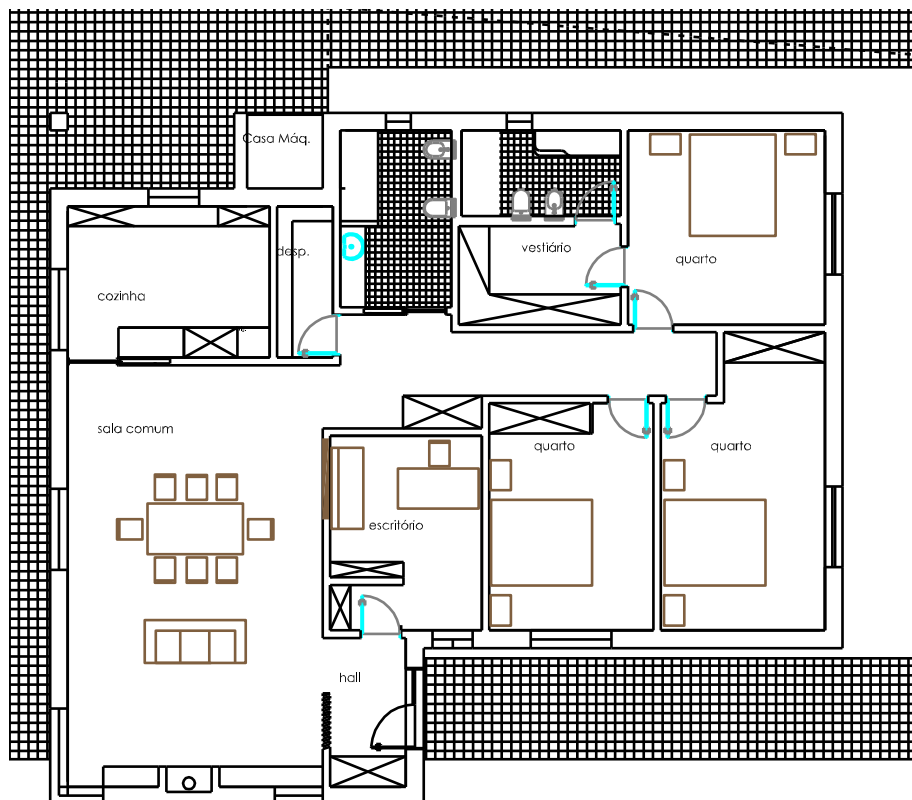


Figura nº 60: Planta do rés-do-chão

### 3.2.2 Dados climáticos

Conforme o Quadro III.1 do Anexo III do RCCTE, a zona climática de Inverno é I<sub>2</sub> e a zona climática de Verão é V<sub>1</sub>.Norte. O edifício situa-se a uma altitude de 108 metros, apresentando as seguintes características climáticas:

- Estação de aquecimento:

- ❖ Graus-dias de aquecimento (GD): 1710 °C.dias;
- ❖ Duração da estação de aquecimento: 6 meses;
- ❖ Energia solar média incidente numa superfície orientada a sul (G<sub>sul</sub>): 108 kWh/m<sup>2</sup>.mês.

- Estação de arrefecimento:

- ❖ Temperatura média: 19 °C
- ❖ Intensidade de radiação: NE= 300; SE= 430; SW= 430; NW= 300 (kWh/m<sup>2</sup>)

### 3.2.3 Envolventes e coeficientes de redução de temperatura

Para cada um dos espaços não-úteis foi determinado o respetivo coeficiente de redução térmica ( $\tau$ ), de acordo com a metodologia proposta no RCCTE:

Casa das máquinas:

Área em contacto com o interior (A<sub>i</sub>): 3,65 m<sup>2</sup>

Área em contacto com o exterior (A<sub>u</sub>): 25,35 m<sup>2</sup>

$$\frac{A_i}{A_u} = \frac{3,65}{25,35} = 0,144 \quad \rightarrow \quad \tau = 0,95$$

Desvão não acessível e não ventilado:

Área em contacto com o interior (A<sub>i</sub>): 21,57 m<sup>2</sup>

Área em contacto com o exterior (A<sub>u</sub>): 15,75 m<sup>2</sup>

$$\frac{A_i}{A_u} = \frac{21,57}{15,75} = 1,37 \quad \rightarrow \quad \tau = 0,6$$

Desvão sanitário (considerou-se um espaço fortemente ventilado):

$$\tau = 1,0$$

Nas figuras seguintes estão marcadas as diferentes envolventes desta FA, tendo sido utilizado o seguinte esquema de cores:

- Envolvente exterior:
- Envolvente interior com requisitos de interior:
- Envolvente interior com requisitos de exterior ( $\tau > 0,7$ ):

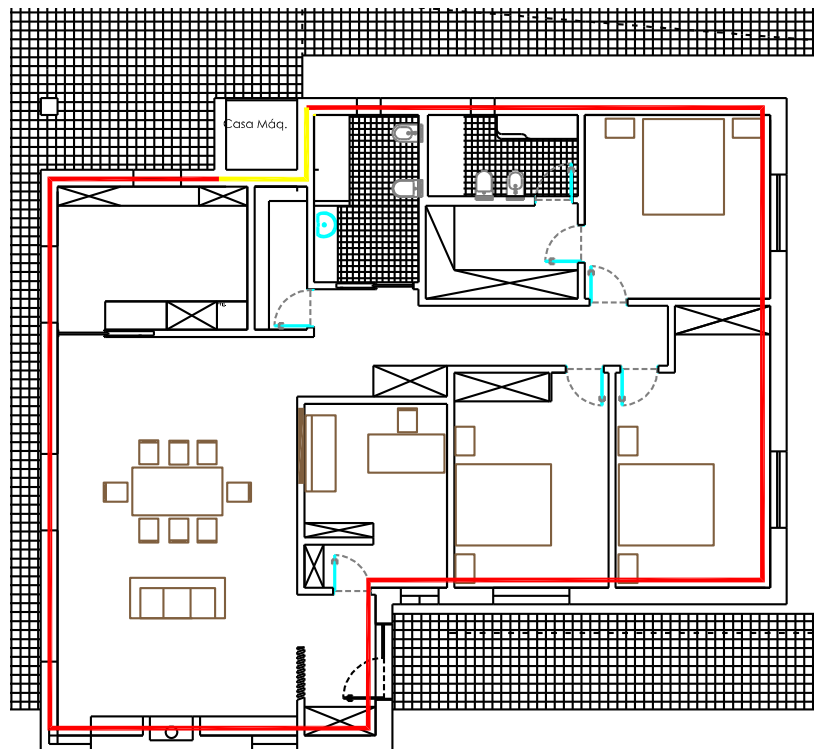


Figura nº 61: Planta do rés-do-chão

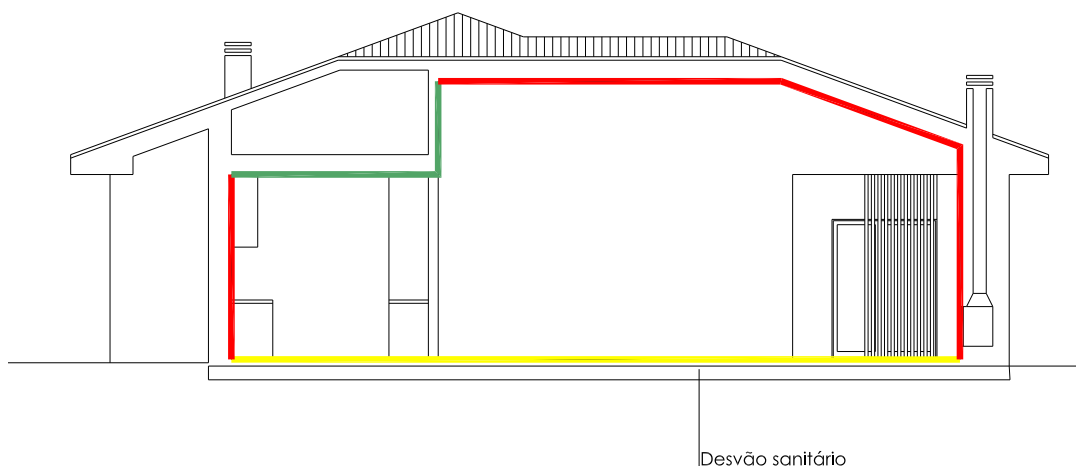


Figura nº 62: Corte AA''

### 3.2.4 Sistemas de preparação de Águas Quentes Sanitárias

A contabilização das necessidades de energia para o sistema de preparação de Águas Quentes Sanitárias (AQS) vem não só fixar um limite máximo para este parâmetro, como também impor a instalação de coletores solares térmicos, nos casos em que exista exposição solar adequada. Estes equipamentos devem ser certificados, de acordo com as normas e legislação em vigor, instalados por técnicos acreditados pela Direção Geral de Energia e Geotecnia (DGEG) e, cumulativamente, deve existir um contrato de manutenção por um período mínimo de seis anos após a instalação.

Prevê-se a instalação de um sistema solar térmico individual de circulação forçada, composto por dois coletores solares planos, perfazendo uma área total de 4,0 m<sup>2</sup>, instalado na cobertura com azimute de 45° e inclinação de 34°, com um ângulo de obstruções no horizonte de 3°. O depósito acumulador deve possuir 300 litros de capacidade com permutador de calor em serpentina, com eficácia de 55%, localizado no interior da fração e instalado na posição vertical, construído em inox e possuindo isolamento térmico em espuma rígida de poliuretano com espessura de 50 mm. O controlo do sistema é efetuado por um comando diferencial ligado a sondas de temperatura NTC. Os painéis têm certificação “DIN CERTCO”.

Considerou-se como sistema auxiliar do aquecimento de águas quentes sanitárias um esquentador a gás, com uma potência térmica prevista de 23,6 kW, eficiência a 84% da carga nominal de 100%, alimentada a gás natural.

As características e os cálculos da contribuição do sistema solar foram com recurso à ferramenta informática “SOLTERM”, cuja listagem, tal como referido anteriormente, pode ser consultada no Anexo IV.

### **3.2.5 Sistemas de climatização**

No que diz respeito ao sistema de arrefecimento, não se prevê a instalação de nenhum equipamento, pelo que se considerou o sistema por defeito previsto na regulamentação: máquina frigorífica com eficiência nominal ( $\eta_i$ ) de 3,00.

Para o sistema de aquecimento prevê-se a utilização de um esquentador para aquecimento central, com potência térmica de 23 kW, eficiência a 30% da carga nominal de 80%, alimentado a gás natural, interligado a 8 ventiladores distribuídos pelas várias divisões que compõem a fração (sala de estar, cozinha, quartos, banhos, escritório), através de tubagens de polietileno reticulado (PEX), servindo a água como fluido de transporte e controlado por válvulas termoestáticas.

### **3.2.6 Sistema de ventilação**

O edifício encontra-se, aproximadamente, a uma distância de 7,69 km da costa, conforme a imagem recolhida através da ferramenta informática “*Google Earth*” (Figura nº 63) e está implantado a uma altitude aproximada de 108 metros (Região A).

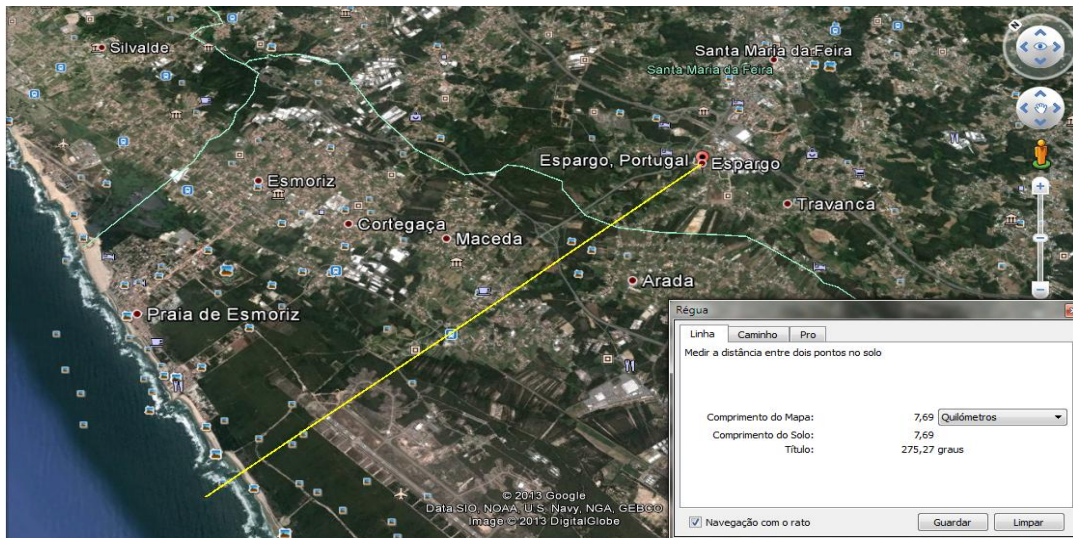


Figura nº 63: Distância medida entre a moradia e a costa (Fonte: *Google Earth*)

A moradia encontra-se em zona rural, pelo qual que a sua rugosidade será do tipo II. Assim, com uma altura acima do solo inferior a 10 metros e pertencendo à região A, a moradia terá uma classe de exposição do tipo 2, conforme estipula o Quadro IV.2 do Anexo IV do RCCTE.

Considera-se que a taxa de renovação é garantida por ventilação natural. Neste edifício não existem dispositivos de admissão na fachada, com caixas de estores, caixilharias de classe 3, considerando-se também que todas as portas do edifício estão bem vedadas e a inexistência de dispositivos de admissão de ar nas fachadas e de aberturas auto-reguladas.

Como,  $\frac{A_{env}}{A_p} = \frac{25,10 \text{ m}^2}{145,54 \text{ m}^2} = 17,25 \%$ , logo  $A_{env} > 15\% A_p$  e não cumpre a norma NP-1037-

1, logo, pela consulta do Quadro IV1 do Anexo IV do RCCTE:  $R_{ph} = 0,95 \text{ h}^{-1}$ .

Prevê-se a instalação de um exaustor na cozinha que, quando ligado, extrai um caudal de  $120 \text{ m}^3/\text{h}$  e consome  $100 \text{ kW}$ . Uma vez que este apenas se encontra ligado pontualmente, não se considera o caudal extraído.

Acrescenta-se ainda que não estão previstas *courettes* específicas para tubagens de rede de saneamento e/ou outras. Os tubos de queda previstos na rede de saneamento encontram-se embebidos em paredes e devidamente isolados por questões térmicas e acústicas. Deste modo, pode dizer-se que a ventilação das *courettes* é inexistente.

### 3.2.7 Cálculo dos parâmetros e coeficientes necessários ao balanço energético

Os subcapítulos que se seguem apresentam os materiais e espessuras dos materiais aplicados nas diferentes envolventes do edifício e serão também apresentados os parâmetros e coeficientes necessários para o cálculo do seu balanço energético.

- Coeficientes de transmissão térmica (U) em zona corrente

Relativamente às soluções construtivas já existentes e que irão ser reaproveitadas, o coeficiente de transmissão térmica superficial será estimado com recurso aos valores definidos nas publicações do LNEC: “Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios” – Informação Técnica (ITE 50) e “Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios – Soluções construtivas de edifícios antigos” – Informação Técnica (ITE 54).

Nesta última publicação, são caracterizados os elementos mais utilizados em Portugal, em função da data de construção.

- Paredes exteriores:

Materiais constituintes	Massa volúmica aparente seca ( $\rho$ ) (kg/m <sup>3</sup> )	Condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) (W/m.°C)	Espessura (cm)
Estuque projetado	1000	0,43	2
Tijolo térmico	$R_t = 1,07 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$		25
Poliestireno expandido moldado (EPS)	15	0,042	5
Reboco tradicional	1900	0,25	3

Tabela nº 44: Materiais constituintes das paredes exteriores

$$U = \left( \frac{0,02}{0,43} + \frac{0,05}{0,042} + \frac{0,03}{1,3} + 1,07 + 0,13 + 0,04 \right)^{-1} = 0,40 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

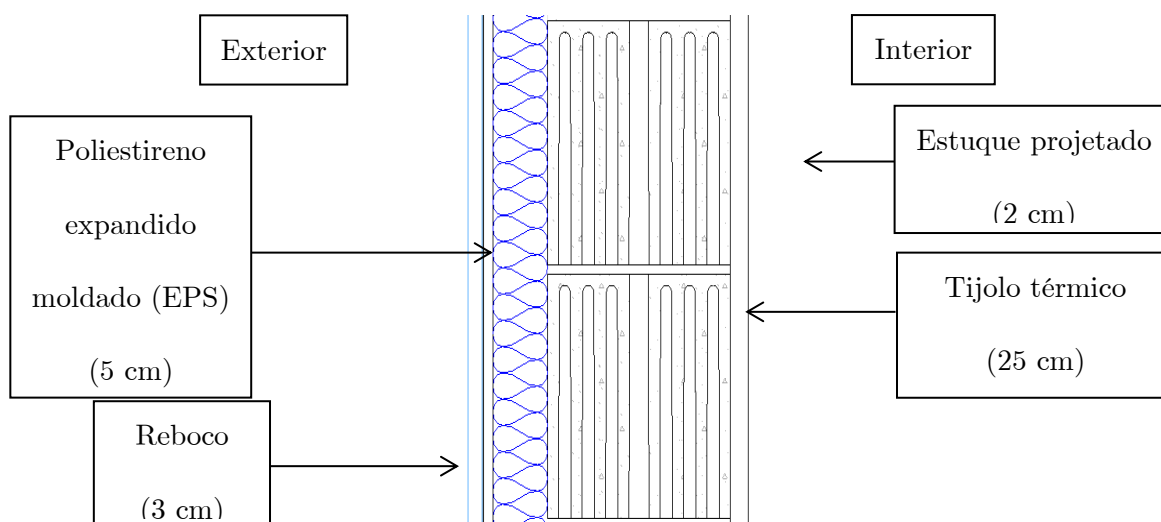


Figura nº 64: Pormenor construtivo das paredes exteriores

- Paredes em contacto com a casa das máquinas e com o desvão não-útil:

Materiais constituintes	Massa volúmica aparente seca ( $\rho$ ) (kg/m <sup>3</sup> )	Condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) (W/m.°C)	Espessura (cm)
Estuque projetado	1000	0,43	2
Tijolo térmico	$R_t = 1,07 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$		25
Estuque projetado	1000	0,43	2

Tabela nº 45: Materiais constituintes das paredes em contacto com a casa das máquinas e com o desvão não-útil

$$U_{\text{exterior}} = \left( \frac{0,04}{0,43} + 1,07 + 0,13 + 0,04 \right)^{-1} = 0,75 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$U_{\text{interior}} = \left( \frac{0,04}{0,43} + 1,07 + 0,13 + 0,13 \right)^{-1} = 0,70 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

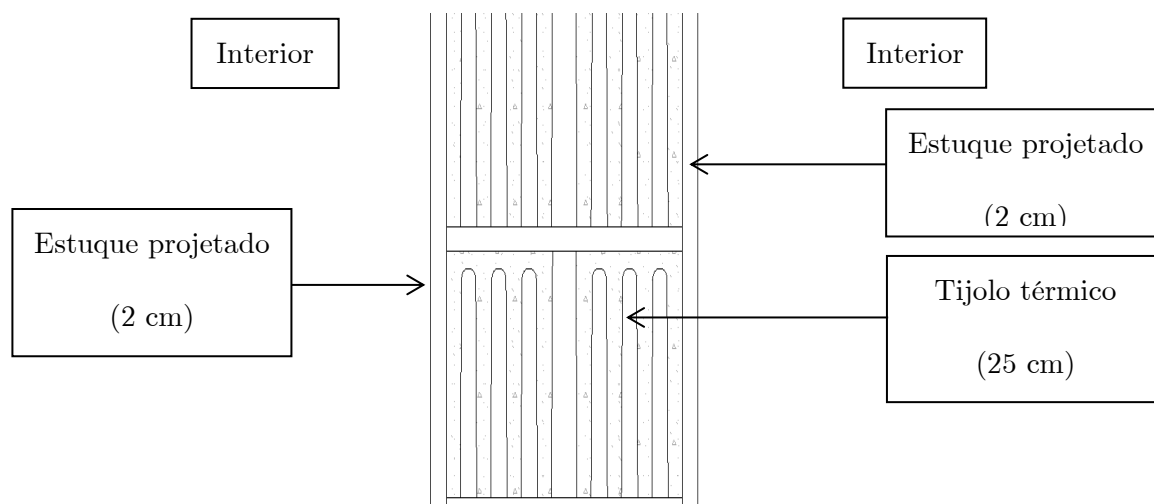


Figura nº 65: Pormenor construtivo das paredes em contacto com a casa das máquinas e com o desvão não-útil

- Cobertura exterior inclinada:

Materiais constituintes	Massa volúmica aparente seca ( $\rho$ ) ( $\text{kg/m}^3$ )	Condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) ( $\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ )	Espessura (cm)
Estuque projetado	1000	0,43	2
Laje aligeirada em blocos cerâmicos	Base dos blocos > 0,30 m $R_t = 0,15 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$		15
Poliestireno expandido extrudido (XPS)	30	0,037	6

Tabela nº 46: Materiais constituintes da cobertura inclinada

$$U_{\text{ascendente}} = \left( \frac{0,02}{0,25} + \frac{0,06}{0,037} + 0,15 + 0,10 + 0,04 \right)^{-1} = 0,51 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

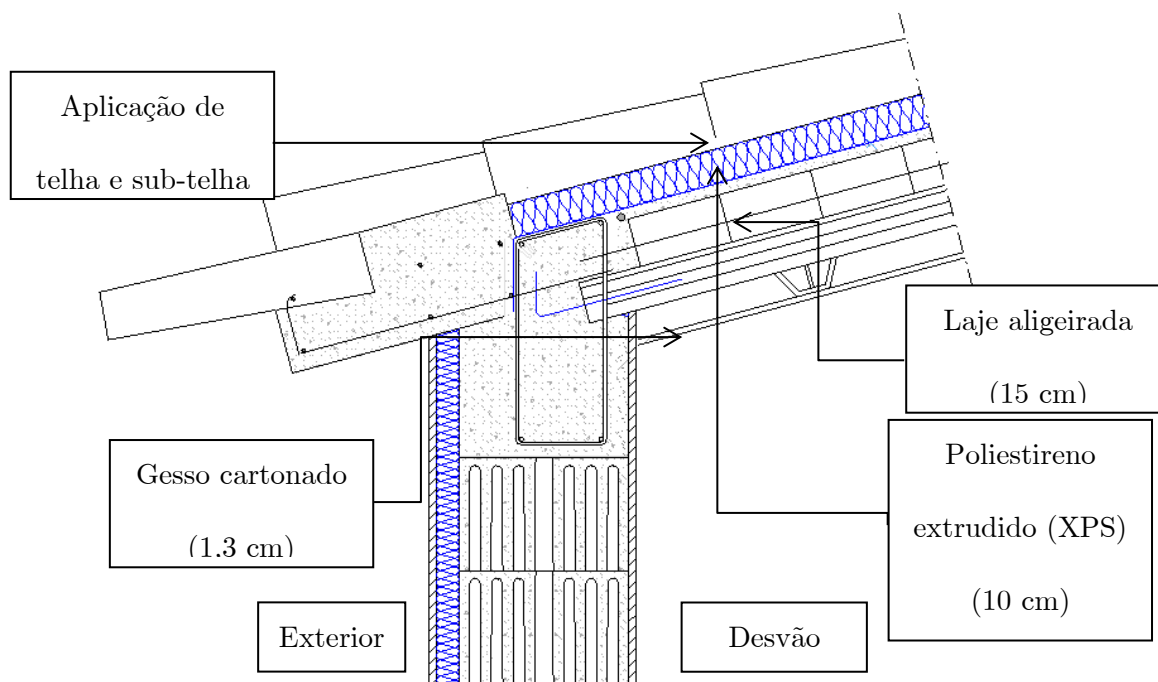


Figura nº 66: Pormenor construtivo da cobertura inclinada

- Laje de esteira:

Materiais constituintes	Massa volúmica aparente seca ( $\rho$ ) (kg/m <sup>3</sup> )	Condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) (W/m.°C)	Espessura (cm)
Estuque projetado	1000	0,43	2
Laje horizontal aligeirada de esteira	$R_t = 0,21 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$		25
Lã mineral (MW)	25	0,045	6

Tabela nº 47: Materiais constituintes da laje de esteira

$$U_{\text{ascendente}} = \left( \frac{0,02}{0,43} + \frac{0,06}{0,045} + 0,21 + 0,10 + 0,10 \right)^{-1} = 0,56 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

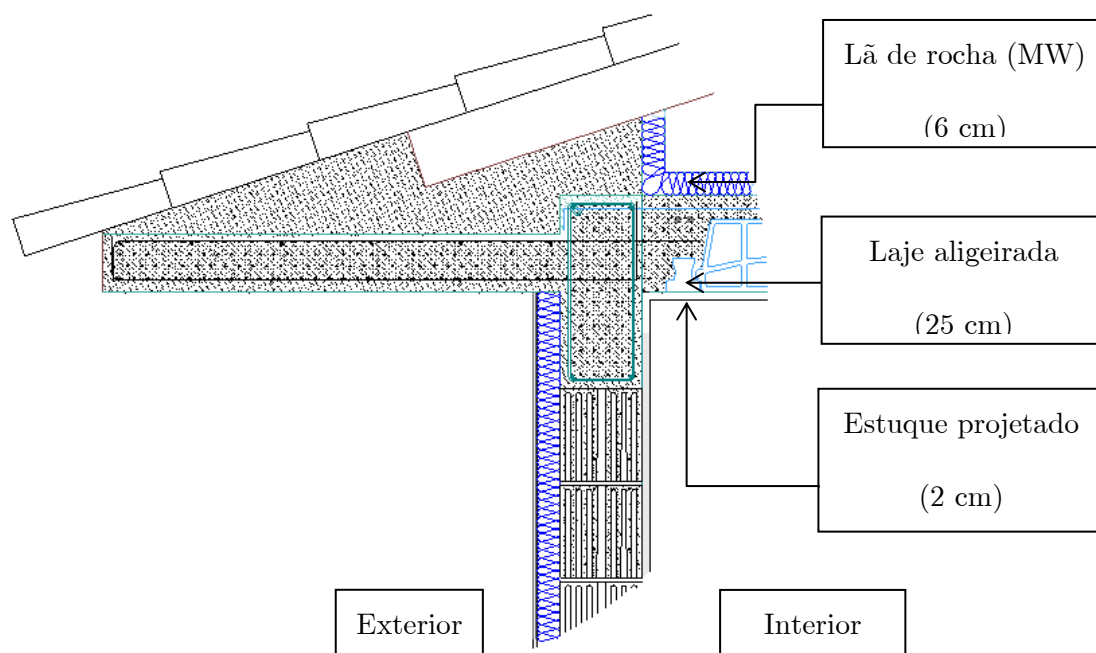


Figura nº 67: Pormenor construtivo da laje de esteira

- Pavimento em contacto com o desvão sanitário:

Materiais constituintes	Massa volúmica aparente seca ( $\rho$ ) (kg/m <sup>3</sup> )	Condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) (W/m.°C)	Espessura (cm)
Laje horizontal aligeirada de blocos cerâmicos	$R_t = 0,21 \text{ m}^2 \cdot \text{°C}/\text{W}$		25
Poliestireno extrudido (XPS)	30	0,037	3
Betão de regularização cavernoso com areia leve e sem areia do rio	1000	0,33	10

Tabela nº 48: Materiais constituintes do pavimento em contacto com o desvão sanitário

$$U = \left( \frac{0,03}{0,037} + \frac{0,10}{0,33} + 0,21 + 0,17 + 0,17 \right)^{-1} = 0,60 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

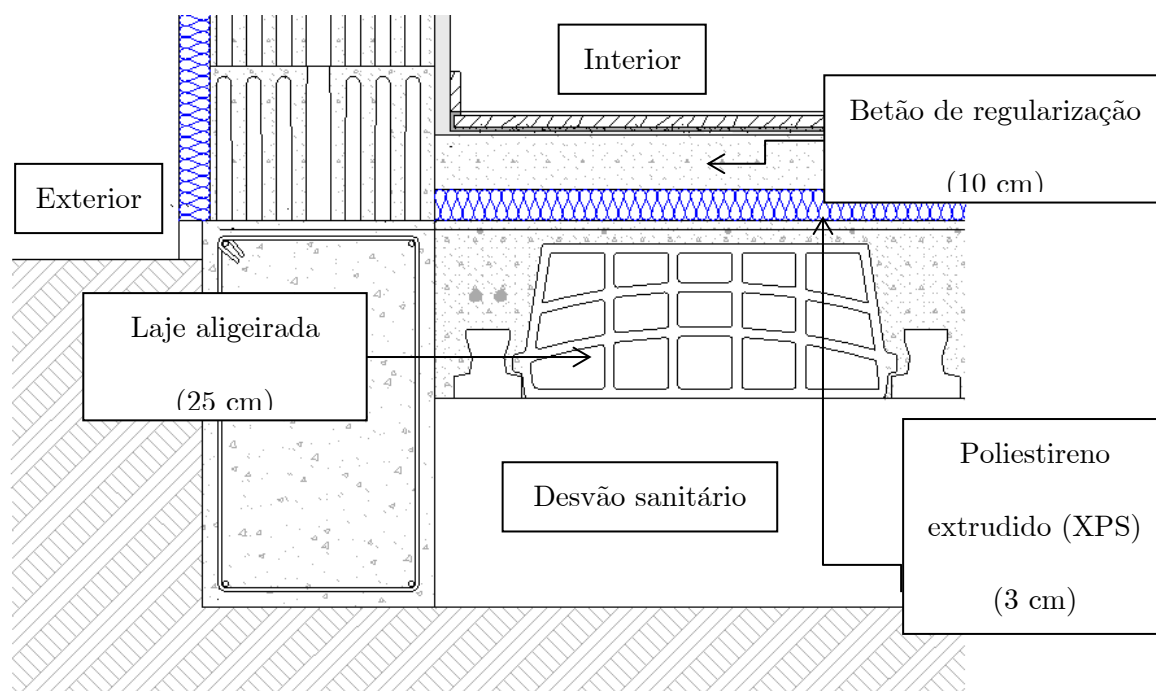


Figura nº 68: Pormenor construtivo do pavimento em contacto com o desvão sanitário

➤ **Coefficientes de transmissão térmica (U) em PTP**

- Pilares:

Materiais constituintes	Massa volúmica aparente seca ( $\rho$ ) (kg/m <sup>3</sup> )	Condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) (W/m.°C)	Espessura (cm)
Estuque projetado	1000	0,43	2
Betão armado	2500	2,0	25
Poliestireno expandido moldado (EPS)	15	0,042	5
Reboco	1900	0,25	3

Tabela nº 49: Materiais constituintes dos pilares

$$U = \left( \frac{0,02}{0,43} + \frac{0,25}{2,0} + \frac{0,05}{0,042} + \frac{0,03}{1,3} + 0,13 + 0,04 \right)^{-1} = 0,64 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

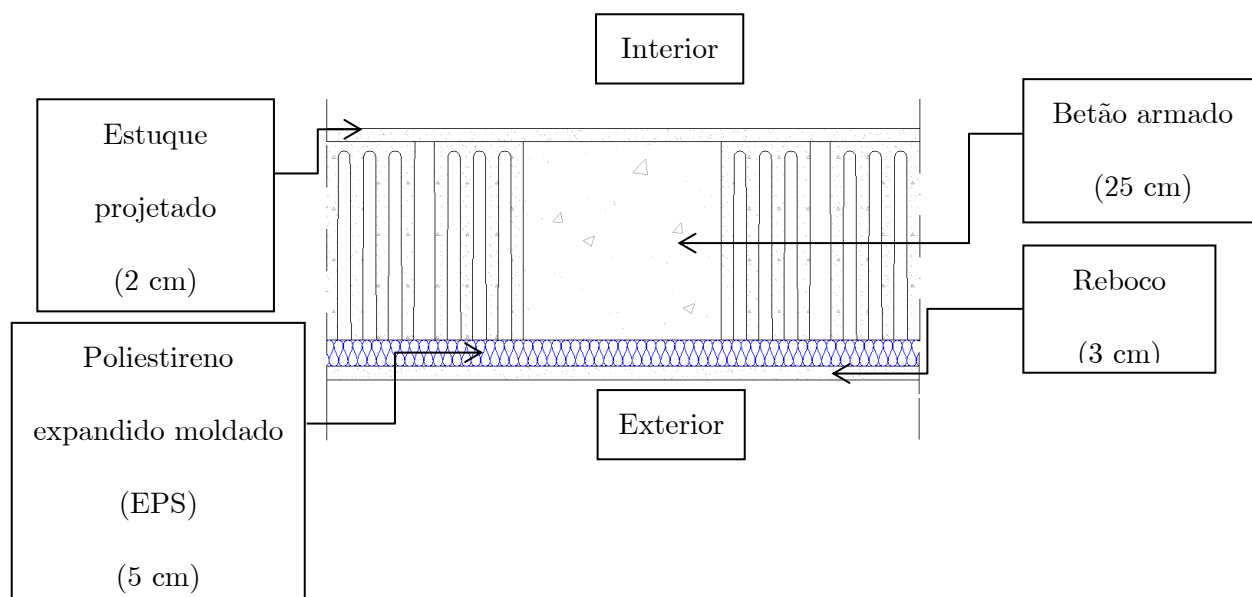


Figura nº 69: Pormenor construtivo dos pilares

- Vigas da habitação:

Materiais constituintes	Massa volúmica aparente seca ( $\rho$ ) (kg/m <sup>3</sup> )	Condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) (W/m.°C)	Espessura (cm)
Estuque projetado	1000	0,43	2
Betão armado	2500	2,0	25
Poliestireno expandido moldado (EPS)	15	0,042	5
Reboco	1900	0,25	3

Tabela nº 50: Materiais constituintes das vigas

$$U = \left( \frac{0,02}{0,43} + \frac{0,25}{2,0} + \frac{0,05}{0,042} + \frac{0,03}{1,3} + 0,13 + 0,04 \right)^{-1} = 0,64 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

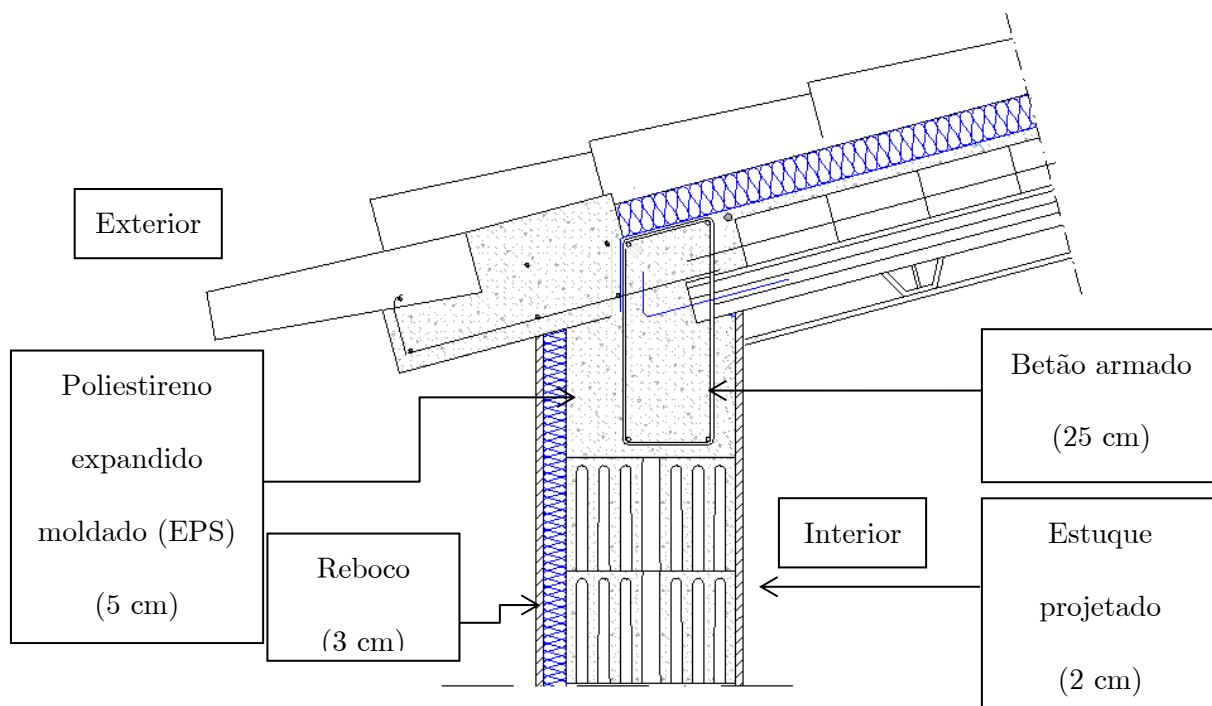


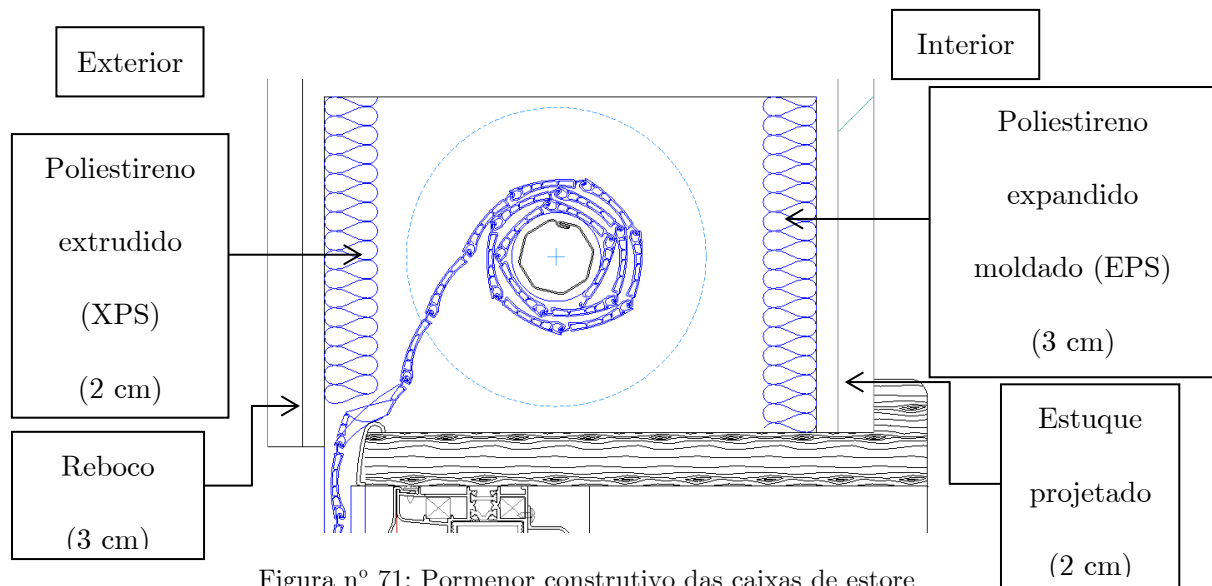
Figura nº 70: Pormenor construtivo das vigas

- Caixas de estore:

Materiais constituintes	Massa volúmica aparente seca ( $\rho$ ) (kg/m <sup>3</sup> )	Condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) (W/m.°C)	Espessura (cm)
Estuque projetado	1000	0,43	2
Poliestireno expandido moldado (EPS)	20	0,042	3

Tabela nº 51: Materiais constituintes das caixas de estore

$$U = \left( \frac{0,02}{0,43} + \frac{0,03}{0,042} + 0,13 + 0,13 \right)^{-1} = 0,93 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$



➤ **Pontes térmicas lineares:**

As pontes térmicas lineares associadas às perdas térmicas e que foram consideradas são as seguintes:

- ❖ Duas paredes verticais exteriores:  $\psi = 0,15$ ;  $B = 18,30$  m;
- ❖ Fachada com padieira ou peitoril:  $\psi = 0,20$ ;  $B = 14,70$  m;
- ❖ Fachada com cobertura inclinada:  $\psi = 0,53$ ;  $B = 55,55$  m;
- ❖ Fachada com pavimento térreo com isolamento térmico:  $\psi = 0,60$ ;  $B = 43,35$  m.

➤ **Fatores solares dos envidraçados**

- Vãos envidraçados localizados nos quartos:

Vidro duplo e janela de correr. Espessura da lâmina de ar de 12 mm e caixilharia em alumínio com permeabilidade ao ar baixa com corte térmico. Vidro duplo incolor de 6 + 5 mm, com proteção exterior em estores de réguas metálicas de cor clara e proteção interior com cortinas muito transparente.

$$U = 2,6 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C};$$

$$g_{\perp v} = 0,75;$$

$$g_{\perp}' = \frac{0,04 * 0,63}{0,75} = 0,034;$$

$$g_{\perp\text{inverno}} = 0,63$$

$$g_{\perp\text{verão}} = (0,7 * 0,034) + (0,3 * 0,75) = 0,25$$

- Vãos envidraçados localizados a SE e SW na sala (contínuos), escritório, casas de banho e a NW da cozinha:

Vidro duplo e janela fixa. Espessura da lâmina de ar de 12 mm e caixilharia em alumínio com permeabilidade ao ar baixa com corte térmico. Vidro duplo incolor de 6 + 5 mm, sem proteção exterior e proteção interior com cortina muito transparente.

$$U = 2,6 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$g_{\perp v} = 0,75;$$

$$g_{\perp\text{inverno}} = 0,63$$

$$g_{\perp\text{verão}} = (0,7 * 0,63) + (0,3 * 0,75) = 0,67$$

- Porta envidraçada localizada a NE na sala:

Vidro duplo refletante colorido na massa de 5 + 4 mm-

$$U = 3,5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$g_{\perp\text{inverno}} = 0,50$$

$$g_{\perp\text{verão}} = 0,50$$

➤ **Fatores de sombreamento dos vãos envidraçados**

Nas Tabelas n° 52 e 53 estão descritos os vários ângulos de sombreamento de cada vão envidraçado, assim como os respectivos fatores de sombreamento e localização:

Orientação	Localização	Ângulo do horizonte	Fator de sombreamento do horizonte ( $F_h$ )		Ângulo da pala horizontal	Fator de sombreamento por elementos horizontais ( $F_o$ )	
			Inverno	Verão		Inverno	Verão
Sudoeste	Sala	20°	0,88	1,00	40°	0,67	0,61
	Cozinha	20°	0,88	1,00	34°	0,73	0,65
Sudeste	Sala	20°	0,88	1,00	29°	0,77	0,69
	Escritório	20°	0,88	1,00	66°	0,49	0,50
	Quarto 1	20°	0,88	1,00	19°	0,85	0,80
Nordeste	Quarto 2	20°	0,96	1,00	23°	0,95	0,89
	Quarto 3	20°	0,96	1,00	3°	0,95	0,89
	Porta envidraçada	20°	0,96	1,00	8°	0,93	0,83
Noroeste	WC 1	20°	0,96	1,00	23°	0,95	0,89
	WC 2	20°	0,96	1,00	23°	0,95	0,89
	Cozinha	20°	0,96	1,00	62°	0,85	0,70

Tabela n° 52: Vãos envidraçados e respectivos fatores de sombreamento do horizonte e por elementos horizontais

Orientação	Localização	Ângulo da pala direita	Ângulo da pala esquerda	Fator de sombreamento por elementos verticais ( $F_f$ )		Fator de obstrução ( $F_s = F_h * F_o * F_f$ )	
				Inverno	Verão	Inverno	Verão
Sudoeste	Sala	0°	0°	1,00	1,00	0,59	0,61
	Cozinha	0°	0°	1,00	1,00	0,64	0,65
Sudeste	Sala	0°	0°	1,00	1,00	0,68	0,64
	Escritório	80°	0°	1,00	1,00	0,34	0,90
	Quarto 1	47°	0°	0,85	0,84	0,64	0,67
Nordeste	Quarto 2	0°	0°	1,00	1,00	0,90	0,89
	Quarto 3	0°	0°	1,00	1,00	0,90	0,89
	Porta envidraçada	0°	0°	1,00	1,00	0,89	0,83
Noroeste	WC 1	0°	0°	1,00	1,00	0,90	0,70
	WC 2	0°	0°	1,00	1,00	0,90	0,89
	Cozinha	0°	0°	1,00	1,00	0,82	0,89

Tabela nº 53: Vãos envidraçados e respetivos fatores de sombreamento por elementos e de obstrução

Refira-se que em todos os envidraçados da Tabela nº 53 cumpre-se a regra imposta pela subsecção 4.3.3 do Anexo IV do RCCTE, em que o produto de  $F_s$  com o fator de orientação ( $X_j$ ) nunca deve ser menor que 0,27.

#### ➤ Inércia térmica

O cálculo da inércia térmica interior foi realizado através da quantificação, para cada elemento construtivo, da massa superficial útil, do fator de redução da massa e da sua área. Estes cálculos estão sintetizados na Tabela nº 54:

Designação do elemento construtivo	Massa térmica superficial (mt) (Kg/m <sup>2</sup> )	Massa superficial útil (M <sub>si</sub> ) (Kg/m <sup>2</sup> )	Área (S <sub>i</sub> ) (m <sup>2</sup> )	Fator de correção (r)	M <sub>si</sub> * r * S <sub>i</sub> (Kg)
Paredes exteriores	312	150	117,02	1	17553
Pilares	702	150	6,93	1	1040
Vigas	702	150	7,00	1	1050
Cobertura inclinada	322	150	30,94	1	4641
Cobertura em terraço	522	150	105,41	1	15812
Parede em contacto com a casa das máquinas	312	150	7,00	1	1050
Parede em contacto com o desvão	274	150	5,66	1	849
PTP em contacto com a casa das máquinas	702	150	0,17	1	26
Pavimentos	619	150	145,54	1	21831
Coberturas interiores	522	150	12,44	1	1866
Paredes interiores do fogo	107	207	85,15	0,5	4556
	194	194	41,44	0,75	6030
	180	180	2,52	1	454

Tabela n.º 54: Tabela de cálculo da massa térmica total

Para o cálculo da inércia térmica ( $I_t$ ) utilizou-se a seguinte expressão numérica:

$$I_t = \frac{\sum M_{si} * r * S_i}{A_p} = \frac{76758}{145,54} = 527 \text{ Kg/m}^2$$

Como  $527 \text{ Kg/m}^2 > 400 \text{ Kg/m}^2$ , logo terá uma classe de inércia térmica interior **forte**.

➤ **Verificação dos requisitos mínimos de qualidade térmica**

Para a verificação dos requisitos mínimos de qualidade térmica foram considerados os coeficientes de transmissão térmica e os fatores solares calculados anteriormente, tendo como base os Quadros IX.1, IX.2 e IX.3 do Anexo IX do RCCTE.

Para os elementos construtivos em zona corrente da envolvente, o coeficiente de transmissão térmica superficial não poderá ser superior ao valor máximo definido na legislação nacional. Este limite depende da zona climática de inverno e do tipo de envolvente em que se situa o elemento em análise.

Nas zonas de pontes térmicas planas, o respetivo coeficiente de transmissão térmica superficial não poderá exceder o valor de  $U$  máximo nem o dobro do coeficiente do elemento em que estas heterogeneidades estão inseridas os envidraçados, o valor do fator solar do vidro com a respetiva proteção ativada a 100% não poderá ultrapassar o valor máximo definido para cada uma das zonas climáticas de verão e em função da inércia térmica da FA.

Elementos da envolvente em zona corrente:

- ◆ Paredes exteriores:

$$U = 0,40 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \leq U_{\text{máx}} = 1,60 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \text{ (Verifica);}$$

- ◆ Parede interior em contacto com a casa das máquinas ( $\tau = 0,95$ ):

$$U = 0,39 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \leq U_{\text{máx}} = 1,60 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \text{ (Verifica);}$$

- ◆ Parede interior em contacto com o desvão não-útil ( $\tau = 0,6$ ):

$$U = 0,75 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \leq U_{\text{máx}} = 2,00 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \text{ (Verifica);}$$

- ◆ Cobertura exterior inclinada:

$$U = 0,51 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \leq U_{\text{máx}} = 1,00 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \text{ (Verifica);}$$

- ◆ Laje de esteira ( $\tau = 0,6$ ):

$$U_{\text{exterior}} = 0,56 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \leq U_{\text{máx}} = 1,30 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \text{ (Verifica) ;}$$

- ◆ Pavimento em contacto com o desvão sanitário ( $\tau = 1,0$ ):

$$U = 0,60 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \leq U_{\text{máx}} = 1,00 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \text{ (Verifica);}$$

Pontes térmicas planas:

◆ Pilares e Vigas:

$$U = 0,64 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \leq U_{\text{máx}} = 1,60 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \text{ (Verifica) e}$$

$$U = 0,64 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \leq 2 * U_{\text{parede exterior}} = 2 * 0,40 = 0,80 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \text{ (Verifica);}$$

◆ Caixas de estores:

$$U = 0,63 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \leq U_{\text{máx}} = 1,60 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \text{ (Verifica) e}$$

$$U_{\text{exterior}} = 0,63 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \leq 2 * U_{\text{parede exterior}} = 2 * 0,40 = 0,80 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \text{ (Verifica);}$$

Fatores solares:

$$g_{\perp} = 0,034 \leq g_{\perp\text{-máx}} = 0,56 \text{ (Verifica);}$$

$$g_{\perp} = 0,42 \leq g_{\perp\text{-máx}} = 0,56 \text{ (Verifica);}$$

$$g_{\perp} = 0,50 \leq g_{\perp\text{-máx}} = 0,56 \text{ (Verifica);}$$

### 3.2.8 Níveis de qualidade

A partir da solução base, descrita nos subcapítulos anteriores, foram propostas soluções construtivas alternativas, de modo a elevar o nível de qualidade térmica que esta solução oferece. As soluções construtivas propostas referem-se a alterações a serem realizadas nos equipamentos de preparação de Águas Quentes Sanitárias (AQS).

A solução base adotada é denominada como solução N<sub>2</sub>. Refira-se que no Anexo III apenas se encontram as folhas de cálculo referentes ao nível de qualidade N<sub>2</sub>, tendo sido adotada uma metodologia de cálculo semelhante a esta para os níveis N<sub>1</sub>, N<sub>3</sub> e N<sub>4</sub>.

Como nota de referência, é possível consultar o custo de investimento das soluções de equipamento base e alternativas propostas no Anexo V.

### 3.2.8.1 Nível de qualidade N<sub>1</sub>

Para o nível de qualidade N<sub>1</sub>, considerou-se a instalação de um termoacumulador elétrico com mais de 100 de mm de isolamento térmico e com as redes de distribuição isoladas termicamente com pelo menos 10 mm ( $F_{pu} = 0,29$  kgep/kWh).

$$\eta = 0,95$$

### 3.2.8.2 Nível de qualidade N<sub>3</sub>

Para o nível de qualidade N<sub>1</sub>, considerou-se a instalação de um termoacumulador a gás com mais de 100 de mm de isolamento térmico e com as redes de distribuição isoladas termicamente com pelo menos 10 mm ( $F_{pu} = 0,086$  kgep/kWh).

$$\eta = 0,8$$

### 3.2.8.3 Nível de qualidade N<sub>4</sub>

Para o nível de qualidade N<sub>4</sub>, considerou-se a instalação de uma caldeira mural a gás com mais de 100 de mm de isolamento térmico e com as redes de distribuição isoladas termicamente com pelo menos 10 mm ( $F_{pu} = 0,086$  kgep/kWh).

$$\eta = 0,87$$

## 3.2.9 Balanço energético

No presente subcapítulo estão apresentados os resultados do balanço energético de todos os níveis de qualidade estudados:

Perdas por renovação de ar: 143,38 W/°C

- Estação de Aquecimento:
  - Perdas pela envolvente exterior: 183,71 W/°C (FCIV.1a)
  - Perdas pela envolvente interior: 100,45 W/°C (FCIV.1b)
  - Perdas pelos envidraçados: 66,64 W/°C (FCIV.1C)
  - Ganhos solares brutos: 2644,60 kWh/ano (FCIV.1e)
  - Necessidades brutas de aquecimento: 20280,87 kWh/ano (FCIV.2)

- Ganhos úteis na estação de Aquecimento: 5436,90 kWh/ano (FCIV.1e)
- $N_{ic}$ : 101,99 kWh/m<sup>2</sup>.ano (FCIV.2)
- Estação de Arrefecimento:
  - Perdas: 263,05 W/°C (FCV.1a)
  - Ganhos pela envolvente opaca exterior: 389,23 kWh (FCV.1c)
  - Ganhos pelos envidraçados: 2231,02 kWh (FCV.1d)
  - $N_{vc}$ : 4,95 kWh/m<sup>2</sup>.ano (FCV.1g)
- Perdas totais: 4621,28 kWh (FCV.1a)
- Ganhos totais na estação de Arrefecimento: 4324,81 kWh (FCV.1f)
- Ganhos internos: 1704,56 kWh (FCV.1f)

Nos seguintes parágrafos são apresentados todos os valores máximos limite correspondentes às necessidades nominais anuais da fração autónoma em estudo:

- Necessidades nominais anuais globais de aquecimento máximas ( $N_i$ ): 105,43 kWh/m<sup>2</sup>.ano
- Necessidades nominais anuais globais de arrefecimento máximas ( $N_v$ ): 16,00 kWh/m<sup>2</sup>.ano
- Necessidades nominais anuais globais para preparação de AQS máximas ( $N_a$ ): 40,63 kWh/m<sup>2</sup>.ano
- Necessidades nominais anuais globais de energia primária máximas ( $N_t$ ): 6,58 kgep/m<sup>2</sup>.ano

Na Tabela nº 55 podem ser consultados os valores das necessidades nominais anuais de AQS e de energia primária que variam conforme a solução de equipamentos proposta, assim como as respetivas classes energéticas. As unidades estão expressas em kWh/m<sup>2</sup>.ano para  $N_{ac}$  e  $N_a$  e em kgep/m<sup>2</sup>.ano para  $N_{tc}$  e  $N_t$ :

Soluções de equipamentos	$N_{ac}$	$N_a$	$N_{tc}$	$N_t$	R	Classe
$N_2$	39,32	40,63	4,53	6,58	0,69	B
$N_1$	14,45		5,34		0,81	B-
$N_3$	19,64		2,83		0,43	A
$N_4$	17,00		2,61		0,40	A

Tabela nº 55: Resumo das verificações relativas às necessidades nominais de energia para todos os níveis de qualidade

É possível verificar, através da análise da Tabela nº 55, que a escolha do tipo de equipamento para preparação de sistemas AQS é um fator decisivo na atribuição da classe energética a uma fração autónoma.

Todas as soluções construtivas e de equipamentos propostas cumprem com todas as necessidades nominais energéticas.

Através da análise energética de todos os níveis de qualidade estudados, foi possível a respetiva classificação energética de todos os níveis de qualidade estudados, tal como pode ser verificado no Gráfico nº 10:



Gráfico nº 10: Classificação energética das soluções propostas para a moradia de Quintã – Espargo

### 3.3 Dados e pressupostos para a análise económica e da relação benefícios/custos

Após a análise energética às várias soluções propostas para os casos de estudo do presente Relatório de Estágio, procedeu-se a uma análise económica, de modo a determinar quais são as soluções que apresentam mais benefícios em relação ao seu preço e/ou desempenho energético.

Para esse efeito considerou-se a estimativa dos custos do investimento e de exploração das soluções propostas, assim como o respetivo período de retorno do investimento efetuado, tendo como base de comparação o nível de qualidade  $N_1$ , para a moradia da Rua do Marechal Saldanha, e o nível de qualidade  $N_2$  para a moradia de Quintã – Espargo:

➤ **Custo de exploração anual (CE):**

$$CE = \frac{N_{ic}}{\eta_i} * A_p * custo_{i[€/kWh]} + \frac{N_{vc}}{\eta_v} * A_p * custo_{v[€/kWh]} + N_{ac} * A_p * custo_{AQS[€/kWh]} \text{ (€/ano)}$$

(Equação n° 2)

➤ **Custo de investimento (CI):**

Os preços utilizados para estimar o custo de investimento de cada solução proposta foram obtidos através do “Gerador de Preços” do ©Cype Ingenieros S.A. As fichas das soluções construtivas propostas, nas quais também se encontram os respetivos preços, podem ser consultadas no Anexo V.

➤ **Período de retorno (PR):**

$$PR = \frac{\Delta \text{Custo de investimento}}{\Delta \text{Custo de exploração}} \text{ (anos)} \text{ (Equação n° 3)}$$

Para o cálculo dos custos de exploração das soluções propostas foram considerados os seguintes preços:

- Custo da eletricidade: 0,1221 €/kWh
- Custo do gás natural: 0,083 €/kWh

Refira-se que os preços indicados são meramente indicativos, tendo sido utilizados apenas como base para uma estimativa dos custos de exploração dos vários materiais utilizados.

Após a realização da análise energética e económica, procede-se à determinação da relação entre os benefícios e os custos das soluções alternativas propostas em relação à solução base proposta.

Para esse efeito considerou-se um período de cerca de 10 anos para determinar qual a solução que apresenta melhores resultados a longo prazo. Desta forma, foram considerados os seguintes parâmetros:

- Consumo energético anual (CEnerg):

$$CEnerg = \frac{N_{ic}}{\eta_i} * A_p + \frac{N_{vc}}{\eta_v} * A_p + N_{ac} * A_p \text{ (kWh/ano) (Equação n}^\circ \text{ 4)}$$

- Relação benefício/custos (RBC):

$$RBC = \frac{\sum_{i=10} \text{Poupança energética anual}}{CI + \sum_{i=10} CE} \text{ (kWh/€) (Equação n}^\circ \text{ 5)}$$

É relevante referir que para o cálculo do somatório dos custos de explorações das soluções referidas, foi considerada uma taxa de crescimento anual do preço da eletricidade em cerca de 0,85%, de acordo com a última subida verificada do preço da eletricidade (Fonte: Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos).

A Equação n° 5 traduz a relação entre os benefícios e os custos das soluções propostas, ou seja, quanto mais elevado for o valor resultante dessa equação, melhor relação benefício/custo terá essa solução construtiva.

### 3.4 Análise económica

No presente subcapítulo são apresentados os resultados da análise económica efetuada às várias soluções alternativas propostas, utilizando como base de preparação a solução base de ambas os casos de estudo (N<sub>1</sub> e N<sub>2</sub>, para a moradia da Rua do Marechal e de Quintã – Espargo, respetivamente). Os resultados podem ser consultados através das Tabelas n° 56 e n° 57:

- Moradia da Rua do Marechal do Saldanha:

Soluções construtivas	Custo de exploração anual (CE) (€)	Custo de investimento (CI) (€)	Poupança anual na exploração (€)	Diferença do CI (€)	Período de retorno (anos)
N <sub>1</sub>	3838,91	4425,96			
N <sub>2</sub>	3268,10	8808,07	570,81	4382,10	7,7
N <sub>3</sub>	2890,12	12652,45	948,78	8226,48	8,7
N <sub>4</sub>	2900,85	15560,79	938,06	11134,83	11,9

Tabela n° 56: Análise económica da moradia da Rua do Marechal Saldanha

- Moradia de Quintã – Espargo:

Soluções construtivas	Custo de exploração anual (CE) (€)	Custo de investimento (CI) (€)	Poupança anual na exploração (€)	Diferença do CI (€)	Período de retorno (anos)
N <sub>2</sub>	3006,64	647,02			
N <sub>1</sub>	2895,42	261,16	111,23		0,0
N <sub>3</sub>	2805,13	1046,96	201,51	399,94	2,0
N <sub>4</sub>	2571,26	2158,17	435,38	1511,15	3,5

Tabela nº 57: Análise económica da moradia de Quintã – Espargo

### 3.5 Relação benefícios/custos

Através da consulta da Tabela nº 58 e nº 59 é possível visualizar os resultados obtidos da análise da relação benefícios/custos para os dois casos de estudo:

- Moradia da Rua do Marechal Saldanha:

Soluções construtivas	Consumo de energia em 10 anos (kWh)	Poupança energética em 10 anos (kWh)	Custo total em 10 anos (€)	Relação benefício/custo (RBC) (kWh/€)
N <sub>1</sub>	333168,29			
N <sub>2</sub>	286419,09	46749,20	44166,90	1,06
N <sub>3</sub>	255462,94	77705,35	43897,68	1,77
N <sub>4</sub>	256341,31	76826,98	46922,75	1,64

Tabela nº 58: Análise benefício/custo da moradia da Rua Marechal Saldanha

- Moradia de Quintã – Espargo:

Soluções construtivas	Consumo de energia em 10 anos (kWh)	Poupança energética em 10 anos (kWh)	Custo total em 10 anos (€)	Relação benefício/custo (RBC) (kWh/€)
N <sub>2</sub>	283657,51			
N <sub>1</sub>	242584,71	41072,81	67425,03	0,61
N <sub>3</sub>	251155,99	32501,52	66270,72	0,49
N <sub>4</sub>	246796,03	36861,48	61963,46	0,59

Tabela nº 59: Análise benefício/custo da moradia de Quintã – Espargo

### 3.6 Discussão dos resultados obtidos

Neste subcapítulo é realizada uma discussão dos resultados obtidos, do ponto de vista energético e económico.

#### 3.6.1 Moradia da Rua do Marechal Saldanha

Através da análise energética dos materiais propostos para a envolvente opaca do edifício, foi possível verificar que a utilização da lã mineral de 20 cm pelo exterior da alvenaria ( $N_4$ ) foi a que produziu melhores resultados a nível energético. No entanto trata-se também da solução construtiva que requer um custo de investimento mais elevado (52,08 €/m<sup>2</sup>). Outro inconveniente que esta solução apresenta relaciona-se com a dificuldade na sua aplicação devido à sua elevada espessura.

Foi possível verificar que a utilização da lã mineral de 5 cm ( $N_1$ ), pelo interior da alvenaria, resultou em perdas térmicas mais elevadas. A forma de aplicação do isolamento térmico nesta solução resulta na criação de mais pontes térmicas lineares, através das quais se deram perdas térmicas.

Nos envidraçados a utilização de um vidro com função exclusiva de baixa emissividade térmica ( $N_3$ ) foi a que obteve melhor desempenho energético, visto que a solução de utilizar um vidro com funções de controlo solar e de baixa emissividade térmica ( $N_4$ ) acabou por limitar bastante os ganhos solares pelos envidraçados, apesar de se verificar uma ligeira redução das perdas térmicas pelos envidraçados.

A nível de certificação energética verificaram-se apenas ligeiras diferenças no índice de certificação energética, não se tendo registado diferenças na classificação energética atribuída a todos os níveis de qualidade.

Através da análise da relação benefício/custo, foi possível verificar que a combinação de soluções do nível de qualidade  $N_3$  foi a que resultou no valor mais elevado desta relação.

Apesar do nível de qualidade  $N_4$  apresentar, de uma forma ligeira, melhores resultados no balanço energético, trata-se de uma solução com um custo de investimento muito superior e um custo de exploração anual ligeiramente superior relativamente às soluções  $N_3$ , resultando num período de retorno muito mais elevado. Em suma, a solução  $N_4$  não é recomendada para quem espera por um conjunto de soluções que compensem a curto/médio prazo.

Para além disso, os dados energéticos e económicos verificados na aplicação de poliestireno expandido elastificado de 6 mm pelo exterior da alvenaria ( $N_3$ ), verificou resultados bastante satisfatórios. As soluções que englobam a solução  $N_3$  não requerem um período de retorno do investimento tão elevado, para além de ter a vantagem de ser uma solução de aplicação bastante mais acessível do ponto de vista construtivo, devido à sua reduzida espessura, resultando numa envolvente exterior vertical mais “leve”.

### **3.6.2 Moradia de Quintã – Espargo**

A nível energético foi possível verificar que a utilização de um termoacumulador elétrico para AQS ( $N_1$ ) é a solução que apresenta o menor consumo de energia anual. Este dado resulta do facto de ser o equipamento que apresenta melhor eficiência do sistema de preparação das AQS ( $\eta = 0,95$ ). No entanto, refira-se que a utilização deste equipamento agrava bastante a certificação energética da moradia (“B-“). Tendo em conta que se trata de uma obra de construção nova, este último fator torna-se ainda mais relevante, não sendo recomendada a sua escolha para este género de obra.

A utilização de uma caldeira mural a gás com rendimento de 87% (solução  $N_4$ ), apesar do seu custo de investimento elevado, apresenta resultados energéticos bastante satisfatórios, resultando numa poupança energética anual mais elevada em relação às restantes soluções (excetuando a solução  $N_1$ ). Outras vantagens da utilização deste equipamento relacionam-se com o período de retorno do investimento relativamente

baixo/médio (3,7 anos), assim como uma classificação mais favorável (“A”). Tal como já foi referido este último fator torna-se bastante relevante na decisão do tipo de equipamento a utilizar, por ser uma obra de construção nova.

Na relação benefício/custo verificou-se que as soluções que apresentam melhor relação são a  $N_1$  e  $N_4$ , tendo estas valores muito próximos. Este dado permite concluir que a solução a recomendar é a  $N_4$  devido às vantagens económicas que apresenta a médio prazo, assim como a classificação energética mais favorável.

### **3.6.3 Limitações da análise de resultados**

Os resultados obtidos, anteriormente nas análises energéticas e económicas, serviram como a base para a obtenção de dois indicadores fundamentais na escolha da solução técnica a adotar: o período de retorno do investimento e a relação benefício/custo. No entanto, é importante referir que os indicadores obtidos no presente trabalho não têm um grau de fiabilidade energético e económico perfeito. Existem muitos fatores que são relevantes na avaliação do desempenho energético e económico:

- A análise efetuada considera um período de funcionamento diário contínuo para garantir a temperatura de referência (20°C) durante toda a estação de aquecimento. No entanto, geralmente, o aquecimento não é contínuo durante as 24 horas diárias;
- A própria contribuição da energia proveniente dos sistemas solares térmicos está sempre pendente das condições climatéricas previstas;
- Os custos associados às soluções técnicas referidas não consideram os custos “indiretos” associados ao seu processo de aplicação. Estes custos “indiretos” são mais notórios em obras mais complexas, referindo-se, por exemplo, a custos de projetos e administrativos, aos custos associados ao acompanhamento da obra e a custos de aluguer e requisição de determinados materiais e equipamentos;

- Os custos inerentes ao consumo dos equipamentos a utilizar acabam sempre por sofrer variações devido às constantes mudanças de preço no mercado, sendo exemplo disto a subida da taxa do IVA de 6% para 23% no preço da eletricidade;
- Eventuais custos de manutenção associados às soluções técnicas estudadas;
- A relação benefício/custo varia conforme o horizonte temporal estipulado. Como exemplo, dependendo da poupança energética anual verificada, um determinado projeto pode apresentar mais vantagens num horizonte temporal superior ao estipulado inicialmente.

#### 4 Conclusões

O presente documento serviu como uma forma de estudar o desempenho energético de duas obras de construção distintas, através da aplicação da metodologia definida na legislação nacional em vigor. Analisou-se também a influência da utilização de diferentes soluções construtivas para a envolvente exterior e de diferentes tipos de equipamentos para preparação de AQS. O grau de exigência nas soluções de reforço térmico e da certificação energética dos edifícios tem sido um dos principais focos das regulamentações europeias, fruto das exigências impostas pela nova Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia.

Para a reabilitação de edifícios, existem determinadas condicionantes que podem limitar uma correta conceção das soluções a implementar com o objetivo de otimizar o desempenho energético. Estas limitações podem ser analisadas em três níveis distintos: a nível comportamental devido à mentalidade de quem projeta e constrói, assim como o pouco conhecimento e/ou sensibilização dos compradores em relação ao desempenho energético de edifícios; a nível económico devido a um certo preconceito que associa edifícios energeticamente eficientes a edifícios de luxo, com elevados custos de investimentos, associados à problemática do regime de propriedade; e a nível construtivo devido à falta de prática e de conhecimento suficientes para as metodologias de construção inerentes a este tipo de obra.

No caso concreto dos dois edifícios apresentados neste relatório de estágio foi adotada uma metodologia que permitisse ir de encontro aos objetivos propostos, ou seja, que permitisse concluir quais são as principais vantagens e desvantagens, energéticas e económicas, de diferentes soluções técnicas.

Para esse efeito, os cálculos foram realizados respeitando sempre a metodologia e os limites estipulados pelo RCCTE. Para a obra de reabilitação foram consideradas

variações no tipo de envidraçados e na posição e espessura do isolamento térmico a aplicar na envolvente opaca exterior, enquanto para a obra de construção nova apenas se considerou variações nos equipamentos de AQS.

Foi elaborada uma metodologia de análise económica, cujo propósito foi a quantificação dos custos e benefícios inerentes às soluções técnicas propostas, tendo sido dado um especial ênfase aos respetivos períodos de retorno do investimento a realizar e às relações benefício/custo, devido ao facto de estes serem os fatores mais decisivos nas decisões a tomar. Realizada esta análise, foi possível obter as seguintes conclusões:

- O correto processo de seleção e aplicação do isolamento térmico na envolvente exterior é fundamental para reduzir, significativamente, as perdas térmicas. Este caso é notório principalmente no que respeita à quantificação das pontes térmicas lineares;
- A utilização de fontes de energia renováveis para a preparação das AQS tem um peso fundamental na economia de energia primária e na redução das emissões de dióxido de carbono, não devendo, no entanto, ser desprezada a importância na seleção do sistema de apoio. A consideração de um sistema solar térmico pode conduzir a uma poupança das necessidades de energia primária de entre os 30% a 35%;
- Foi possível averiguar, através do presente trabalho, que a classificação do desempenho energético de edifícios não sofre grandes alterações com a aplicação de soluções técnicas passivas. A contribuição das fontes de energia renováveis e dos sistemas de apoio para AQS são os fatores que mais influenciam esta classificação;
- Todas as soluções técnicas que foram equacionadas obtiveram resultados satisfatórios, no entanto, salienta-se que a opção de utilizar um

termoacumulador elétrico para AQS, numa obra de construção nova não é recomendável.

Por fim, é essencial referir que a principal conclusão obtida no presente trabalho, prende-se com a necessidade de conhecer previamente todas as características e condicionantes inerentes ao edifício em estudo, antes de se iniciar a realização do projeto térmico do mesmo. O conhecimento das características do edifício influencia diretamente o modo de conceção do seu projeto térmico, assim como as respetivas necessidades e poupanças energéticas.

Através da realização do Estágio Curricular foi possível obter um conhecimento aprofundado das várias soluções técnicas que se encontram disponíveis no mercado, permitindo o desenvolvimento de competências profissionais e de relações pessoais que podem vir a tornar-se bastante importantes no futuro profissional.



## 5 Bibliografia

### Livros:

Carlos A. Pina dos Santos, Luís Matias, 2006. Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios – Informação Técnica Edifícios (ITE 50). Laboratório Nacional de Engenharia Civil. 171 pp. ISBN:-972-49-2065-8.

Carlos A. Pina dos Santos, Rodrigo Rodrigues, 2009. Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios – Informação Técnica Edifícios (ITE 54). Laboratório Nacional de Engenharia Civil. 79 pp. ISBN: 978-972-49-2180-8.

Ricardo Aguiar, Maria João Carvalho, 2007. Manual de Instalação e Utilização do *software* SolTerm®. Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação. 60 pp. ISBN: 978-972-676-205-8

### Capítulos de livros:

ADENE, Direção Geral de Energia e Geologia, Agência Portuguesa do Ambiente. Módulo Certificação RCCTE. Tema 5 – Intervenção do PQ ao Nível dos Edifícios Abrangidos pelo RCCTE. In: ADENE, Direção Geral de Energia e Geologia, Agência Portuguesa do Ambiente. Formação de Peritos Qualificados do SCE – Módulo Certificação RCCTE. ADENE. 295 pp.

### Dissertações, Dissertações e/ou Monografias:

Antunes da Silva Ferreira R.M., 2010. Desempenho térmico de edifício residencial unifamiliar segundo a metodologia de cálculo presente no RCCTE. Instituto Superior Técnico. 114 pp. (Dissertação de Mestrado).

Silva Almeida H., 2010. Análise do conforto térmico de edifícios utilizando as abordagens analítica e adaptativa. Instituto Superior Técnico. 192 pp (Dissertação de Mestrado).

Gomes Jardim F.M., 2009. Proposta de Intervenção de Reabilitação Energética de Edifícios de Habitação. Universidade do Minho. 260 pp. (Dissertação de Mestrado).

Araújo Ribeiro P.J., 2009. Avaliação do Comportamento Térmico de Edifícios de Habitação com recurso a um termofluxímetro. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. 142 pp. (Dissertação de Mestrado).

Normas ou regulamentos:

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, 2006. Decreto-Lei n.º80/2006 de 4 de Abril. Lisboa, Portugal, pp. 2468-2513.

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, 1990. Decreto-Lei n.º40/90 de 6 de Fevereiro. Lisboa, Portugal, pp. 490-504.

SCE – Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios, 2006. Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 de Abril. Lisboa, Portugal, pp. 2411-2415.

Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética – Portugal Eficiência 2015, 2008. Decreto-Lei n.º 29/2008 20 de Maio. Lisboa, Portugal, pp. 2825-2865.

Relatórios técnicos e/ou técnico-científicos inéditos (não publicados):

Direção Geral de Energia, 2002. Eficiência Energética nos Edifícios. Direção Geral de Energia/ Ministério da Economia. (Relatório Inédito).

Susana Camelo, Carlos Pina dos Santos, Álvaro Ramalho, Cristina Horta, Hélder Gonçalves, Eduardo Maldonado, 2006. Manual de apoio à aplicação do RCCTE. Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação. 220 pp.

ADENE, 2010. Perguntas & Respostas sobre a Certificação Energética de Edifícios Existentes no âmbito do RCCTE. ADENE (Relatório Inédito).

Sites da internet:

SIGIMI, 2013. Simulação Valor Patrimonial Tributário. In: <http://www.e-financas.gov.pt/SIGIMI/> (consultado em 22 de Outubro de 2013).

Preceram – Indústrias de Construção, 2013. Tijolo Térmico e Acústico. In: <http://www.preceram.pt/termico.php> (consultado em 20 de Maio de 2013).

CYPE Ingenieros, S.A., 2013. Gerador de preços para construção civil. Portugal. In: <http://www.geradordeprecos.info/> (consultado em 23 de Outubro de 2013).

DGEG – Direcção-Geral de Energia e Geologia, 2013. Balanço energético 2004-2011. In: <http://www.dgeg.pt/> (consultado em 2 de Abril de 2013).

Eurostat, 2013. Energy statistics. In: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/> (consultado em 2 de Abril de 2013)



# Anexo I

Folhas de cálculo do RCCTE relativas  
à moradia da Rua do Marechal  
Saldanha



Nível de qualidade  $N_1$

Moradia unifamiliar da Rua do Marechal

Saldanha



**Folha de Cálculo FCIV.1a**  
**Perdas associadas à Envoltente Exterior**

<b>Paredes Exteriores</b>		<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>U (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>	<b>U.A (W/°C)</b>
P1		23,45	0,43	10,08
PE	Porta em madeira maciça	2,30	3,33	7,66
P1		77,13	0,43	33,17
PE	Porta em madeira maciça	2,40	3,33	7,99
P1		30,23	0,43	13,00
P1	Alvenaria já existente em granito com isolamento térmico (MW) pelo	2,86	0,43	1,23
		<b>138,37</b>	<b>TOTAL</b>	<b>73,13</b>

<b>Pontes térmicas Planas:</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>U (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>	<b>U.A (W/°C)</b>
Pilares em betão armado com isolamento térmico (MW) pelo inter	7,82	0,61	4,77
Vigas em betão armado com isolamento térmico (MW) pelo inter	9,68	0,61	5,90
	<b>17,50</b>	<b>TOTAL</b>	<b>10,68</b>

<b>Pavimentos Exteriores</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>U (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>	<b>U.A (W/°C)</b>
		<b>TOTAL</b>	

**Folha de Cálculo FCIV.1a**  
**Perdas associadas à Envolvente Exterior**

<b>Coberturas Exteriores</b>	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> .°C)	U.A (W/°C)
Laje aligeirada com isolamento térmico (MW) pelo interior	1,95	0,75	1,46
Cobertura em blocos de betão leve + Gesso cartonado e sem ca	62,69	0,84	52,66
	64,64	TOTAL	54,12

<b>Paredes em contacto com o solo</b> (Tab IV 2.2-pag 2494)	(Área) (m2)	Desenvolv. B (m)	(W/m°C)	.B (W/°C)
			TOTAL	

<b>Pavimentos em contacto com o solo</b> (Tab IV 2.1-pag 2494) c/ isolamento falta tabela	(Área) (m2)	Desenvolv. B (m)	(W/m°C)	.B (W/°C)
Pavimento em contacto com o solo	117,74	26,16	1,80	47,09
	117,74	26,16	TOTAL	47,09

<b>Pontes térmicas lineares</b> Ligações entre:	Desenv. B (m)	(W/m.°C)	.B (W/°C)
Fachada com os pavimentos térreos	26,16	0,55	14,39
Fachada com os pavimentos locais NU ou exteriores (Rês-do-chão)			
Fachada com pavimentos intermédios	32,12	0,60	19,27
Fachada com cobertura inclinada ou terraço			
Fachada com varanda			
Duas paredes verticais	67,96	0,25	16,99
Fachada com caixa de estore			
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril (Nota2)	32,12	0,20	6,42
Fachada com laje contínua (indefinido)			
		TOTAL	57,07

Nota1: Caixas de estores seguem as regras das pags 2497e 2498 =0

Nota2: Ombreira e peitoril seguem as regras da pag. 2498 =0

<b>Perdas pela envolvente exterior da Fração Autónoma</b>	(W/°C)	TOTAL	242,09
---	--------	-------	--------

**Folha de Cálculo FCIV.1b**  
**Perdas associadas à Envolvente Interior**

<b>Paredes interiores em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes</b>	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> .°C)	(-)	.U.A (W/°C)
Parede em alvenaria de tijolo de 15 cm com isolamento té	33,15	0,50	0,60	9,95
Parede em alvenaria de tijolo de 15 cm com isolamento té	6,02	0,50	0,80	2,41
Parede de alvenaria já existente em contacto com edifício	92,61	0,95	0,60	52,79
Porta em madeira maciça	1,60	2,56	0,80	3,28
PTP - Pilares	3,36	0,58	0,60	1,23
PTP - Viga NW	5,28	0,58	0,60	1,93
	<b>142,02</b>		<b>TOTAL</b>	<b>71,58</b>

<b>Pavimentos sobre espaços não-úteis</b>	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> .°C)	(-)	.U.A (W/°C)
			<b>TOTAL</b>	

<b>Coberturas Interiores (tectos sob espaços não-úteis)</b>	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> .°C)	(-)	.U.A (W/°C)
Laje aligeirada com isolamento térmico (MW) dentro do te	48,56	0,72	0,60	20,98
Cobertura do desvão não-útil nº 2	4,61	0,72	0,80	2,66
	<b>53,17</b>		<b>TOTAL</b>	<b>23,63</b>

<b>Paredes Interiores do fogo</b>	Área (m <sup>2</sup> )
Paredes Divisórias Interiores do Rés-do-chão	179,24
	<b>179,24</b>

<b>Pavimentos Interiores do fogo</b>	Área (m <sup>2</sup> )
Pavimento - Soalho de madeira	86,29
Pavimento - Cerâmico	19,89
Pavimento - Armários	6,16
	<b>112,34</b>

<b>Vãos envidraçados em contacto com espaços não-úteis</b>	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> .°C)	(-)	.U.A (W/°C)
			<b>TOTAL</b>	

<b>Pontes térmicas (apenas para paredes de espaços não-úteis com &gt;0,7)</b>	Comp. B (m)	U (W/m.°C)	(-)	. .B (W/°C)
Parede em contacto com a cobertura	3,73	0,50	0,80	1,49
Parede em contacto com a laje desvão	3,73	0,50	0,80	1,49
	<b>7,46</b>		<b>TOTAL</b>	<b>2,98</b>

**Perdas pela envolvente interior da Fracção Autónoma (W/°C) TOTAL 98,20**

Incluir obrigatoriamente os elementos que separam a Fracção Autónoma dos seguintes espaços:

Zonas comuns em edifícios com mais de uma Fracção Autónoma; Edifícios anexos;

Garagens, armazéns, lojas e espaços não-úteis similares; Sotãos não-habitados.

**Folha de Cálculo FCIV.1c**  
**Perdas Associadas aos Vãos Envidraçados Exteriores**

Vãos envidraçados exteriores	Orient.	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> .°C)	U.A (W/°C)
<b>Verticais:</b>				
	N	0,00	0,00	0,00
	N	0,00	0,00	0,00
	N	0,00	0,00	0,00
	N	0,00	0,00	0,00
Sala 1	NE	5,59	3,90	21,80
Cozinha	NE	2,20	3,90	8,58
Quarto 4	NE	3,85	3,90	15,02
WC4	NE	1,93	3,90	7,53
	E	0,00	0,00	0,00
	E	0,00	0,00	0,00
	E	0,00	0,00	0,00
	E	0,00	0,00	0,00
WC1	SE	1,21	3,90	4,72
Sala 1	SE	3,63	3,90	14,16
Quartos	SE	8,16	3,90	31,82
Desvão	SE	2,75	3,49	9,60
	S	0,00	0,00	0,00
	S	0,00	0,00	0,00
	S	0,00	0,00	0,00
	S	0,00	0,00	0,00
Escritório	SW	1,16	3,90	4,52
Quarto 1	SW	2,20	3,90	8,58
Quarto 2	SW	1,84	3,90	7,18
Quarto 3	SW	3,50	3,90	13,65
	W	0,00	0,00	0,00
	W	0,00	0,00	0,00
	W	0,00	0,00	0,00
	W	0,00	0,00	0,00
	NW	0,00	0,00	0,00
	NW	0,00	0,00	0,00
	NW	0,00	0,00	0,00
	NW	0,00	0,00	0,00
				<b>147,15</b>
<b>Horizontais:</b>				
Sala 2	HORIZ.	3,00	3,49	10,47
Quarto 5	HORIZ.	1,00	3,49	3,49
Escadas	HORIZ.	3,75	3,49	13,09
	HORIZ.	0,00	0,00	0,00
				<b>27,05</b>
		<b>45,77</b>	<b>TOTAL</b>	<b>174,20</b>

**Folha de Cálculo FC IV.1d**  
**Perdas associadas à Renovação de Ar**

Área Útil de Pavimento	286,83	m <sup>2</sup>	Tipo de Ventilação	<b>N</b>
	x			
Pé-direito médio	2,70	m		
			Natural	<b>N</b>
Volume interior (V)	774,44	m <sup>3</sup>	Mecânica	<b>M</b>

*(Quadro a considerar sempre que o único dispositivo de ventilação mecânica existente seja o exaustor da cozinha)*

**VENTILAÇÃO NATURAL**

Cumpre a NP 1037-1?	(S ou N)	<b>N</b>	Taxa de Renovação	
Se NÃO:			Nominal:	
			Ver Quadro IV.1 (pag. 2487)	
			RPH=	1,00
Classe da Caixilharia	(s/c, 1, 2 ou 3)	s/c	Região	B
Caixas de Estore	(S ou N)	<b>N</b>	Rugosidade	I
Classe de Exposição	(1, 2, 3 ou 4)	3	Altura acima do solo	De 10m a 18m
(Ver Quadro IV.2, pag.2488)				
Aberturas Auto-reguláveis?	(S ou N)	<b>N</b>	RPH =	1,00
Área de envidraçados >15% Ap?	(S ou N)	<b>N</b>		
Portas Exteriores bem vedadas?	(S ou N)	<b>N</b>		

**VENTILAÇÃO MECÂNICA** *(excluir exaustor da cozinha)*

Caudal de Insuflação	Vins - (m <sup>3</sup> /h)		Vf =	
Caudal Extraído	Vev - (m <sup>3</sup> /h)			
Diferença entre Vins e Vev	(m <sup>3</sup> /h)		/	Volume = (volume in RPH (**))
Infiltrações (Vent. Natural)	Vx / V (h <sup>-1</sup> )		Ver Ábaco	Graf. p44
Recuperador de calor	(S ou N)	<b>N</b>		
Taxa de Renovação Nominal	(mínimo: 0,6)		$R_{ph} = \frac{V_f}{V} + \frac{V_x}{V}$	
Potencia dos ventiladores (W)				
Consumo de Electricidade para os ventiladores			(Ev=Pv.24.0,03.M(kWh))	

**Folha de Cálculo FC IV.1d**  
**Perdas associadas à Renovação de Ar**

Volume	774,44	<b>Recuperação de Calor</b> se SIM, =0,7 se NÃO, =0 (Vf / V + Vx/V).(1- )	0
	x		
Taxa de Renovação (consumo energia)	1,00		
	x		
	0,34		
TOTAL	263,31		(W/°C)

**Folha de Cálculo FC IV.1e**  
**Ganhos Úteis na Estação de Aquecimento (Inverno)**

**Ganhos Solares:**

Orientação do Vão Envidraçado	Tipo (Simples ou Duplo)	Área (m <sup>2</sup> )	Factor de orientação X (-)	Factor Solar do Vidro g (-)	Factor de Obstrução Fs (-) Fh.Fo.Ff	Fracção Envidraçada Fg (-)	Factor de Sel. Angular Fw (-)	Área Efectiva Ae (m <sup>2</sup> )	Fh	Fo	Ff
									Tabelas IV.5, IV.6 e IV.7 Pag.2499 a 2500		
NE	S	5,59	0,33	0,70	0,90	0,7	0,9	0,73	0,98	0,99	1,00
NE	S	2,20	0,33	0,70	0,83	0,7	0,9	0,27	0,99	0,99	0,85
NE	S	3,85	0,33	0,70	0,90	0,7	0,9	0,50	0,96	0,98	1,00
NE	S	1,93	0,33	0,70	0,83	0,7	0,9	0,23	0,96	0,98	0,88
SE	S	1,21	0,84	0,70	0,64	0,7	0,9	0,29	0,78	0,82	1,00
SE	S	3,63	0,84	0,70	0,64	0,7	0,9	0,86	0,78	0,82	1,00
SE	S	8,16	0,84	0,70	0,46	0,7	0,9	1,38	0,88	0,52	1,00
SW	S	1,16	0,84	0,70	0,85	0,7	0,9	0,37	0,88	0,97	1,00
SW	S	2,20	0,84	0,70	0,85	0,7	0,9	0,70	0,88	0,97	1,00
SW	S	1,84	0,84	0,70	0,82	0,7	0,9	0,56	0,88	0,93	1,00
SW	S	3,50	0,84	0,70	0,82	0,7	0,9	1,06	0,88	0,93	1,00
SW	S	2,85	0,84	0,70	0,88	0,7	0,9	0,93	1,00	1,00	0,88

HORIZ.		3,00	0,89	0,63	1,00	0,7	0,9	1,06
HORIZ.		1,00	0,89	0,63	1,00	0,7	0,9	0,35
HORIZ.		3,75	0,89	0,63	1,00	0,7	0,9	1,32

Área efectiva total equivalente na orientação Sul (m<sup>2</sup>)

10,61

x

Energia incidente num envidraçado a Sul (G<sub>sul</sub>)

na zona **I 2** do Quadro III. 8 (Anexo III) - (kWh/m<sup>2</sup>.mês)

93,00

x

Duração da estação de aquecimento - do Quadro III.1 (meses)

6,70

=

Ganhos Solares Brutos (kWh/ano)

6613,41

**Ganhos Internos**

Ganhos internos médios (Quadro IV.3, pag.2489)	4,00 (W/m <sup>2</sup> )
	x
Duração da Estação de Aquecimento (Quadro III.1)	6,70 (meses)
	x
Área Útil de pavimento	286,83 (m <sup>2</sup> )
	x
	0,72
	=
Ganhos Internos Brutos	5534,67 (kWh/ano)

Cálculo intermédio:

$$Se = 1 = 0,72$$

$$Se = 1 = 0,94$$

**Folha de Cálculo FC IV.1e**  
**Ganhos Úteis na Estação de Aquecimento (Inverno)**

**Ganhos Úteis Totais:**

=	Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos	12148,09
	Necessidades Brutas de Aquecimento (da FC IV.2)	30053,93

Inércia do edifício: 2      a = 2,6      = 0,40

*(In. Fraca=1; In. Média=2; In. Forte=3)*

Factor de Utilização dos Ganhos Solares      ( )	0,94
--	------

x

Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos	12148,09
--	----------

=

Ganhos Úteis Totais (kWh/ano)	11433,98
-------------------------------	----------

**Folha de Cálculo FC IV.1f**  
**Valor Máximo das Necessidades de Aquecimento (Ni)**

<b>Factor de forma</b>		
De FCIV.1a e FCIV.1c:	(Áreas)	m <sup>2</sup>
Paredes exteriores		138,37
Coberturas exteriores		64,64
Pavimentos exteriores		
Envidraçados exteriores		45,77
Pontes Térmicas Planas		17,50
De FCIV.1b:	(Áreas equivalentes, A . )	m <sup>2</sup>
Paredes interiores confinar espaços não úteis		86,74
Pavimentos interiores sobre espaços não úteis		
Coberturas interiores sob espaços não úteis		32,82
Envidraçados interiores confinar espaços não úteis		
Área total:		385,84
		/
Volume (de FCIV.1d):		774,44
<b>FF</b>		<b>0,50</b>

**Graus-dias no local (°C.dia)** (do Quadro III.1, pag.2478) 1610

Ni = 4,5 + 0,0395 GD	Para FF < 0,5	Auxiliar
Ni = 4,5 + (0,021 + 0,037FF) GD	Para 0,5 < FF < 1	68,10
Ni = [4,5 + (0,021 + 0,037FF) GD] (1,2 - 0,2FF)	Para 1 < FF < 1,5	67,99
Ni = 4,05 + 0,06885 GD	Para FF > 1,5	74,81
		114,90

**Nec. Nom. de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m<sup>2</sup>.ano)** 68,10

**Folha de Cálculo FC IV.2**  
**Cálculo do Indicador Nic**

<b>Perdas térmicas associadas a:</b>	<b>(W/°C)</b>
Envolvente Exterior (de FCIV.1a)	242,09
Envolvente Interior (de FCIV.1b)	98,20
Vãos Envidraçados (de FCIV.1c)	174,20
Renovação de Ar (de FCIV.1d)	263,31
	=
Coeficiente Global de Perdas (W/°C)	777,79
	x
Graus-dias no Local (°C.dia)	1610
	x
	0,024
	=
	30.053,93
	+
Consumo ventiladores x M/12	
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	30.053,93
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (de FCIV.1e)	11.433,98
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	18.619,95
	/
Área Útil de Pavimento (m <sup>2</sup> )	286,83
	=
Nec. Nominais de Aquecimento - <b>Nic</b> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	<b>64,92</b>
	<
Nec. Nominais de Aquec. Máximas - <b>Ni</b> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	<b>68,10</b>
	=
<b>Verifica</b>	<b>O.K.</b>
1 - Nic/Ni (%) =	4,67

**Folha de cálculo FCV.1a**  
**Perdas**

Perdas associadas às paredes exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	83,80	(W/°C)
		+	
Perdas associadas aos pavimentos exteriores (U.A)	(FCIV.1a)		(W/°C)
		+	
Perdas associadas às coberturas exteriores (U.A)	(FCV.1b)	1,42	(W/°C)
		+	
Perdas associadas aos envidraçados exteriores (U.A)	(FCV.1c)	174,20	(W/°C)
		+	
Perdas associadas à renovação do ar	(FCIV.1d)	263,31	(W/°C)
		=	
<b>Perdas específicas totais</b>	(Q1a)	<b>522,74</b>	(W/°C)

Temperatura interior de referência		25,00	(°C)
		-	
Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento (Quadro III.9, pag.2484)		19,00	(°C)
		=	
Diferença de temperatura interior-exterior		6,00	
		x	
Perdas específicas totais	(Q1a)	522,74	(W/°C)
		x	
		2,928	
		=	
<b>Perdas térmicas totais</b>	(Q1b)	<b>9.183,42</b>	(kWh)



**Folha de Cálculo FC V.1c**  
**Ganhos Solares pela Envolvente Opaca**

Designação dos elementos	Orient	Área m2	U W.m2/°C	Coef. absorção	.U.A	Intens. rad solar	Factor conv.	Ganhos Solares Env.	
				Quadro V.5 pag.2504		Quadro III.9 pag.2484			
<b>Paredes Exteriores:</b>									
P1	Alvenaria já existente em granito com isolamento térmico (MW) pelo interior	NE	23,45	0,43	0,4	4,03	300,00	0,04	48,40
PE	Porta em madeira maciça	NE	2,30	3,33	0,4	3,06	300,00	0,04	36,76
P1	Alvenaria já existente em granito com isolamento térmico (MW) pelo interior	SE	77,13	0,43	0,4	13,27	430,00	0,04	228,18
PE	Porta em madeira maciça	SE	2,40	3,33	0,4	3,20	430,00	0,04	54,98
P1	Alvenaria já existente em granito com isolamento térmico (MW) pelo interior	SW	30,23	0,43	0,4	5,20	430,00	0,04	89,43

**Folha de Cálculo FC V.1c**  
**Ganhos Solares pela Envolvente Opaca**

Designação dos elementos	Orient	Área m2	U W.m2/°C	Coef. absorção	.U.A	Intens. rad solar	Factor conv.	Ganhos Solares Env.	
				Quadro V.5 pag.2504		Quadro III.9 pag.2484			
<b>Pontes Termicas Planas</b>									
PTP				0,4		300,00	0,04		
	Vigas em betão armado com isolamen	NE	2,04	0,61	0,4	0,50	300,00	0,04	5,97
		NE			0,4		300,00	0,04	
PTP	Pilares em betão armado com isolame	SE	5,04	0,61	0,4	1,23	430,00	0,04	21,15
	Vigas em betão armado com isolamen	SE	5,52	0,61	0,4	1,35	430,00	0,04	23,17
		SE			0,4		430,00	0,04	
PTP	Pilares em betão armado com isolame	SW	1,68	0,61	0,4	0,41	430,00	0,04	7,05
	Vigas em betão armado com isolamen	SW	2,12	0,61	0,4	0,52	430,00	0,04	8,90
		SW			0,4		430,00	0,04	
PTP	Pilares em betão armado com isolame	NW	1,10	0,61	0,4	0,27	300,00	0,04	3,22
		NW			0,4		300,00	0,04	
		NW			0,4		300,00	0,04	

153,01

<b>Coberturas exteriores:</b>								
Laje aligeirada com isolamento térmico (MW	HORIZ.	1,95	0,73	0,4	0,57	730,00	0,04	16,63
							Total (kWh)	543,85

**Folha de Cálculo FC V.1d**  
**Ganhos Solares pelos Envidraçados Exteriores**

Designação dos elementos	Orient.	Área m2	Factor (g ) solar do vão Envidraçado Tabela IV.4.1 pag. 2498	F. Sombr. Horizonte <b>Fh</b>	F. Sombr. Horizontal <b>Fo</b> Quadro V.1 pag 2502	F. Sombr. vertical <b>Ff</b> Quadro V.2 pag 2502	Fracção Envidraçado	Factor de obstrução <b>Fs=</b> <b>Fh.Fo.Ff</b>	Factor Solar <b>Fw</b> Quadro V.3 pag. 2503	Área efectiva m2	Intensidade Radiação Solar (kWh/m2) Quadro III.9 pag. 2484	Ganhos Solares Envidraçados
							<b>Fg</b> Quadro IV.5 pag.2490					
<b>Envidraçados Verticais Exteriores:</b>												
Sala 1	NE	5,59	0,34	1,00	0,98	1,00	0,70	0,90	0,85	1,02	300,00	305,33
Cozinha	NE	2,20	0,34	1,00	0,98	1,00	0,70	0,90	0,85	0,40	300,00	120,17
Quarto 4	NE	3,85	0,29	1,00	0,96	1,00	0,70	0,90	0,85	0,60	300,00	179,37
WC4	NE	1,93	0,29	1,00	0,96	1,00	0,70	0,90	0,85	0,30	300,00	89,92
WC1	SE	1,21	0,29	1,00	0,76	1,00	0,70	0,76	0,85	0,16	430,00	68,23
Sala 1	SE	3,63	0,29	1,00	0,76	1,00	0,70	0,76	0,85	0,48	430,00	204,69
Quartos	SE	8,16	0,29	1,00	0,51	1,00	0,70	0,51	0,85	0,72	430,00	308,78
Desvão	SE	2,75	0,29	1,00	0,51	1,00	0,70	0,51	0,85	0,24	430,00	104,06
Escritório	SW	1,16	0,29	1,00	0,96	1,00	0,70	0,90	0,85	0,18	430,00	77,46
Quarto 1	SW	2,20	0,29	1,00	0,96	1,00	0,70	0,90	0,85	0,34	430,00	146,91
Quarto 2	SW	1,84	0,29	1,00	0,91	1,00	0,70	0,90	0,85	0,29	430,00	122,87
Quarto 3	SW	3,50	0,29	1,00	0,91	1,00	0,70	0,90	0,85	0,54	430,00	233,72
<b>Horizontais:</b>												
Sala 2		3,00	0,48	1,00	1,00	1,00	0,70	1,00	1,00	1,01	730,00	735,84
Quarto 5		1,00	0,48	1,00	1,00	1,00	0,70	1,00	1,00	0,34	730,00	245,28
Escadas		3,75	0,48	1,00	1,00	1,00	0,70	1,00	1,00	1,26	730,00	919,80
											<b>Total(kWh)</b>	<b>3.862,42</b>

**Folha de cálculo FC V.1e  
Ganhos Internos**

Ganhos Internos médios (W/m <sup>2</sup> ) (Quadro IV.3, pag. 2489)	4,00	
	x	
Área Útil de Pavimento (m2)	286,83	
	x	
	2,93	
	=	
<b>Ganhos internos Totais</b>	<b>3.359,35</b>	<b>(KWh)</b>

**Folha de cálculo FC V.1f  
Ganhos Totais na estação de arrefecimento (verão)**

<b>Ganhos Solares pelos Vãos Envidraçados Exteriores (FCV.1d)</b>	<b>3.862,42</b>	<b>(KWh)</b>
	+	
<b>Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior (FCV.1c)</b>	<b>543,85</b>	<b>(KWh)</b>
	+	
<b>Ganhos internos (FCV.1e)</b>	<b>3.359,35</b>	<b>(KWh)</b>
	=	
<b>Ganhos Térmicos Totais</b>	<b>7.765,62</b>	<b>(KWh)</b>

**Folha de cálculo FCV.1g**  
**Valor das Necessidades Nominais de Arrefecimento (Nvc)**

<b>Ganhos Térmicos Totais</b> (FCV.1f)	7.765,62	(kWh)
	/	
<b>Perdas Térmicas Totais</b> (FCV.1a)	9.183,42	(kWh)
	=	
<b>Relação Ganhos-Perdas</b>	0,85	
<b>Inércia do edifício</b> (In. Fraca=1; In. Média=2; In. Forte=3)	2,00	
	1,00	
	-	
Factor de utilização dos ganhos, (Gráfico IV.1)	0,78	
	=	
	0,22	
	x	
<b>Ganhos Térmicos Totais</b> (FCV.1f)	7.765,62	(kWh)
	=	
<b>Necessidades Brutas de Arrefecimento</b>	1.710,53	(kWh/ano)
	+	
<b>Consumo dos ventiladores</b> (se houver, exaustor da cozinha excluído)	(Ev=Pv.24.0,03.4(kWh))	
	=	
<b>TOTAL</b>	1.710,53	(kWh/ano)
	/	
Área Útil de Pavimento (m <sup>2</sup> )	286,83	
	=	
<b>Necessidades Nominais de Arrefecimento - Nvc</b>	5,96	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)
<b>Necessidades Nominais de Arref. Máximas - Nv</b> (Nº2 do Artigo 15º, pag.2474)	16	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)

<b>Verifica</b>	<b>O.K.</b>
1-Nvc/Nv (%) =	62,73%

**REGULAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DE  
COMPORTAMENTO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS (RCCTE)  
Verificação Energética**

**Verificação das necessidades de energia útil para AQS**

Artigo 15, nº 3, pag.2474

Tipo edifício	Nº ocupantes	Consumo Dia AQS	T	$n_d$	$E_{solar}$	$E_{ren}$	$a$	$Q_a$	$N_a$	$N_{ac}$
	7	40	45	365	3.605		0,80	5.348,89	28,86	10,74

$N_a$	$N_{ac}$									
28,86	10,74	Satisfaz quanto às necessidades de energia útil para AQS								

**Verificação das necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária Ntc**

Artigo 15, nº 4, pag.2474

Tipo edifício	$F_{pui}$	$F_{puv}$	$F_{pua}$	$i$	$v$	$N_{ic}$	$N_{vc}$	$N_i$	$N_v$	$N_t$	$N_{tc}$
	0,086	0,29	0,086	0,8	3	64,92	5,96	68,10	16	4,65	1,68

$N_t$	$N_{tc}$									
4,65	1,68	Satisfaz quanto às necessidades nominais globais anuais de energia primária Ntc								

## Anexo II

Listagem Solterm<sup>®</sup> relativa à moradia  
da Rua do Marechal Saldanha



-  
SolTerm 5.0

Licenciado a ISQ - Instituto de Soldadura e Qualidade  
()

Estimativa de desempenho de sistema solar térmico

-  
Campo de colectores

-  
Modelo de colector: SK500N-ECO-AL

Tipo: Plano

3 módulos (6,0 m<sup>2</sup>)

Inclinação 34° - Azimute Sul

Coefficientes de perdas térmicas: a1= 3,530 w/m<sup>2</sup>/K    a2= 0,019 w/m<sup>2</sup>/K<sup>2</sup>

Rendimento óptico: 81,1%

Modificador de ângulo: a

	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,98	0,98	
a	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°	85°	90°
	0,97	0,96	0,95	0,93	0,90	0,86	0,79	0,66	0,25	0,00

-  
Permutador

-  
Interno ao depósito, tipo serpentina, com eficácia 55%

Caudal no grupo painel/permutador: 61,8 l/m<sup>2</sup> por hora (=0,10 l/s)

-  
Depósito

-  
Modelo: 500 l

Volume: 500 l

Área externa: 2,70 m<sup>2</sup>

Material: médio condutor de calor

Posição vertical

Deflectores interiores

Coefficiente de perdas térmicas: 2,70 w/K

Um conjunto depósito/permutador

-  
Tubagens

-  
Comprimento total: 14,0 m

Percurso no exterior: 3,5 m com protecção mecânica

Diâmetro interno: 26,0 mm

Espessura do tubo metálico: 3,0 mm

Espessura do isolamento: 30,0 mm

Condutividade térmica do metal: 380 w/m/K

Condutividade térmica do isolamento: 0,030 w/m/K

- Carga térmica: segunda a sexta

---

RCCTE 6 ocupantes

Temperatura nominal de consumo: 60°C (N.B. existem válvulas misturadoras)

Temperaturas de abastecimento ao depósito (°C):

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
Dez	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

Perfis de consumo (l) hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
Dez 01											
02											
03											
04											
05											
06											
07											
08											
09											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240
19											
20											
21											
22											
23											
24											
diário	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240

-----  
 -  
 Carga térmica: fim-de-semana  
 -----  
 -

RCCTE 6 ocupantes

Temperatura nominal de consumo: 60°C (N.B. existem válvulas misturadoras)

Temperaturas de abastecimento ao depósito (°C):

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
Dez	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
15											

Perfis de consumo (l)

hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
Dez											
01											
02											
03											
04											
05											
06											
07											
08											
09											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240
240											
19											
20											
21											
22											
23											
24											

diário 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240  
240

-----  
-  
Localização, posição e envolvente do sistema  
-----

-  
Concelho de Porto

Coordenadas nominais: 41,2°N, 8,6°W

TRY para RCCTE/STE e SOLTERM (fonte: INETI - versão 2004)

Obstruções do horizonte: 20°

Orientação do painel: inclinação 34° - azimute 0°  
-----

-  
Balanço energético mensal e anual  
-----

	Rad.Horiz. kwh/m <sup>2</sup>	Rad.Inclin. kwh/m <sup>2</sup>	Desperdiçado kwh	Fornecido kwh	Carga kwh	Apoio kwh
Janeiro	51	64	,	180	389	210
Fevereiro	69	87	,	235	352	117
Março	105	122	,	302	389	87
Abril	144	154	,	345	377	32
Maio	173	167	2,	352	389	37
Junho	185	174	2,	357	377	20
Julho	205	196	16,	381	389	8
Agosto	184	189	28,	383	389	6
Setembro	129	147	,	350	377	26
Outubro	95	121	,	326	389	63
Novembro	60	78	,	218	377	159
Dezembro	49	62	,	176	389	213
Anual	1449	1562	48,	3605	4584	979

Fracção solar: 78,6%

Rendimento global anual do sistema: 38%  
colector]

Produtividade: 601 kwh/[m<sup>2</sup>

N.B. 'Fornecido' é designado 'E solar' nos Regulamentos Energéticos (DLs 78,79,80/06)

SK500 | 26-07-2013 15:23:15 |

## Anexo III

Folhas de cálculo do RCCTE relativas  
à moradia de Quintã – Espargo



Nível de qualidade N<sub>2</sub>

Moradia unifamiliar do lugar da Quintã –

Espargo



**Folha de Cálculo FCIV.1a**  
**Perdas associadas à Envoltente Exterior**

<b>Paredes Exteriores</b>		<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>U (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>	<b>U.A (W/°C)</b>
P1	Paredes exteriores	26,37	0,40	10,55
PE	Porta em madeira maciça	1,87	3,33	6,23
P1	Paredes exteriores	33,43	0,40	13,37
P1	Paredes exteriores	24,21	0,40	9,68
P1	Paredes exteriores	33,01	0,40	13,20
		<b>118,89</b>	<b>TOTAL</b>	<b>53,04</b>

<b>Pontes térmicas Planas:</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>U (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>	<b>U.A (W/°C)</b>
Pilares de Betão Armado	6,93		
Vigas de Betão Armado	7		
Caixas-de-estores	4,93		
	<b>18,86</b>	<b>TOTAL</b>	

<b>Pavimentos Exteriores</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>U (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>	<b>U.A (W/°C)</b>
		<b>TOTAL</b>	

**Folha de Cálculo FCIV.1a**  
**Perdas associadas à Envoltente Exterior**

<b>Coberturas Exteriores</b>	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> .°C)	U.A (W/°C)
Cobertura em blocos de betão leve + Gesso cartonado e sem ca	136,35	0,51	69,54
	136,35	TOTAL	69,54

<b>Paredes em contacto com o solo</b> (Tab IV 2.2-pag 2494)	(Área) (m <sup>2</sup> )	Desenvolv. B (m)	(W/m°C)	.B (W/°C)
			TOTAL	

<b>Pavimentos em contacto com o solo</b> (Tab IV 2.1-pag 2494) c/ isolamento falta tabela	(Área) (m <sup>2</sup> )	Desenvolv. B (m)	(W/m°C)	.B (W/°C)
			TOTAL	

<b>Pontes térmicas lineares</b> Ligações entre:	Desenv. B (m)	(W/m.°C)	.B (W/°C)
Fachada com os pavimentos térreos			
Fachada com os pavimentos locais NU ou exteriores (Rês-do-chão)	43,35	0,60	26,01
Fachada com pavimentos intermédios			
Fachada com cobertura inclinada ou terraço	55,55	0,53	29,44
Fachada com varanda			
Duas paredes verticais	18,30	0,15	2,75
Fachada com caixa de estore			
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril (Nota2)	14,70	0,20	2,94
Fachada com laje contínua (indefinido)			
		TOTAL	61,14

Nota1: Caixas de estores seguem as regras das pags 2497e 2498 =0

Nota2: Ombreira e peitoril seguem as regras da pag. 2498 =0

<b>Perdas pela envoltente exterior da Fracção Autónoma</b>	(W/°C)	TOTAL	183,71
--	--------	-------	--------

**Folha de Cálculo FCIV.1b**  
**Perdas associadas à Envolvente Interior**

<b>Paredes interiores em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes</b>	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> .°C)	(-)	.U.A (W/°C)
Paredes / Casa das máquinas	7,17	0,57	0,95	3,88
Parede / Desvão	5,66	0,70	0,60	2,38
	12,83		TOTAL	6,26

<b>Pavimentos sobre espaços não-úteis</b>	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> .°C)	(-)	.U.A (W/°C)
Pavimento em soalho de madeira	132,48	0,60	1,00	79,49
Pavimento cerâmico	13,06	0,60	1,00	7,84
	145,54		TOTAL	87,32

<b>Coberturas Interiores (tectos sob espaços não-úteis)</b>	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> .°C)	(-)	.U.A (W/°C)
Laje de esteira	12,44	0,56	0,60	4,18
	12,44		TOTAL	4,18

<b>Paredes Interiores do fogo</b>	Área (m <sup>2</sup> )
Paredes Divisórias Interiores do Rés-do-chão	85,15
Paredes Divisórias Interiores do Rés-do-chão	41,44
Paredes Divisórias Interiores do Rés-do-chão	2,52
	129,11

<b>Pavimentos Interiores do fogo</b>	Área (m <sup>2</sup> )

<b>Vãos envidraçados em contacto com espaços não-úteis</b>	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> .°C)	(-)	.U.A (W/°C)
			TOTAL	

<b>Pontes térmicas (apenas para paredes de espaços não-úteis com &gt;0,7)</b>	Comp. B (m)	U (W/m.°C)	(-)	.B (W/°C)
Parede com pavimento térreo com isolamento térmico	2,50	0,60	0,95	1,43
Parede com cobertura inclinada	2,50	0,53	0,95	1,26
	5,00		TOTAL	2,68

**Perdas pela envolvente interior da Fracção Autónoma (W/°C) TOTAL 100,45**

*Incluir obrigatoriamente os elementos que separam a Fracção Autónoma dos seguintes espaços:*

*Zonas comuns em edifícios com mais de uma Fracção Autónoma; Edifícios anexos;*

*Garagens, armazéns, lojas e espaços não-úteis similares; Sotãos não-habitados.*

**Folha de Cálculo FCIV.1c**  
**Perdas Associadas aos Vãos Envidraçados Exteriores**

Vãos envidraçados exteriores	Orient.	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> .°C)	U.A (W/°C)
<b>Verticais:</b>				
	N	0,00	0,00	0,00
	N	0,00	0,00	0,00
	N	0,00	0,00	0,00
	N	0,00	0,00	0,00
Quarto 3	NE	2,27	2,60	5,90
Quarto 2	NE	2,27	2,60	5,90
Porta envidraçada	NE	1,53	3,50	5,36
	NE	0,00	0,00	0,00
	E	0,00	0,00	0,00
	E	0,00	0,00	0,00
	E	0,00	0,00	0,00
	E	0,00	0,00	0,00
Sala comum	SE	2,31	2,60	6,01
Escritório	SE	1,70	2,60	4,42
Quarto 1	SE	3,39	2,60	8,81
	SE	0,00	0,00	0,00
	S	0,00	0,00	0,00
	S	0,00	0,00	0,00
	S	0,00	0,00	0,00
	S	0,00	0,00	0,00
Sala comum	SW	5,70	2,60	14,82
Cozinha	SW	3,39	2,60	8,81
	SW	0,00	0,00	0,00
	SW	0,00	0,00	0,00
	W	0,00	0,00	0,00
	W	0,00	0,00	0,00
	W	0,00	0,00	0,00
	W	0,00	0,00	0,00
Cozinha	NW	1,12	2,60	2,91
Lavavos 1	NW	0,71	2,60	1,85
Lavavos 2	NW	0,71	2,60	1,85
	NW	0,00	0,00	0,00
				<b>66,64</b>
<b>Horizontais:</b>				
	HORIZ.	0,00	0,00	0,00
	HORIZ.	0,00	0,00	0,00
	HORIZ.	0,00	0,00	0,00
	HORIZ.	0,00	0,00	0,00
				<b>0,00</b>
		<b>25,10</b>	<b>TOTAL</b>	<b>66,64</b>

**Folha de Cálculo FC IV.1d**  
**Perdas associadas à Renovação de Ar**

Área Útil de Pavimento	145,54 m <sup>2</sup>	Tipo de Ventilação	<b>N</b>
x			
Pé-direito médio	3,05 m	Natural	<b>N</b>
Volume interior (V)	443,90 m <sup>3</sup>	Mecânica	<b>M</b>

*(Quadro a considerar sempre que o único dispositivo de ventilação mecânica existente seja o exaustor da cozinha)*

**VENTILAÇÃO NATURAL**

Cumprir a NP 1037-1?	(S ou N)	<b>N</b>	Taxa de Renovação
Se NÃO:			
Classe da Caixilharia	(s/c, 1, 2 ou 3)	<b>3</b>	Nominal:
Caixas de Estore	(S ou N)	<b>S</b>	Ver Quadro IV.1 (pag. 2487)
Classe de Exposição	(1, 2, 3 ou 4)	<b>2</b>	RPH=
(Ver Quadro IV.2, pag.2488)			<b>0,95</b>
Aberturas Auto-reguláveis?	(S ou N)	<b>N</b>	Região
Área de envidraçados >15% Ap?	(S ou N)	<b>S</b>	A
Portas Exteriores bem vedadas?	(S ou N)	<b>S</b>	Rugosidade
			II
			Altura acima do solo
			De 10m a 18m
			RPH = <b>0,95</b>

**VENTILAÇÃO MECÂNICA** *(excluir exaustor da cozinha)*

Caudal de Insuflação	Vins - (m <sup>3</sup> /h)		Vf =
Caudal Extraído	Vev - (m <sup>3</sup> /h)		
Diferença entre Vins e Vev	(m <sup>3</sup> /h)		Volume =
Infiltrações (Vent. Natural)	Vx / V (h <sup>-1</sup> )		(volume in RPH (**))
Recuperador de calor	(S ou N)	<b>N</b>	Ver Ábaco Graf. p44
Taxa de Renovação Nominal	(mínimo: 0,6)		$R_{ph} = \frac{V_f}{V} - \frac{V_x}{V}$
Potencia dos ventiladores (W)			
Consumo de Electricidade para os ventiladores			(Ev=Pv.24.0,03.M(kWh))

**Folha de Cálculo FC IV.1d**  
**Perdas associadas à Renovação de Ar**

Volume	443,90	<b>Recuperação de Calor</b>	
	x	se SIM, =0,7	0
Taxa de Renovação (consumo energia)	0,95	se NÃO, =0	
	x	$(V_f / V + V_x/V) \cdot (1 - )$	
	0,34		
TOTAL	143,38		(W/°C)

**Folha de Cálculo FC IV.1e**  
**Ganhos Úteis na Estação de Aquecimento (Inverno)**

**Ganhos Solares:**

Orientação do Vão Envidraçado	Tipo (Simples ou Duplo)	Área (m2)	Factor de orientação X (-)	Factor Solar do Vidro g (-)	Factor de Obstrução Fs (-) Fh.Fo.Ff	Fracção Envidraçada Fg (-)	Factor de Sel. Angular Fw (-)	Área Efectiva Ae (m2)	Fh	Fo	Ff
									Tabelas IV.5, IV.6 e IV.7 Pag.2499 a 2500		
NE	D	2,27	0,33	0,63	0,90	0,7	0,9	0,27	0,96	0,95	1,00
NE	D	2,27	0,33	0,63	0,90	0,7	0,9	0,27	0,96	0,95	1,00
NE	D	1,53	0,33	0,50	0,89	0,7	0,9	0,14	0,96	0,93	1,00
SE	D	2,31	0,84	0,63	0,68	0,7	0,9	0,52	0,88	0,77	1,00
SE	D	1,70	0,84	0,63	0,34	0,7	0,9	0,19	0,88	0,49	0,79
SE	D	3,39	0,84	0,63	0,64	0,7	0,9	0,72	0,88	0,85	0,85
SW	D	5,70	0,84	0,63	0,59	0,7	0,9	1,12	0,88	0,67	1,00
SW	D	3,39	0,84	0,63	0,64	0,7	0,9	0,73	0,88	0,73	1,00
NW	D	0,71	0,33	0,63	0,90	0,7	0,9	0,08	0,96	0,95	1,00
NW	D	0,71	0,33	0,63	0,90	0,7	0,9	0,08	0,96	0,95	1,00
NW	D	1,12	0,33	0,63	0,82	0,7	0,9	0,12	0,96	0,85	1,00

Área efectiva total equivalente na orientação Sul (m<sup>2</sup>)

4,24

x

Energia incidente num envidraçado a Sul (G<sub>sul</sub>)

na zona **12** do Quadro III. 8 (Anexo III) - (kWh/m<sup>2</sup>.mês)

93,00

x

Duração da estação de aquecimento - do Quadro III.1 (meses)

6,70

=

Ganhos Solares Brutos (kWh/ano)

2644,60

**Ganhos Internos**

Ganhos internos médios (Quadro IV.3, pag.2489)	<b>4,00</b>	(W/m <sup>2</sup> )
	x	
Duração da Estação de Aquecimento (Quadro III.1)	<b>6,70</b>	(meses)
	x	
Área Útil de pavimento	<b>145,54</b>	(m <sup>2</sup> )
	x	
	<b>0,72</b>	
	=	
Ganhos Internos Brutos	<b>2808,34</b>	(kWh/ano)

Cálculo intermédio:

Se = 1 = 0,81

Se 1 = 1,00

**Ganhos Úteis Totais:**

=	Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos	5452,94
	Necessidades Brutas de Aquecimento (da FC IV.2)	20280,87

Folha de Cálculo FC IV.1e  
Ganhos Úteis na Estação de Aquecimento (Inverno)

Inércia do edifício:	<input type="text" value="3"/>	a =	<input type="text" value="4,2"/>	=	<input type="text" value="0,27"/>
<i>(In. Fraca=1; In. Média=2; In. Forte=3)</i>					
Factor de Utilização dos Ganhos Solares	( )				<input type="text" value="1,00"/>
					x
Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos					<input type="text" value="5452,94"/>
					=
Ganhos Úteis Totais (kWh/ano)					<input type="text" value="5436,90"/>

**Folha de Cálculo FC IV.1f**  
**Valor Máximo das Necessidades de Aquecimento (Ni)**

<b>Factor de forma</b>		
De FCIV.1a e FCIV.1c:	(Áreas)	m <sup>2</sup>
Paredes exteriores		118,89
Coberturas exteriores		136,35
Pavimentos exteriores		
Envidraçados exteriores		25,10
Pontes Térmicas Planas		18,86
De FCIV.1b:	(Áreas equivalentes, A . )	m <sup>2</sup>
Paredes interiores confinar espaços não úteis		10,21
Pavimentos interiores sobre espaços não úteis		145,54
Coberturas interiores sob espaços não úteis		7,46
Envidraçados interiores confinar espaços não úteis		
Área total:		462,41
		/
Volume (de FCIV.1d):		443,90
		//
<b>FF</b>		<b>1,04</b>

**Graus-dias no local (°C.dia)** (do Quadro III.1, pag.2478) 1710

Ni = 4,5 + 0,0395 GD	Para FF < 0,5	Auxiliar
Ni = 4,5 + (0,021 + 0,037FF) GD	Para 0,5 < FF < 1	72,05
Ni = [4,5 + (0,021 + 0,037FF) GD] (1,2 - 0,2FF)	Para 1 < FF < 1,5	106,32
Ni = 4,05 + 0,06885 GD	Para FF > 1,5	105,43
		121,78

**Nec. Nom. de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m<sup>2</sup>.ano)** 105,43

**Folha de Cálculo FC IV.2**  
**Cálculo do Indicador Nic**

<b>Perdas térmicas associadas a:</b>	<b>(W/°C)</b>
Envolvente Exterior (de FCIV.1a)	183,71
Envolvente Interior (de FCIV.1b)	100,45
Vãos Envidraçados (de FCIV.1c)	66,64
Renovação de Ar (de FCIV.1d)	143,38
	=
Coeficiente Global de Perdas (W/°C)	494,17
	x
Graus-dias no Local (°C.dia)	1710
	x
	0,024
	=
	20.280,87
	+
Consumo ventiladores x M/12	
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	20.280,87
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (de FCIV.1e)	5.436,90
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	14.843,96
	/
Área Útil de Pavimento (m2)	145,54
	=
Nec. Nominais de Aquecimento - <b>Nic</b> (kWh/m2.ano)	<b>101,99</b>
	<
Nec. Nominais de Aquec. Máximas - <b>Ni</b> (kWh/m2.ano)	<b>105,43</b>
	=
<b>Verifica</b>	<b>O.K.</b>
1 - Nic/Ni (%) =	3,26

**Folha de cálculo FCV.1a**  
**Perdas**

Perdas associadas às paredes exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	53,04	(W/°C)
		+	
Perdas associadas aos pavimentos exteriores (U.A)	(FCIV.1a)		(W/°C)
		+	
Perdas associadas às coberturas exteriores (U.A)	(FCV.1b)		(W/°C)
		+	
Perdas associadas aos envidraçados exteriores (U.A)	(FCV.1c)	66,64	(W/°C)
		+	
Perdas associadas à renovação do ar	(FCIV.1d)	143,38	(W/°C)
		=	
<b>Perdas específicas totais</b>	(Q1a)	<b>263,05</b>	(W/°C)

Temperatura interior de referência		25,00	(°C)
		-	
Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento (Quadro III.9, pag.2484)		19,00	(°C)
		=	
Diferença de temperatura interior-exterior		6,00	
		x	
Perdas específicas totais	(Q1a)	263,05	(W/°C)
		x	
		2,928	
		=	
<b>Perdas térmicas totais</b>	(Q1b)	<b>4.621,28</b>	(kWh)



**Folha de Cálculo FC V.1c**  
**Ganhos Solares pela Envolvente Opaca**

Designação dos elementos	Orient	Área m2	U W.m2/°C	Coef. absorção	.U.A	Intens. rad solar	Factor conv.	Ganhos Solares Env. Envidraçados	
				Quadro V.5 pag.2504		Quadro III.9 pag.2484			
<b>Paredes Exteriores:</b>									
P1	Paredes exteriores	NE	26,37	0,40	0,5	5,27	300,00	0,04	63,29
PE	Porta em madeira maciça	NE	1,87	3,33	0,5	3,11	300,00	0,04	37,36
P1	Paredes exteriores	SE	33,43	0,40	0,5	6,69	430,00	0,04	115,00
P1	Paredes exteriores	SW	24,21	0,40	0,5	4,84	430,00	0,04	83,28

**Folha de Cálculo FC V.1c**  
**Ganhos Solares pela Envolvente Opaca**

Designação dos elementos	Orient	Área m2	U W.m2/°C	Coef. absorção	.U.A	Intens. rad solar	Factor conv.	Ganhos Solares Env. Envidraçados	
				Quadro V.5 pag.2504		Quadro III.9 pag.2484			
<b>Pontes Termicas Planas</b>									
PTP	Pilares em betão armado	NE	1,90	0,64	0,5	0,61	300,00	0,04	7,30
	Vigas em betão armado	NE	1,84	0,64	0,5	0,59	300,00	0,04	7,07
	Caixas de estores	NE	1,08	0,63	0,5	0,34	300,00	0,04	4,08
PTP	Pilares em betão armado	SE	1,23	0,64	0,5	0,39	430,00	0,04	6,77
	Vigas em betão armado	SE	2,14	0,64	0,5	0,68	430,00	0,04	11,78
	Caixas de estores	SE	1,46	0,63	0,5	0,46	430,00	0,04	7,91
PTP	Pilares em betão armado	SW	2,85	0,64	0,5	0,91	430,00	0,04	15,69
	Vigas em betão armado	SW	1,65	0,64	0,5	0,53	430,00	0,04	9,08
	Caixas de estores	SW	1,61	0,63	0,5	0,51	430,00	0,04	8,72
PTP	Pilares em betão armado	NW	0,95	0,64	0,5	0,30	300,00	0,04	3,65
	Vigas em betão armado	NW	1,37	0,64	0,5	0,44	300,00	0,04	5,26
	Caixas de estores	NW	0,78	0,64	0,5	0,25	300,00	0,04	3,00

104,74

<b>Coberturas exteriores:</b>									
	HORIZ.				0,4		730,00	0,04	
							Total (kWh)		389,23

**Folha de Cálculo FC V.1d**  
**Ganhos Solares pelos Envidraçados Exteriores**

Designação dos elementos	Orient.	Área m2	Factor (g ) solar do vão Envidraçado Tabela IV.4.1 pag. 2498	F. Sombr. Horizonte <b>Fh</b>	F. Sombr. Horizontal <b>Fo</b> Quadro V.1 pag 2502	F. Sombr. vertical <b>Ff</b> Quadro V.2 pag 2502	Fracção Envidraçado	Factor de obstrução <b>Fs=</b> <b>Fh.Fo.Ff</b>	Factor Solar <b>Fw</b> Quadro V.3 pag. 2503	Área efectiva m2	Intensidade Radiação Solar (kWh/m2) Quadro III.9 pag. 2484	Ganhos Solares Envidraçados
							<b>Fg</b> Quadro IV.5 pag.2490					
<b>Envidraçados Verticais Exteriores:</b>												
Quarto 3	NE	2,27	0,25	1,00	0,89	1,00	0,70	0,89	0,85	0,30	300,00	90,16
Quarto 2	NE	2,27	0,25	1,00	0,89	1,00	0,70	0,89	0,85	0,30	300,00	90,16
Porta envidraçada	NE	1,53	0,50	1,00	0,83	1,00	0,70	0,83	0,85	0,38	300,00	113,34
Sala comum	SE	2,31	0,67	1,00	0,69	1,00	0,70	0,69	0,85	0,64	430,00	273,23
Escritório	SE	1,70	0,67	1,00	1,00	1,00	0,70	0,90	0,85	0,61	430,00	262,27
Quarto 1	SE	3,39	0,25	1,00	0,80	0,84	0,70	0,67	0,85	0,34	430,00	145,71
Sala comum	SW	5,70	0,67	1,00	0,61	1,00	0,70	0,61	0,85	1,39	430,00	596,03
Cozinha	SW	3,39	0,67	1,00	0,65	1,00	0,70	0,65	0,85	0,88	430,00	377,72
Cozinha	NW	1,12	0,67	1,00	0,70	1,00	0,70	0,70	0,85	0,31	420,00	131,27
Lavavos 1	NW	0,71	0,67	1,00	0,89	1,00	0,70	0,89	0,85	0,25	300,00	75,57
Lavavos 2	NW	0,71	0,67	1,00	0,89	1,00	0,70	0,89	0,85	0,25	300,00	75,57
<b>Horizontais:</b>												
				1,00	1,00	1,00	0,70	1,00	1,00		730,00	
											<b>Total(kWh)</b>	<b>2.231,02</b>

Folha de cálculo FC V.1e  
Ganhos Internos

Ganhos Internos médios (W/m <sup>2</sup> ) (Quadro IV.3, pag. 2489)	4,00	
	x	
Área Útil de Pavimento (m2)	145,54	
	x	
	2,93	
	=	
<b>Ganhos internos Totais</b>	<b>1.704,56</b>	<b>(KWh)</b>

Folha de cálculo FC V.1f  
Ganhos Totais na estação de arrefecimento (verão)

<b>Ganhos Solares pelos Vãos Envidraçados Exteriores (FCV.1d)</b>	<b>2.231,02</b>	<b>(KWh)</b>
	+	
<b>Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior (FCV.1c)</b>	<b>389,23</b>	<b>(KWh)</b>
	+	
<b>Ganhos internos (FCV.1e)</b>	<b>1.704,56</b>	<b>(KWh)</b>
	=	
<b>Ganhos Térmicos Totais</b>	<b>4.324,81</b>	<b>(KWh)</b>

**Folha de cálculo FCV.1g**  
**Valor das Necessidades Nominais de Arrefecimento (Nvc)**

<b>Ganhos Térmicos Totais</b> (FCV.1f)	4.324,81	(kWh)
	/	
<b>Perdas Térmicas Totais</b> (FCV.1a)	4.621,28	(kWh)
	=	
<b>Relação Ganhos-Perdas</b>	0,94	
<b>Inércia do edifício</b> (In. Fraca=1; In. Média=2; In. Forte=3)	3,00	
	1,00	
	-	
Factor de utilização dos ganhos, (Gráfico IV.1)	0,83	
	=	
	0,17	
	x	
<b>Ganhos Térmicos Totais</b> (FCV.1f)	4.324,81	(kWh)
	=	
<b>Necessidades Brutas de Arrefecimento</b>	720,16	(kWh/ano)
	+	
<b>Consumo dos ventiladores</b> (se houver, exaustor da cozinha excluído)	(Ev=Pv.24.0,03.4(kWh))	
	=	
<b>TOTAL</b>	720,16	(kWh/ano)
	/	
Área Útil de Pavimento (m <sup>2</sup> )	145,54	
	=	
<b>Necessidades Nominais de Arrefecimento - Nvc</b>	4,95	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)
<b>Necessidades Nominais de Arref. Máximas - Nv</b> (Nº2 do Artigo 15º, pag.2474)	16	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)

Verifica	O.K.
1-Nvc/Nv (%) =	69,07%

**REGULAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DE  
COMPORTAMENTO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS (RCCTE)  
Verificação Energética**

**Verificação das necessidades de energia útil para AQS**

Artigo 15, nº 3, pag.2474

Tipo edifício	Nº ocupantes	Consumo Dia AQS	T	$n_d$	$E_{solar}$	$E_{ren}$	$a$	$Q_a$	$N_a$	$N_{ac}$
	5	40	45	365	1.918		0,50	3.820,64	40,63	39,32

$N_a$	$N_{ac}$									
40,63	39,32	Satisfaz quanto às necessidades de energia útil para AQS								

**Verificação das necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária Ntc**

Artigo 15, nº 4, pag.2474

Tipo edifício	$F_{pui}$	$F_{puv}$	$F_{pua}$	$i$	$v$	$N_{ic}$	$N_{vc}$	$N_i$	$N_v$	$N_t$	$N_{tc}$
	0,086	0,29	0,086	0,8	3	101,99	4,95	105,43	16	6,58	4,53

$N_t$	$N_{tc}$									
6,58	4,53	Satisfaz quanto às necessidades nominais globais anuais de energia primária Ntc								

## Anexo IV

Listagem Solterm<sup>®</sup> relativa à moradia  
de Quintã – Espargo



-  
SolTerm 5.0

Licenciado a Eduardo Maldonado  
(DGGE - Direcção Geral de Geologia e Energia)

Estimativa de desempenho de sistema solar térmico

-  
Campo de colectores

-  
Modelo de colector: Martifer A200

Tipo: Plano

2 módulos (4,1 m<sup>2</sup>)

Inclinação 34° - Azimute Sul

Coefficientes de perdas térmicas: a1= 4,162 w/m<sup>2</sup>/K      a2= 0,014 w/m<sup>2</sup>/K<sup>2</sup>

Rendimento óptico: 74,4%

Modificador de ângulo: a

0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°		
1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94		
a	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°	85°	90°
	0,92	0,89	0,85	0,80	0,73	0,62	0,43	0,06	0,00	0,00

-  
Permutador

-  
Interno ao depósito, tipo serpentina, com eficácia 55%

Caudal no grupo painel/permutador: 47,0 l/m<sup>2</sup> por hora (=0,05 l/s)

-  
Depósito

-  
Modelo: típico 200 l

Volume: 200 l

Área externa: 2,70 m<sup>2</sup>

Material: médio condutor de calor

Posição vertical

Deflectores interiores

Coefficiente de perdas térmicas: 2,70 w/K

Um conjunto depósito/permutador

-  
Tubagens

-  
Comprimento total: 21,0 m

Percurso no exterior: 13,2 m com protecção mecânica

Diâmetro interno: 39,5 mm

Espessura do tubo metálico: 1,5 mm

Espessura do isolamento: 30,0 mm

Condutividade térmica do metal: 380 w/m/K

Condutividade térmica do isolamento: 0,030 w/m/K

- Carga térmica: segunda a sexta

---

RCCTE 4 ocupantes

Temperatura nominal de consumo: 60°C (N.B. existem válvulas misturadoras)

Temperaturas de abastecimento ao depósito (°C):

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
Dez 15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

Perfis de consumo (l) hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
Dez 01											
02											
03											
04											
05											
06											
07											
08	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
40 09	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
40 10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
40 23	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
40 24											
diário 160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160

-----  
 -  
 Carga térmica: fim-de-semana  
 -----  
 -

RCCTE 4 ocupantes

Temperatura nominal de consumo: 60°C (N.B. existem válvulas misturadoras)

Temperaturas de abastecimento ao depósito (°C):

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
Dez	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
15											

Perfis de consumo (l)

hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
Dez											
01											
02											
03											
04											
05											
06											
07											
08	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
40											
09	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
40											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
40											
23	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
40											
24											

solterm\_espargo.txt  
diário 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160  
160

-----  
-  
Localização, posição e envolvente do sistema  
-----

-  
Concelho de Feira  
Coordenadas nominais: 41,0°N, 8,5°W  
TRY para RCCTE/STE e SOLTERM (fonte: INETI - versão 2004)

Obstruções do horizonte: 3° (por defeito)

Orientação do painel: inclinação 34° - azimute 0°  
-----

-  
Balanco energético mensal e anual  
-----

	Rad.Horiz. kwh/m <sup>2</sup>	Rad.Inclin. kwh/m <sup>2</sup>	Desperdiçado kwh	Fornecido kwh	Carga kwh	Apoio kwh
Janeiro	52	83	,	102	260	157
Fevereiro	69	101	,	114	234	120
Março	104	126	,	140	260	120
Abril	144	157	,	172	251	79
Maio	176	173	,	190	260	70
Junho	184	173	,	190	251	61
Julho	206	198	,	218	260	41
Agosto	184	193	,	218	260	41
Setembro	131	154	,	186	251	65
Outubro	96	130	,	160	260	99
Novembro	62	101	,	128	251	123
Dezembro	49	82	,	98	260	162
Anual	1458	1670	,	1918	3056	1138

Fracção solar: 62,8%  
Rendimento global anual do sistema: 28%      Produtividade: 465 kwh/[m<sup>2</sup>  
colector]

N.B. 'Fornecido' é designado 'E solar' nos Regulamentos Energéticos (DLs  
78,79,80/06)

espargo | 20-03-2013 16:16:39 |

-  
SolTerm 5.0

Licenciado a Eduardo Maldonado  
(DGGE - Direcção Geral de Geologia e Energia)

Estimativa de desempenho de sistema solar térmico

-  
Campo de colectores

-  
Modelo de colector: Martifer A200

Tipo: Plano

2 módulos (4,1 m<sup>2</sup>)

Inclinação 34° - Azimute Sul

Coefficientes de perdas térmicas: a1= 4,162 w/m<sup>2</sup>/K      a2= 0,014 w/m<sup>2</sup>/K<sup>2</sup>

Rendimento óptico: 74,4%

Modificador de ângulo: a

0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°		
1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94		
a	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°	85°	90°
	0,92	0,89	0,85	0,80	0,73	0,62	0,43	0,06	0,00	0,00

-  
Permutador

-  
Interno ao depósito, tipo serpentina, com eficácia 55%

Caudal no grupo painel/permutador: 47,0 l/m<sup>2</sup> por hora (=0,05 l/s)

-  
Depósito

-  
Modelo: típico 200 l

Volume: 200 l

Área externa: 2,70 m<sup>2</sup>

Material: médio condutor de calor

Posição vertical

Deflectores interiores

Coefficiente de perdas térmicas: 2,70 w/K

Um conjunto depósito/permutador

-  
Tubagens

-  
Comprimento total: 21,0 m

Percurso no exterior: 13,2 m com protecção mecânica

Diâmetro interno: 39,5 mm

Espessura do tubo metálico: 1,5 mm

Espessura do isolamento: 30,0 mm

Condutividade térmica do metal: 380 w/m/K

Condutividade térmica do isolamento: 0,030 w/m/K

- Carga térmica: segunda a sexta

---

RCCTE 4 ocupantes

Temperatura nominal de consumo: 60°C (N.B. existem válvulas misturadoras)

Temperaturas de abastecimento ao depósito (°C):

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
Dez 15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

Perfis de consumo (l) hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
Dez 01											
02											
03											
04											
05											
06											
07											
08	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
40 09	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
40 10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
40 23	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
40 24											
diário 160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160

-----  
 -  
 Carga térmica: fim-de-semana  
 -----  
 -

RCCTE 4 ocupantes

Temperatura nominal de consumo: 60°C (N.B. existem válvulas misturadoras)

Temperaturas de abastecimento ao depósito (°C):

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
Dez	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
15											

Perfis de consumo (l)

hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
Dez											
01											
02											
03											
04											
05											
06											
07											
08	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
40											
09	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
40											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
40											
23	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
40											
24											

solterm\_espargo.txt  
diário 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160  
160

-----  
-  
Localização, posição e envolvente do sistema  
-----

-  
Concelho de Feira  
Coordenadas nominais: 41,0°N, 8,5°W  
TRY para RCCTE/STE e SOLTERM (fonte: INETI - versão 2004)

Obstruções do horizonte: 3° (por defeito)

Orientação do painel: inclinação 34° - azimute 0°  
-----

-  
Balanço energético mensal e anual  
-----

	Rad.Horiz. kwh/m <sup>2</sup>	Rad.Inclin. kwh/m <sup>2</sup>	Desperdiçado kwh	Fornecido kwh	Carga kwh	Apoio kwh
Janeiro	52	83	,	102	260	157
Fevereiro	69	101	,	114	234	120
Março	104	126	,	140	260	120
Abril	144	157	,	172	251	79
Maio	176	173	,	190	260	70
Junho	184	173	,	190	251	61
Julho	206	198	,	218	260	41
Agosto	184	193	,	218	260	41
Setembro	131	154	,	186	251	65
Outubro	96	130	,	160	260	99
Novembro	62	101	,	128	251	123
Dezembro	49	82	,	98	260	162
Anual	1458	1670	,	1918	3056	1138

Fracção solar: 62,8%  
Rendimento global anual do sistema: 28%      Produtividade: 465 kwh/[m<sup>2</sup> colector]

N.B. 'Fornecido' é designado 'E solar' nos Regulamentos Energéticos (DLs 78,79,80/06)

espargo | 20-03-2013 16:16:39 |

# Anexo V

## Fichas das soluções construtivas



Nível de qualidade  $N_1$

Moradia unifamiliar da Rua do Marechal

Saldanha



NAF010

m<sup>2</sup>**Isolamento pelo interior em fachada dupla de alvenaria face à vista.**

Isolamento pelo interior em fachada dupla de alvenaria face à vista formado por **painel semi-rígido de lã mineral, segundo EN 13162, não revestido, de 50 mm de espessura, fixado por pontos de cimento cola.**

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt16aaa040	m <sup>2</sup>	Repercussão de cimento cola, para fixação por pontos, de painéis isolantes em paramentos verticais.	1,000	0,36	0,36
mt16lra020of	m <sup>2</sup>	Painel semi-rígido de lã mineral, segundo EN 13162, não revestido, de 50 mm de espessura, resistência térmica 1,4 m <sup>2</sup> C/W, condutibilidade térmica 0,035 W/(m°C).	1,050	4,19	4,40
mt16aaa030	m	Fita autocolante para vedação de juntas.	0,440	0,30	0,13
mo050	h	Oficial de 1ª montador de isolamentos.	0,101	17,41	1,76
mo094	h	Ajudante de montador de isolamentos.	0,101	16,45	1,66
	%	Meios auxiliares	2,000	8,31	0,17
	%	Custos indirectos	3,000	8,48	0,25
Custo de manutenção decenal: 0,17€ nos primeiros 10 anos.				Total:	8,73

Referência e título da norma	Aplicabilidade (1)	Obrigatoriedade (2)	Sistema (3)
EN 13162:2008 Produtos de isolamento térmico para aplicação em edifícios - Produtos manufacturados de lã mineral (MW) - Especificação	192009	192010	

(1) Data de entrada em aplicação da norma harmonizada e início do período de coexistência

(2) Data final do período de coexistência / entrada em vigor da marcação CE

(3) Sistema de avaliação da conformidade

NAQ010

m<sup>2</sup>Isolamento exterior de  
coberturas inclinadas.

Isolamento pelo exterior em coberturas formado por painel de lã mineral natural (LMN) hidrófobo, não revestido, aglomerado com resinas, imputrescível, de alta resistência à compressão (30 kPa), de 40 mm de espessura, sobre superfície suporte existente regularizada com uma camada de argamassa.

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt09mor010c	m <sup>3</sup>	Argamassa de cimento CEM II/B-L 32,5 N tipo M-5, confeccionada em obra com 230 kg/m <sup>3</sup> de cimento e uma proporção em volume 1/6.	0,020	115,30	2,31
mt16lra080aa	m <sup>2</sup>	Painel de lã mineral natural (LMN) hidrófobo, não revestido, aglomerado com resinas, imputrescível, de alta resistência à compressão (30 kPa), de 40 mm de espessura, segundo EN 13162, resistência térmica 1 m <sup>2</sup> C/W, condutibilidade térmica 0,039 W/(m°C), Euroclasse A1 de reacção ao fogo, com código de designação MW-EN 13162-T5-DS(TH)-CS(10)30-WS-WL(P), de aplicação como isolante térmico e acústico em coberturas Deck.	1,050	8,92	9,37
mo050	h	Oficial de 1ª montador de isolamentos.	0,084	17,41	1,46
mo094	h	Ajudante de montador de isolamentos.	0,084	16,45	1,38
	%	Meios auxiliares	2,000	14,52	0,29
	%	Custos indirectos	3,000	14,81	0,44
				Total:	15,25

Referência e título da norma	Aplicabilidade (1)	Obrigatoriedade (2)	Sistema (3)
EN 13162:2008 Produtos de isolamento térmico para aplicação em edifícios - Produtos manufacturados de lã mineral (MW) - Especificação	192009	192010	

(1) Data de entrada em aplicação da norma harmonizada e início do período de coexistência

(2) Data final do período de coexistência / entrada em vigor da marcação CE

(3) Sistema de avaliação da conformidade

FVP010 m<sup>2</sup> Vidro simples.

Vidro incolor, espessura 6 mm.

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt21vpi010c	m <sup>2</sup>	Vidro polido incolor, 6 mm. Segundo NP EN 410 e NP EN 673. Coeficiente de transmissão térmica 3,19W/m <sup>2</sup> °C, factor solar 0,85.	1,006	18,97	19,08
mt21vva010	m	Vedação de juntas mediante aplicação com pistola de silicone sintético incolor.	3,500	0,85	2,98
mt21vva021	Ud	Material auxiliar para a colocação de vidros.	1,000	1,26	1,26
mo050	h	Oficial de 1ª vidraceiro.	0,235	15,61	3,67
mo101	h	Ajudante de vidraceiro.	0,235	15,48	3,64
	%	Meios auxiliares	2,000	30,63	0,61
	%	Custos indirectos	3,000	31,24	0,94
Custo de manutenção decenal: 8,05€ nos primeiros 10 anos.				Total:	32,18

FVC010 m<sup>2</sup> Vidro duplo.

Vidro duplo Aislaglas "UNIÓN VIDRIERA ARAGONESA", 4/12/5, com calços e vedação contínua.

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt21veu011aasb	m <sup>2</sup>	Vidro duplo Aislaglas "UNIÓN VIDRIERA ARAGONESA", conjunto constituído por vidro exterior Float incolor de 4 mm, caixa de ar desidratada com perfil separador de alumínio e dupla vedação perimetral, de 12 mm, e vidro interior Float incolor de 5 mm de espessura. Coeficiente de transmissão térmica 3,1 W/m <sup>2</sup> °C, factor solar 0,75.	1,006	27,73	27,90
mt21sik010	Ud	Cartucho de silicone sintético incolor Elastosil WS-305-N "SIKA" de 310 ml (rendimento aproximado de 12 m por cartucho).	0,580	2,47	1,43
mt21vva021	Ud	Material auxiliar para a colocação de vidros.	1,000	1,26	1,26
mo051	h	Oficial de 1 <sup>a</sup> vidraceiro.	0,344	18,20	6,26
mo103	h	Ajudante de vidraceiro.	0,344	17,76	6,11
	%	Meios auxiliares	2,000	42,96	0,86
	%	Custos indirectos	3,000	43,82	1,31
Custo de manutenção decenal: 9,48€ nos primeiros 10 anos.				Total:	45,13

Nível de qualidade N<sub>2</sub>

Moradia unifamiliar da Rua do Marechal

Saldanha



NAF060

m<sup>2</sup>**Isolamento pelo exterior em fachada para sistemas ETICS.**

Isolamento pelo exterior em fachada de alvenaria para revestir formado por **painel rígido de poliestireno expandido (EPS), segundo NP EN 13163, de superfície lisa e bordo lateral recto, de 40 mm de espessura**, colocado com **argamassa cola e fixações mecânicas**, para receber a camada de regularização e a de acabamento (não incluídas neste artigo), em sistemas compostos de isolamento pelo exterior (ETICS).

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt16peb010a	m <sup>2</sup>	Painel rígido de poliestireno expandido (EPS), segundo NP EN 13163, de superfície lisa e bordo lateral recto, de 30 mm de espessura, cor cinzento, resistência térmica 1,1 m <sup>2</sup> C/W, condutibilidade térmica 0,036 W/(m°C), densidade 20 kg/m <sup>3</sup> , Euroclasse E de reacção ao fogo, com código de designação EPS-NP EN 13163-L2-W2-T2-S2-P4-DS(N)2-BS170-CS(10)60-TR150.	1,050	6,10	6,41
mt16aaa021a	Ud	Bucha de expansão e prego de polipropileno, com aro de estanquidade, para fixação de placas isolantes.	6,000	0,08	0,48
mt16aaa010	kg	Argamassa cola para fixação de materiais isolantes em paramentos verticais.	4,000	0,19	0,76
mo049	h	Oficial de 1ª montador de isolamentos.	0,101	16,08	1,62
mo092	h	Ajudante de montador de isolamentos.	0,101	15,62	1,58
	%	Meios auxiliares	2,000	10,85	0,22
	%	Custos indirectos	3,000	11,07	0,33
Custo de manutenção decenal: 0,23€ nos primeiros 10 anos.				Total:	11,40

Referência e título da norma	Aplicabilidade (1)	Obrigatoriedade (2)	Sistema (3)
EN 13163:2008 Produtos de isolamento térmico para aplicação em edifícios - Produtos manufacturados em poliestireno expandido (EPS) - Especificação	192009	192010	

(1) Data de entrada em aplicação da norma harmonizada e início do período de coexistência

(2) Data final do período de coexistência / entrada em vigor da marcação CE

(3) Sistema de avaliação da conformidade

NAQ010

m<sup>2</sup>

**Isolamento exterior de coberturas inclinadas.**

Isolamento pelo exterior em coberturas **formado por painel de lã mineral natural (LMN) hidrófobo, não revestido, aglomerado com resinas, imputrescível, de alta resistência à compressão (50 kPa), de 80 mm de espessura, sobre superfície suporte existente regularizada com uma camada de argamassa.**

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt09mor010c	m <sup>3</sup>	Argamassa de cimento CEM II/B-L 32,5 N tipo M-5, confeccionada em obra com 230 kg/m <sup>3</sup> de cimento e uma proporção em volume 1/6.	0,020	115,30	2,31
mt16lra080da	m <sup>2</sup>	Painel de lã mineral natural (LMN) hidrófobo, não revestido, aglomerado com resinas, imputrescível, de alta resistência à compressão (50 kPa), de 80 mm de espessura, segundo EN 13162, resistência térmica 2,05 m <sup>2</sup> C/W, condutibilidade térmica 0,039 W/(m°C), Euroclasse A1 de reacção ao fogo, com código de designação MW-EN 13162-T5-DS(TH)-CS(10)50-WS-WL(P), de aplicação como isolante térmico e acústico em coberturas Deck.	1,050	16,95	17,80
mo050	h	Oficial de 1 <sup>a</sup> montador de isolamentos.	0,084	17,41	1,46
mo094	h	Ajudante de montador de isolamentos.	0,084	16,45	1,38
	%	Meios auxiliares	2,000	22,95	0,46
	%	Custos indirectos	3,000	23,41	0,70
				<b>Total:</b>	<b>24,11</b>

Referência e título da norma	Aplicabilidade (1)	Obrigatoriedade (2)	Sistema (3)
EN 13162:2008 Produtos de isolamento térmico para aplicação em edifícios - Produtos manufacturados de lã mineral (MW) - Especificação	192009	192010	

(1) Data de entrada em aplicação da norma harmonizada e início do período de coexistência

(2) Data final do período de coexistência / entrada em vigor da marcação CE

(3) Sistema de avaliação da conformidade

FVC010 m<sup>2</sup> Vidro duplo.

Vidro duplo Aislaglas "UNIÓN VIDRIERA ARAGONESA", 10/16/10, com calços e vedação contínua.

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt21veu011aiEe	m <sup>2</sup>	Vidro duplo Aislaglas "UNIÓN VIDRIERA ARAGONESA", conjunto constituído por vidro exterior Float incolor de 10 mm, caixa de ar desidratada com perfil separador de alumínio e dupla vedação perimetral, de 16 mm, e vidro interior Float incolor de 10 mm de espessura. Coeficiente de transmissão térmica 2,7 W/m <sup>2</sup> C, factor solar 0,69.	1,006	86,65	87,17
mt21sik010	Ud	Cartucho de silicone sintético incolor Elastosil WS-305-N "SIKA" de 310 ml (rendimento aproximado de 12 m por cartucho).	0,580	2,47	1,43
mt21vva021	Ud	Material auxiliar para a colocação de vidros.	1,000	1,26	1,26
mo051	h	Oficial de 1 <sup>a</sup> vidraceiro.	0,344	18,20	6,26
mo103	h	Ajudante de vidraceiro.	0,344	17,76	6,11
	%	Meios auxiliares	2,000	102,23	2,04
	%	Custos indirectos	3,000	104,27	3,13
Custo de manutenção decenal: 22,55€ nos primeiros 10 anos.				Total:	107,40



Nível de qualidade N<sub>3</sub>

Moradia unifamiliar da Rua do Marechal

Saldanha



NAF060

m<sup>2</sup>

**Isolamento pelo exterior em  
fachada para sistemas  
ETICS.**

Isolamento pelo exterior em fachada de alvenaria para revestir formado por **painel rígido de poliestireno expandido elastificado, segundo NP EN 13163, de superfície lisa e bordo lateral recto, de 60 mm de espessura**, colocado **com argamassa cola e fixações mecânicas**, para receber a camada de regularização e a de acabamento (não incluídas neste artigo), em sistemas compostos de isolamento pelo exterior (ETICS).

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt16peb010f	m <sup>2</sup>	Painel rígido de poliestireno expandido elastificado, segundo NP EN 13163, de superfície lisa e bordo lateral recto, de 60 mm de espessura, cor cinzento, resistência térmica 1,9 m <sup>2</sup> C/W, condutibilidade térmica 0,031 W/(m°C), densidade 20 kg/m <sup>3</sup> , Euroclasse E de reacção ao fogo, com código de designação EPS-NP EN 13163-L2-W2-T2-S2-P4-DS(N)2-BS170-CS(10)90-TR150.	1,050	13,78	14,47
mt16aaa021a	Ud	Bucha de expansão e prego de polipropileno, com aro de estanquidade, para fixação de placas isolantes.	6,000	0,08	0,48
mt16aaa010	kg	Argamassa cola para fixação de materiais isolantes em paramentos verticais.	4,000	0,19	0,76
mo050	h	Oficial de 1 <sup>a</sup> montador de isolamentos.	0,101	17,41	1,76
mo094	h	Ajudante de montador de isolamentos.	0,101	16,45	1,66
	%	Meios auxiliares	2,000	19,13	0,38
	%	Custos indirectos	3,000	19,51	0,59
Custo de manutenção decenal: 0,40€ nos primeiros 10 anos.				Total:	20,10

Referência e título da norma	Aplicabilidade (1)	Obrigatoriedade (2)	Sistema (3)
EN 13163:2008 Produtos de isolamento térmico para aplicação em edifícios - Produtos manufacturados em poliestireno expandido (EPS) - Especificação	192009	192010	

(1) Data de entrada em aplicação da norma harmonizada e início do período de coexistência

(2) Data final do período de coexistência / entrada em vigor da marcação CE

(3) Sistema de avaliação da conformidade

NAQ010

m<sup>2</sup>**Isolamento exterior de coberturas inclinadas.**

Isolamento pelo exterior em coberturas inclinadas **formado por painel de lã mineral natural (LMN) hidrófobo, não revestido, aglomerado com resinas, imputrescível, de alta resistência à compressão (50 kPa), de 100 mm de espessura, sobre superfície suporte existente regularizada com uma camada de argamassa.**

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt09mor010c	m <sup>3</sup>	Argamassa de cimento CEM II/B-L 32,5 N tipo M-5, confeccionada em obra com 230 kg/m <sup>3</sup> de cimento e uma proporção em volume 1/6.	0,020	115,30	2,31
mt16lra080ea	m <sup>2</sup>	Painel de lã mineral natural (LMN) hidrófobo, não revestido, aglomerado com resinas, imputrescível, de alta resistência à compressão (50 kPa), de 100 mm de espessura, segundo EN 13162, resistência térmica 2,55 m <sup>2</sup> C/W, condutibilidade térmica 0,039 W/(m°C), Euroclasse A1 de reacção ao fogo, com código de designação MW-EN 13162-T5-DS(TH)-CS(10)50-WS-WL(P), de aplicação como isolante térmico e acústico em coberturas Deck.	1,050	21,20	22,26
mo050	h	Oficial de 1 <sup>a</sup> montador de isolamentos.	0,084	17,41	1,46
mo094	h	Ajudante de montador de isolamentos.	0,084	16,45	1,38
	%	Meios auxiliares	2,000	27,41	0,55
	%	Custos indirectos	3,000	27,96	0,84
				Total:	28,80

Referência e título da norma	Aplicabilidade (1)	Obrigatoriedade (2)	Sistema (3)
EN 13162:2008 Produtos de isolamento térmico para aplicação em edifícios - Produtos manufacturados de lã mineral (MW) - Especificação	192009	192010	

(1) Data de entrada em aplicação da norma harmonizada e início do período de coexistência

(2) Data final do período de coexistência / entrada em vigor da marcação CE

(3) Sistema de avaliação da conformidade

FVC010 m<sup>2</sup> Vidro duplo.

**Vidro duplo LOW.S "UNIÓN VIDRIERA ARAGONESA", LOW.S 8/10/6 Templa.Lite Azur.Lite cor azul, com calços e vedação contínua.**

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt21veu011xhpc	m <sup>2</sup>	Vidro duplo LOW.S "UNIÓN VIDRIERA ARAGONESA", conjunto constituído por vidro exterior de baixa emissividade térmica LOW.S de 8 mm, caixa de gás desidratada com perfil separador de alumínio e dupla vedação perimetral, de 10 mm, preenchida com gás árgon e vidro interior Templa.Lite Azur.Lite cor azul de 6 mm de espessura. Coeficiente de transmissão térmica 1,4 W/m <sup>2</sup> °C, factor solar 0,39.	1,006	133,59	134,39
mt21sik010	Ud	Cartucho de silicone sintético incolor Elastosil WS-305-N "SIKA" de 310 ml (rendimento aproximado de 12 m por cartucho).	0,580	2,47	1,43
mt21vva021	Ud	Material auxiliar para a colocação de vidros.	1,000	1,26	1,26
mo051	h	Oficial de 1 <sup>a</sup> vidraceiro.	0,344	18,20	6,26
mo103	h	Ajudante de vidraceiro.	0,344	17,76	6,11
	%	Meios auxiliares	2,000	149,45	2,99
	%	Custos indirectos	3,000	152,44	4,57
Custo de manutenção decenal: 32,97€ nos primeiros 10 anos.				Total:	157,01



Nível de qualidade N<sub>4</sub>

Moradia unifamiliar da Rua do Marechal

Saldanha



NAF060

m<sup>2</sup>

**Isolamento pelo exterior em  
fachada para sistemas  
ETICS.**

Isolamento pelo exterior em fachada de alvenaria para revestir formado por **painel rígido de lã de rocha vulcânica de dupla densidade (150 kg/m<sup>3</sup> na camada superior e 80 kg/m<sup>3</sup> na camada inferior), não revestido, Rocksate Duo "ROCKWOOL", de 200 mm de espessura, colocado com argamassa cola e fixações mecânicas**, para receber a camada de regularização e a de acabamento (não incluídas neste artigo), em sistemas compostos de isolamento pelo exterior (ETICS).

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt16lrw015am	m <sup>2</sup>	Painel rígido de lã de rocha vulcânica de dupla densidade (150 kg/m <sup>3</sup> na camada superior e 80 kg/m <sup>3</sup> na camada inferior), não revestido, Rocksate Duo "ROCKWOOL", de 200 mm de espessura, segundo EN 13162, resistência térmica 5,56 m <sup>2</sup> C/W, condutibilidade térmica 0,036 W/(m°C), Euroclasse A1 de reacção ao fogo, de aplicação como isolante térmico e acústico em sistemas compostos de isolamento pelo exterior de fachadas.	1,050	42,77	44,91
mt16aaa021a	Ud	Bucha de expansão e prego de polipropileno, com aro de estanquidade, para fixação de placas isolantes.	6,000	0,08	0,48
mt16aaa010	kg	Argamassa cola para fixação de materiais isolantes em paramentos verticais.	4,000	0,19	0,76
mo050	h	Oficial de 1ª montador de isolamentos.	0,101	17,41	1,76
mo094	h	Ajudante de montador de isolamentos.	0,101	16,45	1,66
	%	Meios auxiliares	2,000	49,57	0,99
	%	Custos indirectos	3,000	50,56	1,52
Custo de manutenção decenal: 1,04€ nos primeiros 10 anos.				Total:	52,08

Referência e título da norma	Aplicabilidade (1)	Obrigatoriedade (2)	Sistema (3)
EN 13162:2008 Produtos de isolamento térmico para aplicação em edifícios - Produtos manufacturados de lã mineral (MW) - Especificação	192009	192010	

(1) Data de entrada em aplicação da norma harmonizada e início do período de coexistência

(2) Data final do período de coexistência / entrada em vigor da marcação CE

(3) Sistema de avaliação da conformidade

NAQ010

m<sup>2</sup>

**Isolamento exterior de coberturas inclinadas.**

Isolamento pelo exterior em coberturas inclinadas formado por painel rígido de poliestireno extrudido Polyfoam Canaboard C4 LJ 1250 "KNAUF INSULATION", de superfície acanalada e bordo lateral a meia madeira, de 600x1250 mm e 100 mm de espessura, resistência à compressão >= 300 kPa, sobre superfície suporte existente regularizada com uma camada de argamassa.

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt09mor010c	m <sup>3</sup>	Argamassa de cimento CEM II/B-L 32,5 N tipo M-5, confeccionada em obra com 230 kg/m <sup>3</sup> de cimento e uma proporção em volume 1/6.	0,020	115,30	2,31
mt16pki010cm	m <sup>2</sup>	Painel rígido de poliestireno extrudido Polyfoam Canaboard C4 LJ 1250 "KNAUF INSULATION", segundo EN 13164, de superfície acanalada e bordo lateral a meia madeira, de 600x1250 mm e 100 mm de espessura, resistência térmica 2,75 m <sup>2</sup> C/W, condutibilidade térmica 0,036 W/(m°C), 300 kPa de resistência à compressão, factor de resistência à difusão do vapor de água 150, calor específico 1400 J/kgK, Euroclasse E de reacção ao fogo; de aplicação em coberturas inclinadas sob telhas colocadas com argamassa.	1,050	11,16	11,72
mt16aaa020ig	Ud	Fixação mecânica para painéis isolantes de poliestireno extrudido, colocados directamente sobre a superfície suporte.	2,500	0,19	0,48
mo050	h	Oficial de 1ª montador de isolamentos.	0,084	17,41	1,46
mo094	h	Ajudante de montador de isolamentos.	0,084	16,45	1,38
	%	Meios auxiliares	2,000	17,35	0,35
	%	Custos indirectos	3,000	17,70	0,53
				<b>Total:</b>	<b>18,23</b>

FVC010 m<sup>2</sup> Vidro duplo.

**Vidro duplo Solar.Lite Controlo solar + LOW.S Baixa emissividade térmica "UNIÓN VIDRIERA ARAGONESA", 8/20/8 LOW.S, com calços e vedação contínua.**

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt21veu045xEc	m <sup>2</sup>	Vidro duplo Solar.Lite Controlo solar + LOW.S Baixa emissividade térmica "UNIÓN VIDRIERA ARAGONESA", conjunto constituído por vidro exterior Templa.Lite Solar.Lite Azul de 8 mm, caixa de gás desidratada com perfil separador de alumínio e dupla vedação perimetral, de 20 mm, preenchida com gás árgon e vidro interior de baixa emissividade térmica LOW.S de 8 mm de espessura. Coeficiente de transmissão térmica 1,1 W/m <sup>2</sup> °C, factor solar 0,15.	1,006	113,44	114,12
mt21sik010	Ud	Cartucho de silicone sintético incolor Elastosil WS-305-N "SIKA" de 310 ml (rendimento aproximado de 12 m por cartucho).	0,580	2,47	1,43
mt21vva021	Ud	Material auxiliar para a colocação de vidros.	1,000	1,26	1,26
mo051	h	Oficial de 1ª vidraceiro.	0,344	18,20	6,26
mo103	h	Ajudante de vidraceiro.	0,344	17,76	6,11
	%	Meios auxiliares	2,000	129,18	2,58
	%	Custos indirectos	3,000	131,76	3,95
Custo de manutenção decenal: 28,50€ nos primeiros 10 anos.				Total:	135,71



Nível de qualidade  $N_1$

Moradia unifamiliar do lugar da Quintã –

Espargo



## ICA010 Ud Termoacumulador eléctrico.

**Termoacumulador eléctrico para o serviço de A.Q.S., mural vertical, resistência blindada, capacidade 75 l, potência 2000 W, de 758 mm de altura e 450 mm de diâmetro.**

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt38tej021dd	Ud	Termoacumulador eléctrico para o serviço de A.Q.S., mural vertical, resistência blindada, capacidade 75 l, potência 2000 W, de 758 mm de altura e 450 mm de diâmetro, formado por cuba de aço vitrificado, isolamento de espuma de poliuretano, ânodo de sacrifício de magnésio, lâmpada de controlo, termómetro e termostato de regulação para A.Q.S. acumulada.	1,000	199,82	199,82
mt38tew010a	Ud	Tube de ligação flexível de 20 cm e 1/2" de diâmetro.	2,000	2,85	5,70
mt37sve010b	Ud	Válvula de esfera de latão niquelado para enroscar de 1/2".	2,000	4,13	8,26
mt37svs050a	Ud	Válvula de segurança anti-retorno, de latão cromado, com rosca de 1/2" de diâmetro, regulada a 8 bar de pressão, com manípulo de purga.	1,000	6,05	6,05
mt38www011	Ud	Material auxiliar para instalações de A.Q.S.	1,000	1,45	1,45
mo007	h	Oficial de 1ª canalizador.	0,807	17,41	14,05
mo100	h	Ajudante de canalizador.	0,807	16,42	13,25
	%	Meios auxiliares	2,000	248,58	4,97
	%	Custos indirectos	3,000	253,55	7,61
Custo de manutenção decenal: 198,48€ nos primeiros 10 anos.				Total:	261,16



Nível de qualidade N<sub>2</sub>

Moradia unifamiliar do lugar da Quintã –

Espargo



ICA030

Ud Esquentador a gás,  
convencional.

**Esquentador instantâneo a gás N, para o serviço de A.Q.S., mural vertical, para utilização interior, câmara de combustão aberta e tiragem forçada, acendimento electrónico à rede eléctrica, sem chama piloto, ecrã digital, 14 l/min, 23,6 kW, dimensões 655x350x220 mm.**

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt38cgj040ha	Ud	Esquentador instantâneo a gás N, para o serviço de A.Q.S., mural vertical, para utilização interior, câmara de combustão aberta e tiragem forçada, acendimento electrónico à rede eléctrica, sem chama piloto, ecrã digital, 14 l/min, 23,6 kW, dimensões 655x350x220 mm, com dispositivo de controlo de evacuação dos produtos da combustão e controlo de chama por sonda de ionização.	1,000	527,68	527,68
mt37sve010c	Ud	Válvula de esfera de latão niquelado para enroscar de 3/4".	1,000	5,95	5,95
mt38tew010a	Ud	Tubo de ligação flexível de 20 cm e 1/2" de diâmetro.	2,000	2,85	5,70
mt38www011	Ud	Material auxiliar para instalações de A.Q.S.	1,000	1,45	1,45
mo003	h	Oficial de 1ª instalador de aquecimento.	2,219	17,41	38,63
mo096	h	Ajudante de instalador de aquecimento.	2,219	16,42	36,44
	%	Meios auxiliares	2,000	615,85	12,32
	%	Custos indirectos	3,000	628,17	18,85
Custo de manutenção decenal: 614,67€ nos primeiros 10 anos.				Total:	647,02



Nível de qualidade N<sub>3</sub>

Moradia unifamiliar do lugar da Quintã –  
Espargo



## ICA040 Ud Termoacumulador a gás, convencional.

Termoacumulador a gás natural para o serviço de A.Q.S., de solo, câmara de combustão aberta e tiragem natural, capacidade 220 l, potência 8,6 kW.

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt38agd017dd	Ud	Termoacumulador a gás natural para o serviço de A.Q.S., de solo, câmara de combustão aberta e tiragem natural, capacidade 220 l, potência 8,6 kW.	1,000	836,14	836,14
mt37sve010c	Ud	Válvula de esfera de latão niquelado para enroscar de 3/4".	2,000	5,95	11,90
mt37svs010c	Ud	Válvula de segurança, de latão, com rosca de 1/2" de diâmetro, regulada a 6 bar de pressão.	1,000	4,42	4,42
mt38www011	Ud	Material auxiliar para instalações de A.Q.S.	1,000	1,45	1,45
mo002	h	Oficial de 1ª instalador de aquecimento.	4,428	16,61	73,55
mo094	h	Ajudante de instalador de aquecimento.	4,428	15,60	69,08
	%	Meios auxiliares	2,000	996,54	19,93
	%	Custos indirectos	3,000	1016,47	30,49
Custo de manutenção decenal: 994,61€ nos primeiros 10 anos.				Total:	1046,96



Nível de qualidade  $N_4$

Moradia unifamiliar do lugar da Quintã –  
Espargo



ICG030

Ud

**Caldeira a gás, doméstica, convencional,  
de pé, de ferro fundido, para  
aquecimento.**

**Caldeira de pé a gás (P/N), para aquecimento, câmara de combustão aberta e tiragem natural, potência de 42 kW, dimensões 740x737x850 mm, centralita de regulação com sonda exterior e prioridade de A.Q.S., para uma caldeira.**

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt38cpj010cc	Ud	Caldeira de pé a gás (P/N), para aquecimento, câmara de combustão aberta e tiragem natural, potência de 42 kW, dimensões 740x737x850 mm, acendimento electrónico e segurança por ionização, sem chama piloto, equipamento formado por: corpo de caldeira de ferro fundido, painel de controlo e comando, queimador multigás para gás natural e propano, sensor de controlo de fumos.	1,000	1464,70	1464,70
mt38scj050a	Ud	Centralita de regulação com sonda exterior e prioridade de A.Q.S., para uma caldeira.	1,000	426,80	426,80
mt38www010	Ud	Material auxiliar para instalações de aquecimento.	1,000	1,68	1,68
mo002	h	Oficial de 1ª instalador de aquecimento.	5,000	16,61	83,05
mo094	h	Ajudante de instalador de aquecimento.	5,000	15,60	78,00
	%	Meios auxiliares	2,000	2054,23	41,08
	%	Custos indirectos	3,000	2095,31	62,86
Custo de manutenção decenal: 2.050,26€ nos primeiros 10 anos.				Total:	2158,17



# Anexo VI

## Plano de estágio



## Mestrado em Engenharia Civil - Ramo Construções

Proposta de estágio no âmbito da unidade curricular Dissertação/Projecto/Estágio inserida no plano de estudos do 2º ano do Mestrado em Engenharia Civil, ramo de Construções, cujo tema a desenvolver é ***“Análise do Desempenho Térmico de construções existentes: projeto; soluções alternativas e execução”***.

O Estágio decorrerá na empresa "CONCEXEC" e será realizado por Rui Miguel da Costa Reis, com o número de aluno 1050333.

Este estágio deve possibilitar o exercício prático, em situação real, do conhecimento adquirido no decorrer do curso, permitindo a total interação com o ambiente de trabalho.

### PLANO DE ESTÁGIO

O estágio terá a duração de 6 meses, tendo início no dia 01 de Janeiro de 2013 até ao dia 31 de Junho de 2013.

A entidade empregadora, CONCEXEC, com morada na Rua Dr. Ernesto Soares dos Reis, nº 208, 1º andar, sala S., 3720-256 Oliveira de Azeméis (Portugal).

A CONCEXEC é especializada na concepção e execução de projetos de Arquitetura, de Engenharia, de Design e de Urbanismo, na Direção de Obra e na Certificação Energética.

#### São objetivos do Estágio:

- ◆ Permitir uma visão geral da estrutura e funcionamento da empresa;
- ◆ Adquirir experiência através da inserção no ambiente de trabalho;
- ◆ Proporcionar o contato com as constantes mudanças tecnológicas, ambientais e processuais do mundo do trabalho em Engenharia Civil, e o exercício das capacidades de empreender, inovar e flexibilizar.
- ◆ Testar a adaptação pessoal a novas situações;

- ◆ Desenvolver espírito de equipa e entreatajuda;
- ◆ Promover o desenvolvimento de ferramentas e modelos/processos de gestão;
- ◆ Aplicar de forma prática os conhecimentos adquiridos na Licenciatura e Mestrado em Engenharia Civil, no Instituto Superior de Engenharia do Porto;
- ◆ Obter o grau de Mestre em “Engenharia Civil” do ISEP/IPP.

### **Atividades a serem desenvolvidos no decorrer do Estágio**

#### **1ª FASE:**

- ◆ Desenvolvimento e revisão de projetos na área de térmica e análise da certificação energética;
- ◆ Proposta de soluções alternativas com particular enfoque na análise do desempenho higtotérmico de diferentes materiais e do relação custo-benefício.

#### **2ª FASE:**

- ◆ Acompanhamento de todo o processo construtivo relativo à implementação dos projetos analisados;
- ◆ Apoio técnico.

### **Informação do Orientador na Empresa**

Orientador na empresa: Engº Celestino Manuel Martins Pereira

Contacto do orientador: [celestinopereira@netvisao.pt](mailto:celestinopereira@netvisao.pt)

### **Informação do Estagiário**

Nome: Rui Miguel da Costa Reis

Número: 1050333

Morada: Rua Urbanização Santo André nº 73, São João de Ver

Código Postal: 4520-608

Contacto 1: 914 172 933

Contacto 2: 256 36 26 79

Endereço eletrónico: [1050333@isep.ipp.pt](mailto:1050333@isep.ipp.pt)

Endereço eletrónico alternativo: [ruimcostareis@gmail.com](mailto:ruimcostareis@gmail.com)

**Informação do Orientador do DEC/ISEP/IPP**

Nome: Eng.ª Cristina Maria Oliveira da Silva

Contacto: 228 340 500 - 1078

Endereço eletrónico: [cos@isep.ipp.pt](mailto:cos@isep.ipp.pt)

