

COMPETITIVIDADE DE EDIFÍCIOS EM MADEIRA MACIÇA DE CLT – ESTUDO DE CASO

SARA ALEXANDRA MOREIRA MACHADO

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor José Manuel Marques Amorim de Araújo Faria

JULHO DE 2023

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2022/2023

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

✉ m.ec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado em Engenharia Civil - 2022/2023 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2023*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Ao meu Avô Machado e David

*Do not go gentle into that good night,
Old age should burn and rave at close of day;
Rage, rage against the dying of the light.*

*Though wise men at their end know dark is right,
Because their words had forked no lightning they
Do not go gentle into that good night.*

Dylan Thomas

AGRADECIMENTOS

À minha família, por me ajudar a perceber a rota que queria trilhar. Um especial à minha mãe, por me incentivar e apoiar para que aqui chegasse, através de todos os meios que tinha e não tinha, desde o primeiro dia de escola.

Aos meus amigos, aos que viram esta jornada começar e aos que vieram com ela.

Ao David, meu melhor amigo e eterno parceiro de vida, por ser pilar e não coluna, e por toda a coragem transmitida ao longo deste curso, dentro e fora da faculdade.

A toda a comunidade FEUP.

Ao Professor Doutor José Amorim Faria, por ser meu orientador, pela sua organização notável, disponibilidade, e por ser um grande ser humano.

À Core Concept e a todos os que a partilharam comigo, por me terem acolhido e confiado materiais desde o primeiro dia.

A todos eles, e aos que não estão mencionados, mas que me ajudaram a fazer caminho, o meu maior e mais sincero OBRIGADA.

Sozinhos vamos rápido, mas juntos vamos longe.

RESUMO

As estruturas de madeira e as suas derivações são atualmente alvo de estudo e de aplicação em obra devido ao seu contributo para a sustentabilidade, bem como devido às suas características, pelo que a constante inovação no uso deste material, ao nível da construção, permitiu o desenvolvimento de um novo derivado, denominado Cross Laminated Timber, CLT.

O CLT é um derivado da madeira maciça, onde várias lamelas de madeira formam estratos, que são sobrepostos ortogonalmente entre eles, formando painéis sólidos e estáveis, podendo ser aplicados em paredes e em lajes.

A presente dissertação pretende, através de um caso de estudo concreto cedido pela Core Concept, comparar um edifício inicialmente projetado com estrutura em betão armado, designado “projeto base”, com o mesmo edifício após sofrer alteração ao nível de projeto, passando a ter uma estrutura em painéis de Cross Laminated Timber, CLT, designado “projeto variante”, mantendo-se a configuração e os espaços.

Pretende-se comparar o “projeto base” com o “projeto variante”, de forma a analisar as vantagens e desvantagens da construção de um edifício de estrutura em betão armado face à construção de um edifício de estrutura de painéis em CLT, obviamente circunscritas a este caso de estudo, o que assim limita a representatividade das conclusões obtidas.

Esta dissertação aborda tanto os projetos de arquitetura como os projetos de especialidades que acompanham o “projeto base” e o “projeto variante”, explicando-se as motivações por detrás da configuração arquitetónica em detrimento de outras disponíveis, bem como as razões que levaram os engenheiros a dimensionar da maneira exposta.

As metodologias do dimensionamento e as etapas necessárias para dimensionar edifícios em CLT são também alvo de estudo nesta dissertação.

PALAVRAS-CHAVE: Cross Laminated Timber (CLT), Construção em Madeira, Construção Tradicional, Sustentabilidade, Estudo de caso, Análise comparada de soluções de projeto.

ABSTRACT

Timber structures and their derivatives are currently being studied and applied in construction works due to their contribution to sustainability, as well as due to their characteristics, so the constant innovation in the use of this material, at the construction level, allowed the development of a new derivative, known as Cross Laminated Timber, CLT.

CLT is a derivative of solid wood, where several wood lamellas form layers, which are orthogonally overlapped, forming solid and stable panels that can be applied in walls and slabs.

This dissertation intends, through a specific case study provided by Core Concept, to compare a building initially designed with a reinforced concrete structure, designated "projeto base", with the same building after suffering an alteration at the design level, having a structure in panels of Cross Laminated Timber, CLT, designated "projeto variante", keeping the configuration and the spaces.

The objective is to compare the "projeto base" with the "projeto variante", in order to analyse the advantages and disadvantages of the construction of a reinforced concrete structure building versus a CLT panel structure building, obviously limited to this case study, which limits the representativeness of the conclusions obtained.

This dissertation addresses both the architectural and the specialty projects that accompany the "projeto base" and the "projeto variante", explaining the motivations behind the architectural configuration in detriment of other available ones, as well as the reasons that made the engineers to design in the exposed way.

The dimensioning methodologies and the steps necessary to dimension buildings in CLT are also the subject of study in this dissertation.

KEYWORDS: Cross Laminated Timber (CLT), Timber Construction, Traditional Construction, Sustainability, Case Study, Comparative analysis of design solutions.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
 1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.2. OBJETO, ÂMBITO E JUSTIFICAÇÃO	1
1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	2
 2. ESTADO DA ARTE	5
2.1. INTRODUÇÃO	5
2.2. CROSS LAMINATED TIMBER (CLT)	5
2.2.1. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO	5
2.2.2. CLT COMO ELEMENTO ESTRUTURAL	6
2.2.3. PROCESSO DE FABRICAÇÃO	8
2.2.3.1. Introdução	8
2.2.3.2. Seleção e preparação da madeira	8
2.2.3.3. Processo de colagem e prensagem	9
2.2.3.4. Corte e finalização do painel.....	10
2.2.3.5. Aplicação em obra.....	11
2.2.4. VANTAGENS DO CLT	12
2.2.5. DESVANTAGENS DO CLT	15
2.3. SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS USANDO CLT. PESQUISA DE EXEMPLOS.....	16
2.3.1. INTRODUÇÃO.....	16
2.3.2. EXEMPLOS DE SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS EM CLT	16
2.3.3. OUTROS EXEMPLOS DE CONSTRUÇÕES EM CLT	19
 3. PROJETO BASE: ARQUITETURA E ESPECIALIDADES	25
3.1. INTRODUÇÃO	25
3.2. PROJETO DE ARQUITETURA.....	25
3.2.1. INTRODUÇÃO.....	25

3.2.2. ENQUADRAMENTO URBANÍSTICO	25
3.2.3. EDIFÍCIO EXISTENTE.....	26
3.2.4. EDIFÍCIO PROPOSTO	27
3.2.5. PORMENORES CONSTRUTIVOS	29
3.3. PROJETOS DE ESPECIALIDADES.....	31
3.3.1. INTRODUÇÃO	31
3.3.2. PROJETO DE DEMOLIÇÃO	31
3.3.3. PROJETO DE ESTRUTURAS	32
3.3.4. HIDRÁULICA	34
3.3.4.1. Abastecimento de águas	34
3.3.4.2. Drenagem de águas residuais	35
3.3.4.3. Drenagem de águas pluviais	38
3.3.5. COMPORTAMENTO TÉRMICO	39
3.3.6. COMPORTAMENTO ACÚSTICO	42
3.3.7. SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS.....	43
3.3.8. GÁS.....	45
3.3.9. RESTANTES	45
3.4. SÍNTESE DO CAPÍTULO	46

4. PROJETO VARIANTE: ARQUITETURA E ESPECIALIDADES	49
4.1. INTRODUÇÃO	49
4.2. PROJETO DE ARQUITETURA	49
4.2.1. INTRODUÇÃO.....	49
4.2.2. EDIFÍCIO PROPOSTO	50
4.2.3. PORMENORES CONSTRUTIVOS	51
4.3. PROJETOS DE ESPECIALIDADES.....	52
4.3.1. INTRODUÇÃO	52
4.3.2. PROJETO DE ESTRUTURAS	53
4.3.3. HIDRÁULICA	53
4.3.3.1. Abastecimento de águas	53
4.3.3.2. Drenagem de águas residuais	56
4.3.3.3. Drenagem de águas pluviais	59

4.3.3.4. Esquematização das redes.....	60
4.3.4. COMPORTAMENTO TÉRMICO	61
4.3.5. COMPORTAMENTO ACÚSTICO	62
4.3.6. SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS	66
4.3.7. GÁS	67
4.3.8. RESTANTES	68
4.4. SÍNTESE DO CAPÍTULO.....	68

5. COMPARAÇÃO ENTRE A SOLUÇÃO CONSTRUTIVA DE BETÃO ARMADO E A SOLUÇÃO CONSTRUTIVA DE PAINÉIS CLT

5.1. INTRODUÇÃO	71
5.2. ANÁLISE ECONÓMICA	72
5.2.1. CUSTOS DE CONSTRUÇÃO	72
5.2.1. CUSTOS DE MANUTENÇÃO	73
5.3. DURAÇÃO DA CONSTRUÇÃO.....	74
5.3.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	74
5.3.2. PRAZOS DE CONCEÇÃO	75
5.3.3. PRAZOS DE EXECUÇÃO	75
5.3.4. CONCLUSÃO	76
5.4. ANÁLISE ARQUITETÓNICA.....	76
5.5. ANÁLISE ESTRUTURAL.....	79
5.6. ANÁLISE DAS INFRAESTRUTURAS	79
5.6.1. TÉRMICA.....	79
5.6.2. ACÚSTICA	81
5.6.3. SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS.....	82
5.6.4. OUTRAS ESPECIALIDADES.....	83
5.7. DURABILIDADE	84
5.8. SUSTENTABILIDADE.....	84

6. CONCLUSÃO

6.1. ANÁLISE COMPARADA DAS DUAS SOLUÇÕES. SÍNTESE.....	87
6.2. CUMPRIMENTO DOS OBJETIVOS PROPOSTOS	88

6.3. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	88
--	-----------

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 – Direções principais da madeira	6
Fig. 2.2 – Disposição das lamelas e das camadas	6
Fig. 2.3 – Painéis horizontais e verticais da K LH	7
Fig. 2.4 – Encadeamento dos processos de fabricação do CLT	8
Fig. 2.5 – Junção de duas lamelas	9
Fig. 2.6 – Disposição das lamelas lado a lado e colagem	10
Fig. 2.7 – Prensagem.....	10
Fig. 2.8 – Corte através de controlo numérico computadorizado (CNC)	11
Fig. 2.9 – Exemplos de fixações mecânicas do CLT	11
Fig. 2.10 – Exemplos de selagens a colocar.....	12
Fig. 2.11 – Influência da humidade na escolha do material estrutural	13
Fig. 2.12 – Comparação entre parede tradicional e parede em CLT	13
Fig. 2.13 – Selagens a executar	15
Fig. 2.14 – Sistema ETICS com CLT	16
Fig. 2.15 – Pormenor construtivo de uma construção em CLT	17
Fig. 2.16 – Sistema FFTT	17
Fig. 2.17 – Sistema construtivo de CLT e betão	18
Fig. 2.18 – Solução de reabilitação onde apenas a fachada subsistia.....	18
Fig. 2.19 – Solução de reabilitação para expansão em altura de edifício	19
Fig. 2.20 – Evolução da construção da Casa do Carril: Projeto; Ligações metálicas e fita isoladora; Aplicação do Isolamento térmico; Aplicação dos Revestimentos	20
Fig. 2.21 – Pormenor construtivo da “Casa do Carril”	20
Fig. 2.22 – Edifício STADTHAUS	21
Fig. 2.23 – The open academy: Projeto, Construção e Concretização	21
Fig. 2.24 – Cobertura de um edifício em ambientes com teor de humidade alto.....	22
Fig. 2.25 – Elementos estruturais de um edifício em ambientes com teor de humidade alto.....	22
Fig. 2.26 – Obra de arte em CLT: Exterior e interior.....	23
Fig. 2.27 – Metodologia da construção do Brock Commons Tallwood House.....	23
Fig. 2.28 – Edifício finalizado.....	24
Fig. 3.1 – Planta geral de implantação.....	26
Fig. 3.2 – Alçados principais dos edifícios pertencentes aos arruamentos em estudo	26
Fig. 3.3 – Imagem Google maps do local estudado nesta dissertação	27

Fig. 3.4 – Alçado frontal com identificação das habitações A e B.....	27
Fig. 3.5 – Imagem do arruamento com as fachadas do edifício proposto.....	28
Fig. 3.6 – Demonstração do cumprimento do RGEU no que se refere ao projeto de cobertura.....	29
Fig. 3.7 – Corte construtivo arquitetónico ao nível da cobertura, entre pisos e térreo.....	30
Fig. 3.8 – Cortes vertical e horizontal da caixilharia em alumínio.....	31
Fig. 3.9 – Planta de fundações do “projeto base”.....	32
Fig. 3.10 – Plantas estruturais do “projeto base”.....	33
Fig. 3.11 – Corte transversal com o traçado da rede da habitação B (a habitação A tem traçado semelhante).....	34
Fig. 3.12 – Esquematização sistema AQS.....	35
Fig. 3.13 – Corte transversal com o traçado da rede (a habitação A tem traçado semelhante).....	36
Fig. 3.14 – Corte transversal da caixa ramal de ligação.....	37
Fig. 3.15 – Planta da cobertura.....	39
Fig. 3.16 – Classes de resistência.....	44
Fig. 3.17 – Perspetiva isométrica da habitação A e B.....	45
Fig. 4.1 – Alçado frontal e lateral das habitações A e B.....	50
Fig. 4.2 – Corte de fachada no “projeto variante”.....	51
Fig. 4.3 – Dimensionamento dos troços.....	54
Fig. 4.4 – Tabelas de materiais usados em abastecimento de águas.....	55
Fig. 4.5 – Parâmetros a e b a usar na estimativa do valor da Intensidade de precipitação I.....	59
Fig. 4.6 – Diferentes tipos de escoamento de águas pluviais.....	60
Fig. 4.7 – Valores limite de $D_{2m,nT,w}$ e de $D_{nT,w}$	64
Fig. 4.8 – Valores limite de $L'_{nT,w}$ e de $L'_{Ar,T}$	64
Fig. 4.9 – Folha EXCEL para dimensionamento de tubagem de gás.....	67
Fig. 5.1 – Medições de volume dos elementos estruturais do “projeto base”.....	72
Fig. 5.2 – Medições de volume dos elementos estruturais do “projeto variante”.....	73
Fig. 5.3 – Decomposição percentual dos custos globais com um edifício.....	74
Fig. 5.4 –Exemplo de ligação entre tubagens e painéis de CLT.....	77

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 3.1 – Áreas úteis dos vários compartimentos da habitação A e B.....	29
Quadro 3.2 – Classificação do desempenho energético	41
Quadro 3.3 – Classes de inércia	42
Quadro 3.4 – Valores do isolamento acústico de paredes exteriores das habitações A e B	43
Quadro 3.5 – Isolamento acústico entre habitações ao nível do sótão	43
Quadro 3.6 – Áreas úteis dos vários compartimentos da habitação A e B.....	46
Quadro 3.7 – Valores da avaliação do comportamento térmico do “projeto base”	46
Quadro 3.8 – Valores da avaliação do comportamento acústico do “projeto base”	47
Quadro 3.9 – Classes de resistência ao fogo.....	47
Quadro 4.1 – Áreas úteis dos vários compartimentos da habitação A e B	50
Quadro 4.2 – Caudais definidos para cada dispositivo de utilização	54
Quadro 4.3 – Caudais de descarga de cada aparelho e diâmetro mínimo	56
Quadro 4.4 – Taxas de ocupação e correspondentes diâmetros.....	57
Quadro 4.5 – Caudais máximos para um determinado diâmetro e uma determinada taxa de ocupação com realce correspondente à informação do quadro 4.3.....	58
Quadro 4.6 –Tabela de apoio à definição de coletores prediais	58
Quadro 4.7 – Estimativa das transmissões marginais TM.....	63
Quadro 4.8 – Valores do isolamento acústico de paredes exteriores das habitações A e B	65
Quadro 4.9 – Isolamento acústico entre habitações ao nível do sótão	65
Quadro 4.10 – Áreas úteis dos vários compartimentos da habitação A e B.....	68
Quadro 4.11 – Valores da avaliação do comportamento térmico do “projeto variante”	69
Quadro 4.12 – Valores da avaliação do comportamento acústico do “projeto variante”	69
Quadro 4.13 – Classes de resistência ao fogo.....	70
Quadro 5.1 – Áreas do “projeto base” e no “projeto variante”	78
Quadro 5.2 – Indicadores de desempenho térmico no “projeto base” e no “projeto variante”	80
Quadro 5.3 – Indicadores de desempenho acústico no “projeto base” e no “projeto variante”	81
Quadro 5.4 – Classes de resistência ao fogo.....	83

1

INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

As estruturas de madeira sempre foram motivo de controvérsia, estando a sua aplicação em obra muito limitada ao estigma que lhe está associado, isto é, por transmitirem a sensação de serem estruturas com pouca durabilidade e resistência.

O Cross Laminated Timber, CLT, surge como um derivado da madeira, relativamente recente (nasceu cerca de 1990), enaltecendo as características positivas e mitigando as negativas do seu uso, sendo uma solução construtiva que tem adquirido bastante popularidade na indústria da construção.

Embora ainda não apresente normas específicas e unificadas, uma vez que ainda não está inserido no eurocódigo 5 (eurocódigo usado para o dimensionamento de estruturas de madeira), por se tratar de um material relativamente recente, este material já é de grande renome, o que permitiu que fosse atualmente alvo de estudo e investigação recorrente, a fim de o regulamentar de forma generalizada e abrangente, o que é expectável que aconteça num futuro próximo.

Parte do seu bom nome e reputação advém de uma preocupação global, a sustentabilidade ambiental, uma vez que, por se tratar de um material renovável, o CLT surge como uma solução muito sustentável.

1.2. OBJETO, ÂMBITO E JUSTIFICAÇÃO

Esta dissertação foi elaborada em ambiente empresarial, através de estágio realizado na empresa Core Concept, com sede na Maia e que se dedica à realização de projetos de Arquitetura e Engenharias.

O objeto da dissertação é um projeto concreto, facultado pela Core Concept, que inicialmente foi concebido com uma estrutura de betão armado, sendo posteriormente objeto de uma variante ao nível do material estrutural, passando a ser um projeto com estrutura à base de painéis em Cross Laminated Timber, CLT.

Depois de elaborados os projetos de Especialidades da fase de licenciamento deste projeto, designado “projeto base”, cuja estrutura seria em betão armado, o dono de obra decidiu alterar a estrutura do projeto inicial, para uma estrutura de painéis em CLT, pelo que a Core Concept obteve uma nova versão do projeto de arquitetura, designado “projeto variante”, para o qual seriam necessários novos projetos de especialidades.

Através dos projetos de arquitetura e de especialidades do “projeto base” e do “projeto variante” é possível compará-los e analisá-los, de modo a perceber as vantagens e desvantagens da aplicação do

CLT como material estrutural face a uma solução tradicional, isto é, face a uma solução em betão armado e retirar conclusões sobre isso.

Nesse contexto, os objetivos desta dissertação foram sumariamente os seguintes:

- Comparar uma solução tradicional, de estrutura de betão armado com uma solução de estrutura em painéis CLT, a vários níveis e tendo em conta vários fatores;
- Concluir qual das soluções é a mais adequada, tendo em consideração os vários fatores que dizem respeito à construção de um edifício;
- Compreender a metodologia do dimensionamento das várias especialidades de um edifício em CLT;
- Entender se o CLT é um material competitivo no mercado português.

Previu-se fazer um estado da arte sobre o tema, envolvendo o estudo do material CLT e de soluções reais à base de CLT e também híbridas, envolvendo outros materiais como o aço, o betão armado e as alvenarias de pedra, bem como finalmente a procura de alguma pormenorização exemplificativa de soluções construtivas específicas correntes usadas em edifícios com estrutura em CLT.

1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação encontra-se estruturada em 6 capítulos, sendo o capítulo atual dedicado exclusivamente ao enquadramento deste estudo, bem como à definição do âmbito e dos objetivos.

O capítulo 2 de título “Estado da arte” apresenta a revisão bibliográfica onde se aborda várias questões relativas ao Cross Laminated Timber, como o enquadramento histórico, o CLT como material estrutural, o processo de fabricação, as vantagens e desvantagens e ainda soluções construtivas com CLT, bem como exemplos de construções em CLT.

No Capítulo 3, designado “Projeto base: arquitetura e especialidades” expõem-se o “projeto base” onde é possível encontrar uma explicação do projeto de arquitetura e dos projetos de especialidades e também alguns valores retirados destes mesmos projetos para servirem de base à comparação entre projetos apresentada no capítulo 5.

No capítulo 4, intitulado de “Projeto variante: arquitetura e especialidades” encontra-se, para além de uma curta explicação do projeto de arquitetura e dos projetos de especialidades, a metodologia por detrás do dimensionamento das várias especialidades.

Os projetos de especialidades acima mencionados, quer no capítulo 3 quer no capítulo 4, que são abordados nesta tese são os projetos de demolição, de estruturas, de hidráulica, ou seja, de abastecimento de águas, de drenagem de águas residuais e drenagem de águas pluviais, os projetos de conforto térmico e acústico, o projeto de segurança contra incêndios e ainda o projeto de gás.

O capítulo 5 é o capítulo de comparação entre o “projeto base” e o “projeto variante”, tendo em conta as análises e indicadores antes apresentados nos capítulos 3 e 4, que permitem uma análise comparada, bem como uma comparação mais geral e abrangente entre a solução construtiva de betão armado com a solução construtiva em CLT. Este capítulo foi intitulado de “Comparação entre uma solução construtiva de betão armado e uma solução construtiva de painéis CLT”

O capítulo 6 designado “Conclusões” pretende, tal como o nome indica, sintetizar as conclusões obtidas ao longo da concretização desta dissertação, responder ao objetivo inicial e apresentar os desenvolvimentos futuros.

A tese inclui anexos com um conjunto importante de desenhos selecionados dos dois projetos e que se destinam a melhor ilustrar e documentar a análise efetuada. O estudo dos projetos e a participação na ajuda à sua concretização, embora neste caso residual, constituíram um dos aspetos mais relevantes do trabalho realizado na empresa acolhedora, com vista à realização deste estudo comparativo.

2

ESTADO DA ARTE

2.1. INTRODUÇÃO

O presente capítulo visa sintetizar o conhecimento adquirido para a concretização desta dissertação, encontrando-se dividido em dois principais temas, sendo eles o Cross Laminated Timber, CLT, e exemplos de soluções construtivas e construções com CLT.

No subcapítulo referente ao Cross Laminated Timber encontra-se informação relativa ao material, como foi concebido, como é feito, quais são as suas características e propriedades e quais as vantagens e desvantagens do seu emprego na construção.

No subcapítulo das soluções construtivas usando CLT apresentam-se alguns exemplos onde o CLT é aplicado e alguns dos sistemas possíveis com CLT. Os exemplos expostos abrangem tanto casos em que o CLT é usado como a única estrutura do edifício, como em casos em que o CLT incorpora uma estrutura mista (edifícios híbridos). Através dos exemplos pretende-se demonstrar a praticidade e adaptabilidade deste material a vários contextos e configurações.

2.2. CROSS LAMINATED TIMBER (CLT)

2.2.1. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO

A madeira acompanha o Homem na construção das suas casas desde que este aprendeu a empregar e manobrar os materiais disponíveis na natureza para a construção de casas. Devido à praticidade do uso da madeira, que lhes permitia construir o seu abrigo nos locais almejados, por consequência das suas características, isto é, por ser leve, resistente, e por se encontrar no meio natural em abundância, com diferentes dimensões, quer em diâmetro quer em extensão, o seu uso passou a ser recorrente, até aos dias de hoje, com inovações e aperfeiçoamentos, principalmente ao nível das técnicas. [1]

Atualmente, a aplicabilidade da madeira na construção, embora continue relacionada com a facilidade de moldar o material e adaptá-lo de acordo com o pretendido, como também com as características supracitadas, envolve também outras questões, como por exemplo, a sustentabilidade ambiental, por se tratar de um material de origem natural e de um recurso renovável.

A madeira por si só, isto é, a madeira maciça, apresenta bastantes lacunas que desmotivam a sua aplicação em obra. Porém, devido ao facto de a madeira ser um material com muito potencial, surgiu a necessidade de a trabalhar a fim de se encontrar uma forma eficiente de a empregar na construção excluindo os seus defeitos que até então condicionaram e desmotivaram o seu uso.

A madeira é considerada um material anisotrópico que possuiu três direções ou eixos principais, com diferentes propriedades físicas e mecânicas (a direção longitudinal, a direção tangencial e a direção radial), tendo um desempenho físico e mecânico diferente em cada uma, ver figura 2.1. [1]

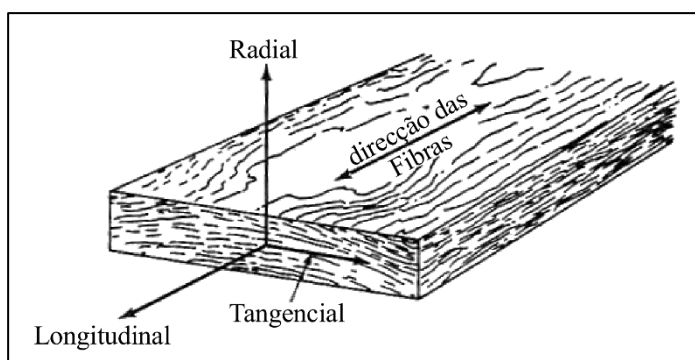


Fig. 2.1 – Direções principais da madeira [1]

O Cross Laminated Timber ao resultar de uma colagem de lamelas dispostas perpendicularmente entre si, em camadas, permite controlar a anisotropia da madeira, uma vez que o material é concebido em painéis para membros verticais e horizontais, reduzindo significativamente as flutuações de resistência existentes na madeira maciça que são uma das grandes desvantagens do uso desta.

O CLT, também conhecido como madeira lamelada colada cruzada (MLCC), X-lam, e ainda como Cross Lam, teve o seu desenvolvimento inicial em Lausanne e Zurique, na Suíça, no início dos anos 90. Em 1996, a Áustria empreendeu um esforço conjunto de investigação entre indústria-universidade, mais precisamente entre a Graz University of Technology e a empresa KLH, que resultou no desenvolvimento da CLT moderno e atual. [2]

Em Portugal, a Tisem é a empresa responsável pela distribuição dos painéis de Cross Laminated Timber da KLH, tendo sido criada em 2009 com o seu centro de atividades na Figueira da Foz. [3]

2.2.2. CLT COMO ELEMENTO ESTRUTURAL

O Cross Laminated Timber é um material em formato de painel, que é composto por lamelas de madeira maciça dispostas em estratos ortogonais. Cada estrato é constituído por sucessivas lamelas paralelas entre si, que são perpendiculares às lamelas das camadas adjacentes, ver figura 2.2.

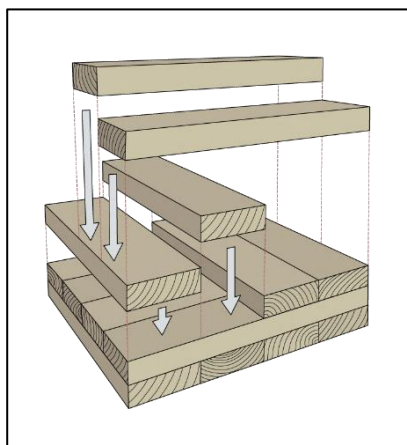


Fig. 2.2 – Disposição das lamelas e das camadas [4]

A catalogação de cada tipo de painel é feita através da espessura nominal, no número de estratos (3s, 5s, 7s, 5ss, 7ss e 8ss) e do tipo de painel (TL ou TT).

Os painéis de CLT da KLH separam-se em 2 tipos, sendo eles, os painéis que vão ter posição vertical, paredes, e os painéis que vou ter posição horizontal ou então com pouca inclinação, como é o caso dos pisos e da cobertura. Apenas os painéis que serão alocados horizontalmente poderão ter camadas adjacentes paralelas com a identificação 5ss, 7ss ou 8ss.

A classificação TL ou TT corresponde à classificação da orientação do painel, pois esta afeta as propriedades físicas e mecânicas do material, bem como a sua capacidade de suportar as cargas. Os painéis TT, são painéis para elementos verticais, paredes, e possuem a orientação perpendicular ao desenvolvimento. No caso dos painéis TL, painéis para elementos maioritariamente horizontais, pisos e cobertura, a orientação é paralela ao desenvolvimento do painel.

Cada painel é composto por 3, 5 ou 7 camadas de lamelas no caso dos painéis feitos para paredes e é composto por 2, 5, 7 e 8 camadas de lamelas no caso dos painéis feitos para pisos e coberturas. Ambos os painéis só podem ter um comprimento máximo de 16,5 m, uma largura máxima de 3,5 m e uma espessura máxima de 0,5 m, ver figura 2.3. [5]

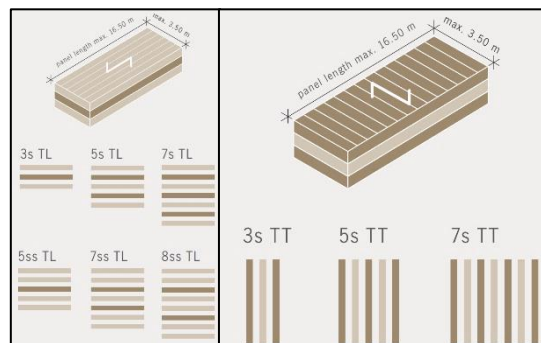


Fig. 2.3 – Painéis horizontais e verticais da KLH [5]

A qualidade da superfície também é uma característica a escolher num painel CLT, consoante a sua aplicação em obra, isto é, consoante a posição e exposição do painel, existindo três tipos de qualidades de superfície: a invisível, a vista industrial, e a vista moradia.

Os painéis de superfície de qualidade invisível, Non-Visual Quality (NVQ), tal como o nome indica, são os painéis que não terão ambas as faces expostas, quer porque serão revestidas, quer porque estarão localizadas em espaços não acessíveis, pelo que o fator visual não influencia a preparação e escolha do painel.

Os painéis de superfície de qualidade industrial, Industrial Visual Quality (IVQ), são painéis para uso não residencial, que geralmente aparece num dos lados do painel, podendo ter acabamentos nos dois lados se isso for determinado. A superfície do painel é lixada e escovada, no entanto pode ainda apresentar algumas irregularidades nas juntas, ligeiras penetrações de cola e algumas rugosidades.

Os painéis de superfície de qualidade moradia, Domestic Visual Quality (DVQ) são os painéis destinados a habitações e ocupação residencial onde a aparência do painel é um aspeto muito importante, pelo que este possui critérios de acabamentos e finalização mais exigentes. [6]

Para além das características específicas do CLT, enquanto material estrutural, existem ainda outras características que definem o CLT, mas que não lhe são específicas, como por exemplo o facto de as construções com CLT integrarem o grupo das construções pré-fabricadas.

A pré-fabricação significa que há uma fabricação prévia com posterior aplicação em obra, o que se distingue do sistema de construção tradicional onde a construção é efetuada no local, sem ser possível alterar a sua localização e a sua posição depois de acabado, sendo por isto a pré-fabricação mencionada por vezes como um processo industrial. Os painéis CLT são preparados em fábrica, saindo desta prontos para serem instalados em obra através de ligações mecânicas.

2.2.3. PROCESSO DE FABRICAÇÃO

2.2.3.1. Introdução

O CLT é um material proveniente do trabalho da madeira e começa desde que esta ainda é um fragmento serrado proveniente da transformação de um organismo vivo, as árvores, passando por uma sequência de processos até chegar ao CLT como elemento estrutural.

Neste subcapítulo é descrito o encadeamento dos processos que existem até se atingir o produto final, cujo está ilustrado na figura 2.4.

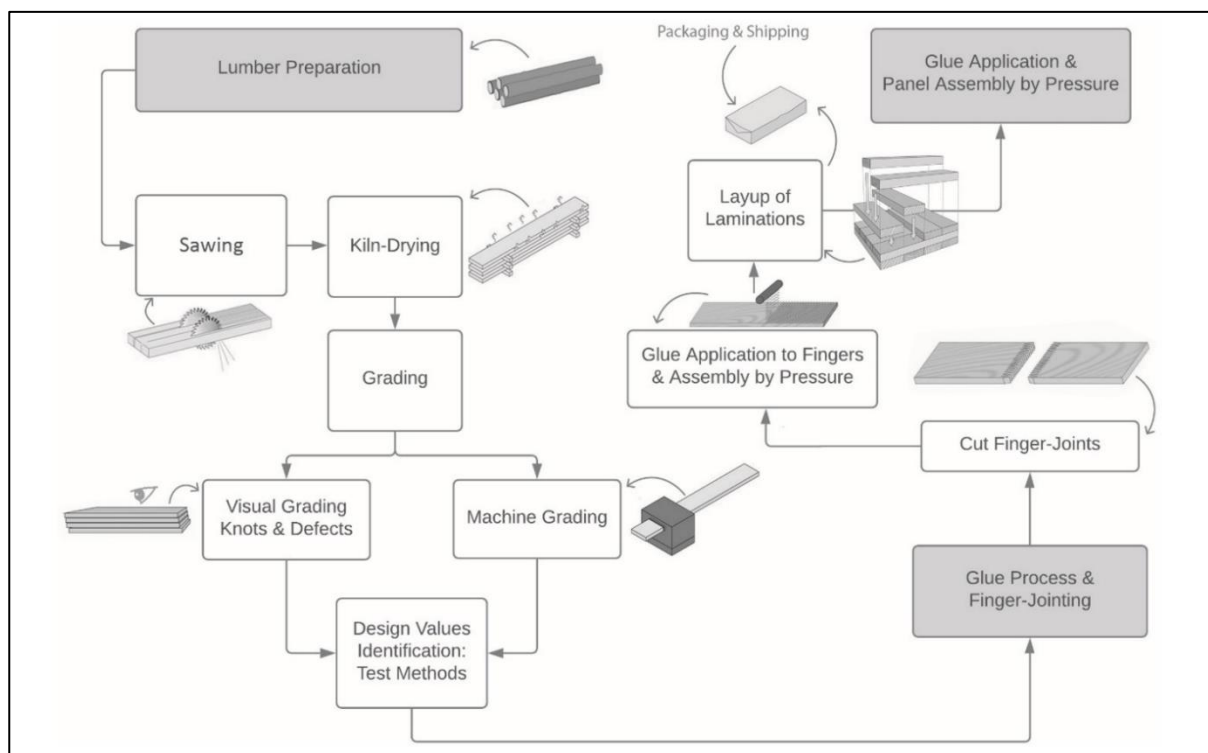


Fig. 2.4 – Encadeamento dos processos de fabricação do CLT [7]

2.2.3.2. Seleção e preparação da madeira

A primeira fase do processo de fabrico do CLT começa com a escolha da madeira, cuja espécie permitida para a manufatura do painel CLT é o abeto.

Os troncos de madeira, depois de escolhidos, são serrados e procede-se à sua secagem, seguindo-se para um processo de triagem que pode ser visual ou mecânico, isto é, pode ser um processo de avaliação a olho nu ou através de uma máquina própria para esse propósito.

Neste processo de triagem é possível identificar defeitos e é medida a humidade, que têm de apresentar valores em torno dos 12% com uma tolerância de 2%, uma vez que os painéis CLT são realizados a partir de madeira seca, evitando-se assim o ataque de fungos e outros.

No final desta etapa são realizados testes para confirmar que as lamelas de madeira apresentam valores que estejam de acordo com os valores regulamentares, isto é, verifica-se a classe de resistência C24, sendo permitido um máximo de 10% da composição com classe de resistência C16, de acordo com a EN338. [5]

2.2.3.3. Processo de colagem e prensagem

Assim que as lamelas estão preparadas para serem incorporadas num painel inicia-se a segunda etapa deste processo de fabrico.

As lamelas são, muitas vezes, a junção de várias lamelas semelhantes, com as mesmas características e com a mesma orientação, formando uma lamela comprida. Esta junção permite criar painéis de CLT maiores, até às dimensões máximas regulamentares, e permite padronizar o comprimento das lamelas reduzindo o desperdício de matéria-prima. Esta junção é feita através de um corte específico, que está representado na figura 2.5, bem como através da colagem do encaixe obtido através desse mesmo corte.

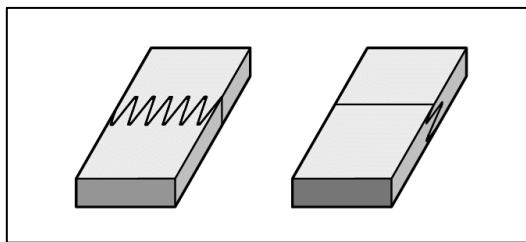


Fig. 2.5 – Junção de duas lamelas [8]

As lamelas finais, isto é, as lamelas depois do processo de junção, são posicionadas lado a lado com a mesma orientação e são coladas a uma camada de lamelas, também elas posicionadas lado a lado, mas com orientação perpendicular à da camada sob esta, repetindo-se esta colagem até se atingirem o número de estratos pretendido, ver figura 2.6.

A colagem é feita através da utilização de resina, isenta de solventes, orgânicos voláteis e odores, de modo que não seja posta em risco a saúde dos trabalhadores, sendo aplicada de modo automatizado, em faixas, cobrindo toda a área do conjunto de lamelas. Aplicam-se 200 gramas de cola por m^2 e após a colocação da cola há uma prensagem que garante a fixação dos estratos, ver figura 2.6. [6]



Fig. 2.6 – Disposição das lamelas lado a lado e colagem [9]

Depois do processo de colagem, onde as várias lamelas previamente preparadas foram agrupadas em estratos ortogonais, procede-se à prensa dos extratos com uma pressão de 6 MN/m^2 , garantindo que a coesão das lamelas permite que o painel funcione como um painel monolítico, ver figura 2.7. [6]



Fig. 2.7 – Prensagem [9]

2.2.3.4. Corte e finalização do painel

O painel CLT nesta fase já é uma massa monolítica que será cortada de forma a ficar pronto a aplicar em obra recorrendo ao uso de conexões metálicas. Este corte é definido pela geometria determinada para os painéis, por consequência dos projetos de arquitetura e especialidades e incluiu os rasgos das portas, janelas e tubagens.

O corte é feito através de controlo numérico, usando máquinas CNC, rasgando precisamente o painel, conforme definido nos projetos supracitados fazendo diminuir os resíduos em obra, sendo estes reutilizados, se possível, ver figura 2.8.

Depois de cortado, o painel está pronto para aplicar na obra, com o seu formato final.



Fig. 2.8 – Corte através de controlo numérico computadorizado (CNC) [9]

2.2.3.5. Aplicação em obra

Os diversos painéis CLT que são aplicados para conceberem paredes, pisos e coberturas vêm de fábrica prontos e assim que chegam à obra são posicionados no seu local que foi previamente definido, iniciando-se a montagem desde o nível mais baixo até à cobertura.

Depois das fundações prontas, geralmente de betão armado devido à suscetibilidade do CLT face à humidade do solo, a explicar em capítulo posterior, inicia-se o processo de fixação dos painéis, com o auxílio de guias ou outros, de modo a transportar os painéis para as suas posições previamente definidas.

Os painéis são então posicionados e fixados mecanicamente através de fixações próprias de parafusos e conectores, dependendo do tipo de ligação a efetuar, ver alguns exemplos de fixações através da figura 2.9.

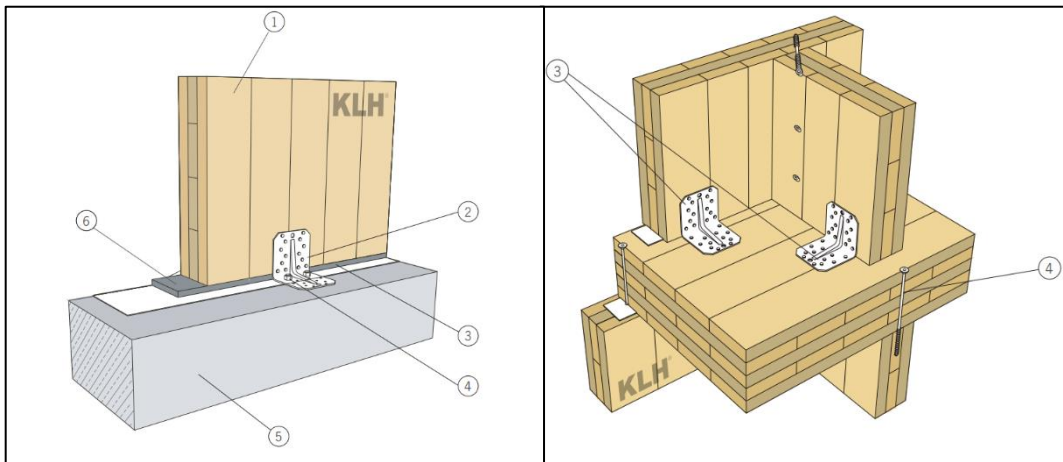


Fig. 2.9 – Exemplos de fixações mecânicas do CLT [5]

Para além de serem fixados mecanicamente, os painéis de CLT vão sendo isolados de modo a se tornarem estanques ao longo da montagem recorrendo a selagem nos casos entre painéis que constituem uma parede, entre os painéis da laje e as paredes fixas às lajes, nas aberturas de janelas, portas e as aberturas para instalações e também entre os painéis da parede e a laje térrea, ver figura 2.10, que demonstra como se realizam estas selagens.



Fig. 2.10 – Exemplos de selagens a colocar [3]

Depois da montagem da estrutura, ou seja, depois dos painéis serem um único elemento, e depois do edifício estar todo ele selado convenientemente, a estrutura do edifício está pronta para receber os restantes materiais que se agregam à estrutura, como por exemplo, o isolamento térmico e o revestimento, finalizando assim o processo construtivo.

2.2.4. VANTAGENS DO CLT

O CLT é um material resultante de madeira aprimorada numa combinação que permite que as características favoráveis da madeira sejam realçadas e que as desfavoráveis desvanecidas, tornando-se num material bastante relevante no setor da construção. No entanto não deixa de ser um material com prós e contras.

Os aspetos positivos a realçar dos painéis CLT como elemento estrutural são a sua resistência, durabilidade, qualidade ao nível do conforto térmico e acústico, higroscopicidade e o seu comportamento face ao fogo e à ação sísmica.

A **resistência de um painel CLT** para edifícios convencionais “pequenos” tem, no mínimo, a mesma resistência estrutural à compressão do betão armado, que devido ao facto de ser um material flexível, precisa de sustentar grandes deformações para colapsar. Para além de o CLT oferecer, pelo menos, a mesma resistência que o betão armado para este tipo de edifício, apresenta ainda um peso por m³ muito inferior ao do betão e do aço, com a densidade do CLT a corresponder, aproximadamente, a 20% da densidade do betão armado. [10]

Os painéis de CLT por serem provenientes de um material natural e de origem biológica, a madeira, apresentam um nível de **durabilidade** dependente do tipo de espécie de árvore bem como da sua degradação biológica.

Os painéis serão expostos, em geral, à classe de risco 1 e 2, equivalentes a uma exposição abrigada e sem contacto direto com as condições meteorológicas pelo que a prevenção biológica, recorrendo a produtos biocidas preservadores é suficiente para garantir a sua longevidade, definida para um período de vida útil de um painel CLT, que é de 50 anos, ver figura 2.11. [6]

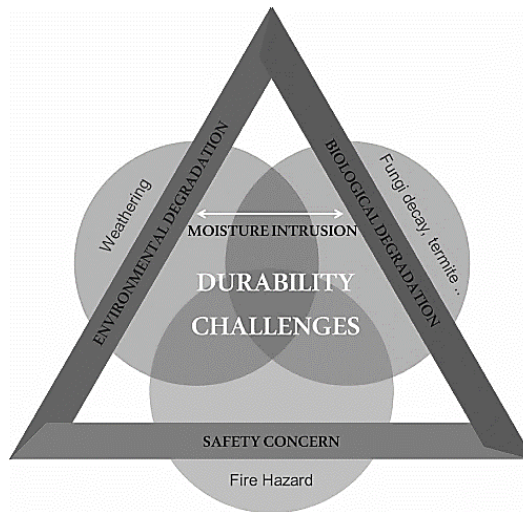


Fig. 2.11 – Influência da humidade na escolha do material estrutural [11]

O **conforto térmico**, obtido através do uso de painéis CLT, deve-se ao tipo de material bem como ao facto de permitir realizar uma estrutura que impede a criação de pontes térmicas planas e reduz significativamente as pontes térmicas lineares.

A condutibilidade térmica, λ , dos painéis é de $0,13 \text{ W/m } ^\circ\text{K}$ o que significa que, para uma pequena espessura de painel, o coeficiente de transmissão térmica terá um valor baixo o suficiente para garantir o conforto térmico, que poderá rondar os $0,35 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$.

Como a estrutura e as compartimentações são em CLT não há pontes térmicas planas, uma vez que estas são essencialmente provocadas pela mudança de material entre estrutura-compartimento. A interrupção de isolamento térmico em janelas, por exemplo, também pode provocar a existência de pontes térmicas, que, no caso do CLT, se anulam devido ao corte rigoroso do painel em fábrica que impede o ar de circular no interior dos painéis. As pontes térmicas lineares, embora que reduzidas, ainda existem devido à ligação mecânica entre painéis que é necessária fazer, mas têm um peso relativamente pequeno no comportamento global dos elementos.

Através da figura 2.12 é possível observar que, para um coeficiente de transmissão térmica semelhante, a espessura de uma parede de CLT é aproximadamente 43% da espessura de uma parede tradicional em tijolo. [6]

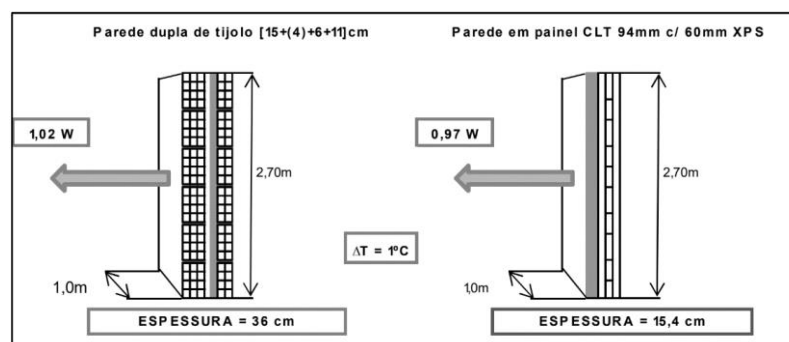


Fig. 2.12 – Comparação entre parede tradicional e parede em CLT [6]

Devido ao facto de a madeira ser um **material higroscópico**, que lhe permite absorver água, quer no seu estado líquido ou gasoso, é possível regular o teor de humidade dos painéis CLT de forma natural, o que contribui para a boa salubridade do ambiente e consequentemente para o aumento do conforto térmico.

Ao nível do **conforto acústico**, os painéis de CLT apresentam-se como painéis de densidade alta em comparação com outras soluções em madeira, com 500kg/m^3 , o que ajuda a impedir a transmissão sonora, devido à maior massa.

A construção em madeira ainda é um grande estigma devido à **segurança contra incêndios**, pois do senso comum sabemos que a madeira seca é a melhor para uma fogueira e o CLT é precisamente madeira seca colada. No entanto as dimensões de um painel em nada se assemelham à dos galhos com que se fazem as fogueiras, pois a vulnerabilidade ao fogo provém da sua fácil combustibilidade e este fator depende substancialmente das dimensões da madeira.

Como os elementos de madeira carbonizados possuem maior dificuldade de combustão devido à camada de carvão que se cria e que atua como uma barreira de proteção, é expectável que numa situação limite, esta barreira impeça tanto quanto possível a combustão e que sirva até como fator de estabilidade estrutural devido à sua grande resistência. [6]

O peso leve e a sua ductilidade originam um sistema com bom **comportamento face à ação sísmica** uma vez que a sua massa reduzida permite diminuir as forças sísmicas que atuam sobre a estrutura. Por outro lado, a ductilidade permite que a estrutura em CLT suporte cargas, enquanto a flexibilidade do CLT absorve os movimentos sísmicos incidentes. [12]

Para além destas características do CLT existem outras que estão mais relacionadas com a logística de todo o processo de projetar com CLT, que motivam a aplicação deste material em obra. A **flexibilidade em projeto** é uma delas já que devido ao facto de apenas existirem painéis quer para elementos horizontais quer para elementos verticais permite que não sejam necessários pilares em posições inconvenientes.

Como os painéis saem prontos de fábricas, a sua aplicação em obra resulta numa **instalação rápida**, pois o sistema construtivo reduz o tempo de construção e aumenta a segurança em obra, cuja instalação depende essencialmente da ligação entre painéis, reduzindo os resíduos resultantes, uma vez que nada ou muito pouco é produzido em obra, sendo por esta mesma razão considerada uma obra seca. Esta instalação fácil reduz possíveis erros de construção e não necessita de um estaleiro de grandes dimensões o que facilita o planeamento da obra. [6]

Para além de todas as questões supracitadas existe também a questão da **sustentabilidade ambiental** que é uma das principais vantagens do uso dos painéis CLT, enquanto material estrutural. Por ser um material natural e renovável, é expectável que ele exista na natureza de forma abundante e com rápido restabelecimento, o que torna a madeira num material acessível.

Para além disto, o facto de a madeira ser tratada **impede a libertação de CO_2 acumulado**, uma vez que durante a vida das árvores e durante o seu crescimento, as árvores absorvem CO_2 através da fotossíntese e libertam-no posteriormente no final do seu ciclo de vida, quer seja através de decomposição ou combustão. Como se evita a decomposição da madeira através do seu tratamento, o CO_2 fica retido e não é libertado para a atmosfera. [14]

Uma *Passive House* é um edifício cujo conforto térmico é assegurado, bem como a qualidade do ar, sem ser necessário recorrer-se a ventilação mecânica e ainda assenta no conceito de baixo consumo energético, seguindo os seguintes 5 princípios [15]:

- Adequados níveis de isolamento da envolvente do edifício;
- Janelas e portas *Passive House* adequadas à norma;
- Sistema de ventilação com recuperação de calor;
- Estanquidade ao ar da envolvente do edifício;
- Evitar pontes térmicas na envolvente do edifício.

Um edifício em CLT facilmente é considerado uma *Passive House*, pois cumpre os requisitos acima listados que lhe estão diretamente ligados, isto é, todos exceto os que não dependem do material estrutural, o CLT. Na figura 2.13 é possível observar de que forma é garantida a estanquidade ao ar através do tratamento de juntas com fita adesiva. [16]



Fig. 2.13 – Selagens a executar [16]

2.2.5. DESVANTAGENS DO CLT

O uso do CLT apesar das inúmeras vantagens que apresenta, faz-se acompanhar de algumas desvantagens que desmotivam a sua aplicação em obra.

O **custo** de um edifício em CLT é mais caro em comparação com uma construção tradicional, uma vez que a construção dos painéis necessita de procedimentos muito específicos e de equipamentos próprios, que estão disponíveis em pequena escala e implantação geográfica, pelo que acresce também os custos de transporte para as obras.

Por ser um **material recente** ainda há pouco histórico, estudo e conhecimento sobre o material, quer da parte dos arquitetos e projetistas, quer da parte dos proprietários.

Associado aos fatores supracitados, também existe a questão da **disponibilidade** pois devido ao pequeno número de empresas especializadas em CLT a oferta fica limitada à capacidade dessas empresas.

Uma das maiores desvantagens do uso do CLT é a sua fragilidade **no contacto com o solo**, devido à humidade, pelo que é desaconselhado o uso de CLT para o piso térreo, sem recorrer a soluções específicas de afastamento como “embasamentos” e a impermeabilização e ventilação adicionais.

O CLT são painéis cortados de forma rigorosa, de acordo com os projetos de especialidades, pelo que é necessário que estes projetos sejam desenvolvidos com elevada precisão e rigor geométrico. [6]

2.3. SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS USANDO CLT. PESQUISA DE EXEMPLOS

2.3.1. INTRODUÇÃO

O material estrutural que o CLT é, com todas as suas características positivas que o acompanham e que incentivam a sua aplicação em obra, apresenta também algumas fragilidades, sejam elas face ao teor de humidade, ou face à ação do vento quando aplicado em edifícios altos.

A sua aplicação por inteiro em edifícios, passou a ser mais destinada a edifícios pequenos, sempre com o nível térreo bem protegido da humidade, normalmente através de um embasamento. Por ser um material com grande potencial, começou-se a combinar o CLT com outros materiais, como por exemplo, o aço e o betão, de modo a conseguir-se edificações que só com CLT não seriam viáveis, como por exemplo edificações de alturas significativas, com 6 ou mais andares.

Este subcapítulo pretende demonstrar alguns exemplos de soluções construtivas em CLT, bem como alguns exemplos de construções em CLT, demonstrando assim a versatilidade do CLT, quando usado como principal material porventura junto com o lamelado colado, bem como em soluções híbridas junto com estruturas de aço, de betão armado ou de alvenaria de pedra.

2.3.2. EXEMPLOS DE SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS EM CLT

As soluções construtivas com Cross Laminated Timber, CLT, abrangem quer a construção de edifícios de diversas dimensões, quer a reabilitação de edifícios, devido à sua grande adaptabilidade a outros materiais.

Os edifícios de **baixa altura** (até 9 m) são os edifícios para os quais a aplicação do CLT faz mais sentido, uma vez que se substituem os elementos estruturais tradicionais como pilar e viga por paredes resistentes de CLT, capazes de suportar e encaminhar cargas. Este tipo de edifícios de baixa altura são geralmente edifícios de habitação, pelo que, devido à compartimentação dos espaços a eles inerentes, o suporte das lajes e das cargas que estas suportam é facilmente conseguido através das paredes resistentes em CLT que separam os espaços.

Para além de ser estruturalmente estável, um edifício em CLT de baixas dimensões pode ainda ter isolamento térmico e revestimentos, pois este material adapta-se com facilidade a outros materiais pelo que o conforto é assegurado, em geral, integrando pelo exterior das fachadas uma solução ETICS, ver figura 2.14.

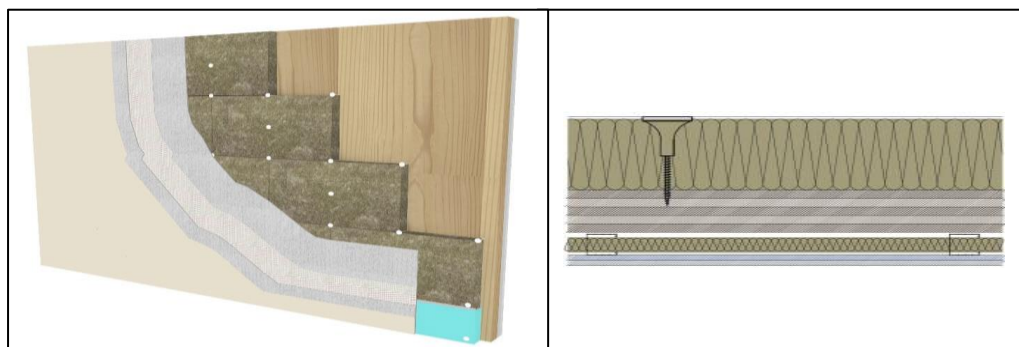


Fig. 2.14 – Sistema ETICS com CLT [17]

Um exemplo de uma solução construtiva para edifícios em CLT é por exemplo o da figura 2.15.

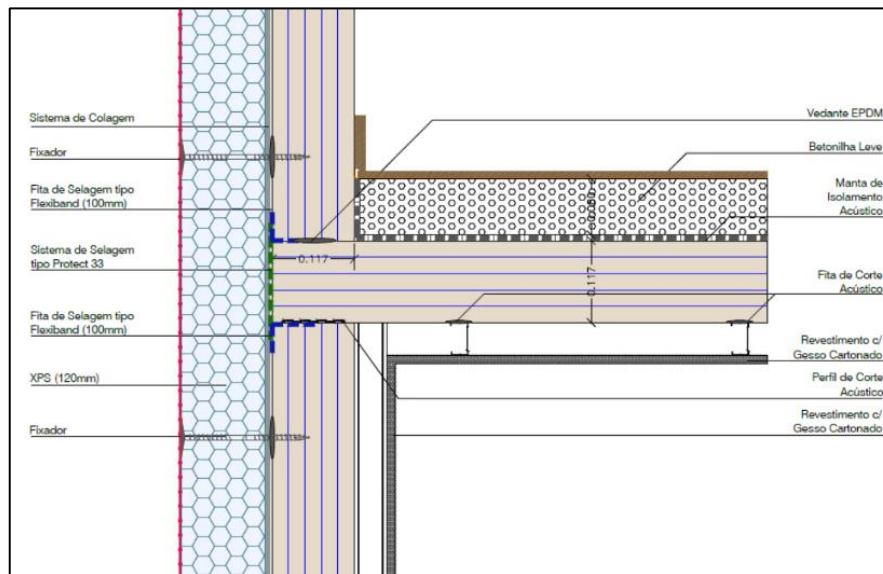


Fig. 2.15 – Pormenor construtivo de uma construção em CLT [18]

Para **edifícios de alturas mais significativas**, o CLT enquanto elemento estrutural torna-se ineficiente, uma vez que, por se tratar de um material leve, tem grande suscetibilidade à ação do vento. A sua construção, atualmente, pode ser obtida através de um sistema desenvolvido para o caso, como por exemplo o FFTT System, que permite construir em altura com segurança, ver figura 2.16 [6].

Este sistema compromete-se a suportar um edifício de 30 andares utilizando uma metodologia que enquadra pilares e vigas de glulam, paredes, pavimentos e um “miolo central” em CLT e através de vigas de aço ancoradas, que resistem às forças laterais como a ação do vento.

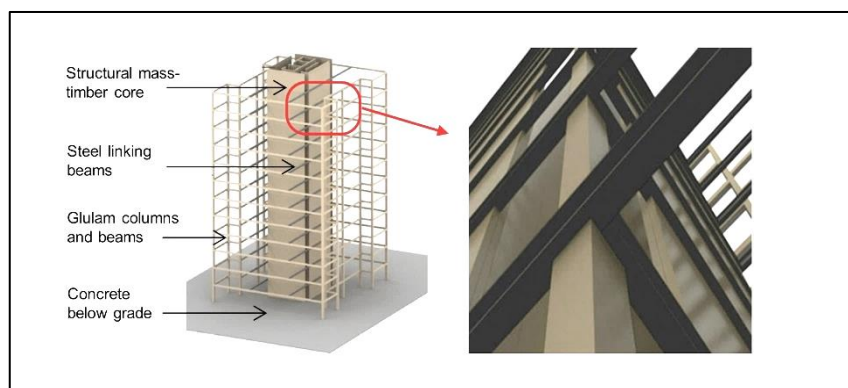


Fig. 2.16 – Sistema FFTT [19]

Este sistema é um sistema híbrido, que mistura o aço e a madeira, e que resulta bastante bem já que a madeira se adapta facilmente a outros materiais, como o aço e o betão, por exemplo. Não é a única solução para construir em altura, porém é a que consegue construir maior número de pisos, ver outros exemplos de construção em altura no capítulo 2.3.3.

O CLT e o betão também são um sistema híbrido utilizado, ver figura 2.17, porém com menos frequência, uma vez que a madeira, nesses edifícios de betão-madeira, é geralmente utilizada como uma viga, pelo que o glulam se torna numa opção mais vantajosa para esse efeito.

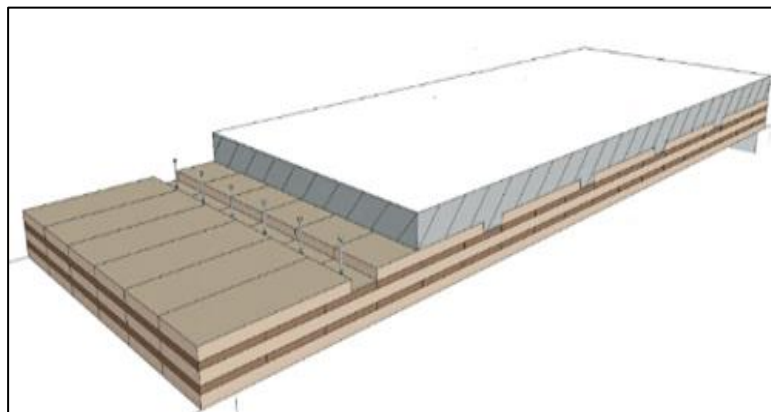


Fig. 2.17 – Sistema construtivo de CLT e betão [20]

Em edifícios construídos, mas que precisam de ser intervencionados, ou seja, na **reabilitação**, o CLT é uma opção muito vantajosa pois devido à sua adaptabilidade, leveza e devido à sua tão mencionada adaptabilidade, é possível utilizar o CLT para reconstruir o “miolo” de um edifício, agregando-o às fachadas que subsistiram, ver figura 2.18.



Fig. 2.18 – Solução de reabilitação onde apenas a fachada subsistia [6]

O uso do CLT na reabilitação embora esteja mais ligado a intervenções de “fachadismo”, ou seja, à construção total do interior e do “miolo” do edifício, não é apenas usado nestes casos.

Uma solução de reabilitação com CLT, sem ser através do “fachadismo”, é por exemplo, a adição de novos pisos com painéis de CLT num edifício de construção tradicional, expandindo o edifício sem recorrer a demolição, usando por exemplo lajes mistas madeira-betão e aumento em altura com paredes em painéis CLT, ver figuras 2.17 atrás e 2.19.



Fig. 2.19 – Solução de reabilitação para expansão em altura de edifício [3]

Assim a reabilitação com painéis CLT permite através de várias soluções melhorar e reutilizar um edifício tornando-o mais agradável e eficiente.

2.3.3. OUTROS EXEMPLOS DE CONSTRUÇÕES EM CLT

Através da abordagem de alguns exemplos de projetos construídos com estrutura em CLT, pretende-se evidenciar a adaptabilidade deste material, quer a outros materiais quer a diferentes contextos quer a diferentes objetivos.

A aplicação do CLT em obra surge de diversas formas, em edifícios habitacionais, em centros educacionais, em escritórios, em pavilhões, em edifícios em altura, em edifícios considerados obras de arte, devido à sua irreverência estética, entre outros, de forma única ou combinada com outros materiais, como por exemplo, glulam, betão e aço.

Embora o CLT por si só permita obter grandes peças arquitetónicas, é também importante reconhecer que o CLT, enquanto elemento de uma combinação de materiais, contribui igualmente para grandes peças, ou seja, como elemento principal e único ou como elemento combinado, o CLT apresenta-se em grandes feitos arquitetónicos, sejam elas devidos à sua dimensão ou sejam eles devidos à sua inovação.

A sua compatibilidade e facilidade de adaptação a outros materiais e sistemas construtivos e o benefício do seu peso próprio reduzido, permite que reabilitação através do CLT se torne uma via acessível, já que esta não prejudica a capacidade estrutural existente, e facilmente o edifício adquire mais área e maior pé-direito devido à sua espessura de painel, para além de que o seu uso resulta numa obra seca e de pré-fabricação, o que acelera todo o processo.

As figuras 2.18 e 2.19 representam duas intervenções de reabilitação usando painéis CLT, sendo elas a reabilitação da casa repouso de Coimbra e a reabilitação de uma moradia unifamiliar, respetivamente.

Em Aveiro é possível encontrar um edifício habitacional de arquitetura inspirada nos antigos armazéns de sal, característicos da zona, onde através do CLT foi possível a obtenção da classificação de Passive House, cumprindo os 5 princípios necessários para essa classificação.

Através da escolha do CLT, proveniente da vontade do dono de obra de ter uma habitação classificada como Passive House, e devido às vantagens do CLT, como a estanquidade, foi possível obter essa

classificação. A escolha do CLT para material estrutural permitiu também um ganho ligeiro de áreas obtido pela menor espessura das paredes, contudo e devido à fragilidade do CLT face à humidade, o piso térreo é de betão armado.

O edifício designado **Casa do Carril** com uma área de 190 m², possui dois pisos e um telhado inclinado típico dos armazéns de sal, ver figura 2.20. A solução construtiva adotada para este edifício habitacional é a disposta na figura 2.21 [21]



Fig. 2.20 – Evolução da construção da Casa do Carril: Projeto; Ligações metálicas e fita isoladora; Aplicação do Isolamento térmico; Aplicação dos Revestimentos [21]



Fig. 2.21 – Pormenor construtivo da “Casa do Carril” [21]

Um outro edifício habitacional construído com CLT muito conhecido é o **STADTHAUS**, localizado em Londres, cuja sua popularidade se deve ao facto de ter sido o primeiro edifício alto a utilizar CLT.

É composto por 9 andares, sendo o andar térreo o único andar que não é constituído por CLT, já que como mencionado, a fragilidade do CLT à humidade impede a sua aplicação direta no piso térreo. Acima do andar térreo, as paredes, lajes, e um núcleo central de elevadores são constituídas por CLT que,

devido à sua configuração espacial, tornou este edifício num edifício estável e eficiente, tendo demorado para a preparação da madeira 9 semanas e para a construção total 49 semanas, ver figura 2.22. [22]



Fig. 2.22 – Edifício STADTHAUS [23]

A aplicação do CLT em edifícios educacionais é algo recorrente nos últimos tempos, existindo inúmeros edifícios para esse fim atualmente. O **The Open Academy**, localizado em Norwich, é uma escola irreverente que, para além de ser diferente por ser um edifício bastante “amadeirado”, seja com estrutura de CLT, seja com revestimentos de madeira, é também diferente graças à sua configuração oval.

Esta configuração oval demonstra a versatilidade da aplicação do CLT, já que se adapta a esta forma mais côncava, demonstrando ser possível recorrer a este material mesmo para arquiteturas mais extravagantes, ver figura 2.23. [22]



Fig. 2.23 – The open academy: Projeto, Construção e Concretização [22]

O edifício educacional é uma construção híbrida, de aço e CLT, de 3 andares e de revestimento de madeira e de tijolos, tendo demorado 18 semanas para a produção da madeira e 65 semanas para a construção total. [22]

O CLT aplicado em pavilhões gimnodesportivos ou em piscinas parece algo inviável pois são ambientes que envolvem muita humidade e vapor de ar, fatores aos quais o CLT apresenta fragilidades, contudo,

e recorrendo a produtos químicos de proteção para a madeira é possível aplicar o CLT em estruturas deste tipo edifícios, como foi o caso do **Victoria leisure centre**, em Nottingham, que é um espaço dedicado à natação cuja cobertura é em glulam e CLT, ver figura 2.24.

Por outro lado, o facto de serem ambientes com condições “difíceis” para xilófagos, devido à presença de gases provenientes dos químicos de tratamento das águas, torna estes ambientes ao uso do CLT ou outros derivados de madeira, exigindo no entanto uma pormenorização cuidada para evitar condensações ou outras formas de retenção de humidade, a que se junta a necessidade de projetar sistemas de ventilação mecânica e de condicionamento do ar de elevada qualidade e controlo de gestão automatizado. [22]

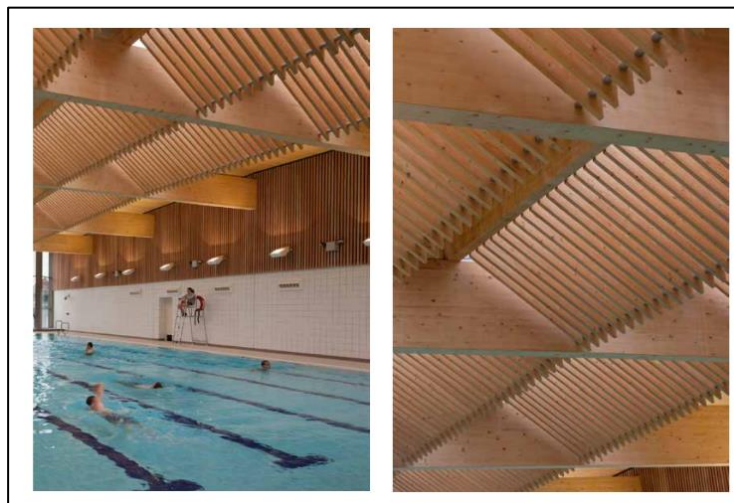


Fig. 2.24 – Cobertura de um edifício em ambientes com teor de humidade alto [22]

O **Complexo Municipal de Piscinas na Caparica**, localizado em Almada, constituído por uma piscina e por uma sala polivalente, é um edifício caracterizado pelo uso da madeira, principalmente por ser algo incomum em Portugal e também em situações em que o teor de humidade é alto. A madeira neste complexo assume a função estrutural, de “esqueleto”, de compartimentação e de revestimento (“pele”) recorrendo a CLT, ver figura 2.25. [6]



Fig. 2.25 – Elementos estruturais de um edifício em ambientes com teor de humidade alto [6]

Para além do CLT conseguir se adaptar a várias estruturas, com configurações e em contextos muito diferentes, pode ainda ser uma obra de arte, que é o que acontece, por o exemplo, com o **Smile**, localizado em Londres, que se tornou numa figura emblemática da praça que habita assemelhando-se a uma viga em flexão, ver figura 2.25. [24]



Fig. 2.26 – Obra de arte em CLT: Exterior e interior [24]

Para a construção de edifícios em altura em CLT, é conveniente e favorável a combinação do CLT com outros materiais, de modo a vencer a ação do vento, como supracitado no capítulo 2.3.2.

O **Brock Commons Tallwood House**, em Vancouver, é mais um exemplo de construção em altura com CLT, que recorre a pilares de glulam e conectores de aço para vencer as fragilidades que o CLT apresenta nas construções em altura.

Esta construção híbrida de 18 andares, é uma residência de estudantes que demorou 66 dias a construir, sendo composta por lajes de CLT e por uma fachada totalmente pré-fabricada, cujo piso térreo é em betão armado, devido ao contacto com o solo a evitar em estruturas CLT, ver figura 2.26 e 2.27. [25]



Fig. 2.27 – Metodologia da construção do Brock Commons Tallwood House [25]



Fig. 2.28 – Edifício finalizado [25]

O Canadá em geral e Vancouver em particular representam a região mais dinâmica do Mundo na procura da inovação na Arquitetura da Madeira. Um dos arquitetos mais conhecidos com ação nesta área é Michael Green, inventor do conceito Tall Wood Buildings em 2012 e com trabalhos diversos em todo o Mundo, disponíveis em <https://mg-architecture.ca/work/>. [26]

3

PROJETO BASE: ARQUITETURA E ESPECIALIDADES

3.1. INTRODUÇÃO

No presente capítulo encontra-se a análise do projeto denominado “projeto base”. A denominação “projeto base” advém do facto deste projeto ser em capítulo posterior alvo de comparação perante um outro projeto, o “projeto variante”, que foi preparado a partir do “projeto base”, de acordo com pressupostos específicos já antes sinteticamente definidos nesta dissertação.

A análise divide-se em 3 principais temas baseados nos projetos de arquitetura e engenharias, e ainda num capítulo síntese.

No subcapítulo referente ao projeto de arquitetura do “projeto base” são abordados os assuntos do contexto geral da envolvente do lote em estudo, de descrição e explicação do edifício existente e do edifício proposto, bem como as motivações associadas e ainda são apresentados pormenores construtivos, considerados mais relevantes para serem referidos nesta dissertação.

No subcapítulo respeitante aos projetos das especialidades do “projeto base” são expostos os projetos mais importantes, acompanhados por uma explicação sintetizada dos princípios bases usados para a sua concretização.

No subcapítulo onde se faz a síntese do capítulo apresentam-se os valores mais relevantes do “projeto base” que serão em fase posterior comparados com o “projeto variante” (capítulo 4).

3.2. PROJETO DE ARQUITETURA

3.2.1. INTRODUÇÃO

O projeto de arquitetura do “projeto base” corresponde à demolição total de um edifício existente em prol da execução de um novo edifício, na mesma área de implantação, com duas habitações unifamiliares tendo sido estas designadas por habitação A e habitação B para que a sua distinção fosse possível.

3.2.2. ENQUADRAMENTO URBANÍSTICO

A proposta de construção das duas frações independentes supracitadas está prevista para um lote urbano pré-existente, composto atualmente por três habitações, que se localiza na Travessa do Sebeiro, com números de porta 20 e 22, tornejando para a Rua Feliciano de Sousa, com o número 78, todas situadas na freguesia de Alcântara, concelho e cidade de Lisboa, ver figura 3.1.



Fig. 3.1 – Planta geral de implantação

O lote mencionado corresponde a uma das esquinas (lote de gaveto) de um quarteirão que está inserido na malha urbana de Alcântara, caracterizada por uma sucessão de edifícios coesos (edifícios em correnteza) com variações de altura entre 1 e 4 pisos e com telhados inclinados de 2 e 3 águas, ver figura 3.2.



Fig. 3.2 – Alçados principais dos edifícios pertencentes aos arruamentos em estudo

3.2.3. EDIFÍCIO EXISTENTE

O edifício existente atualmente no lote comporta, como mencionado, 3 habitações de um piso com aproveitamento do desvão da cobertura (sótão), que não apresentam condições de conforto nem de habitabilidade, devido a várias falhas construtivas, com uma área de implantação com cerca de 71,00 m², sendo também esta a área do lote, uma vez que não existe área de logradouro nem área permeável.

Segundo a arquiteta responsável pelo projeto, o edifício apresenta patologias construtivas, quer ao nível dos isolamentos de paredes, mas também ao nível da cobertura, possuindo caixilharia e acabamentos interiores de má qualidade, não se registando nenhum elemento de valor arquitetónico ou patrimonial a preservar e manter.

O edifício é uma tipologia de gaveto com duas empenas que, em consequência da sua morfologia, não foi possível dispor de condições para o aproveitamento de luz natural, o que tornou a habitação débil quer ao nível da ventilação quer ao nível do conforto proporcionado pela luz natural mencionada. A habitação número 78 da rua Feliciano de Sousa possui duas janelas no piso 0 e uma janela no aproveitamento da cobertura, sendo a habitação com maior aproveitamento de luz natural uma vez que corresponde à habitação localizada na interseção das 2 fachadas expostas. As habitações número 20 e 22 da Travessa do Sebeiro apenas possuem uma janela cada uma, sendo a da habitação 22 no piso 0 e a da habitação 20 no aproveitamento da cobertura, não existindo nenhuma claraboia em todo o edifício.

Em resultado das motivações supracitadas, não foi observado qualquer benefício em reabilitar este edifício, quer a nível económico quer a nível construtivo, pelo que foi proposta a sua total demolição, ver figura 3.3.



Fig. 3.3 – Imagem Google maps do local estudado nesta dissertação

3.2.4. Edifício proposto

O edifício proposto para execução, após a demolição do existente, é composto pela habitação A correspondente à habitação da direita aquando análise através do alçado frontal e consequentemente a habitação B corresponde à habitação da esquerda, ver figura 3.4.

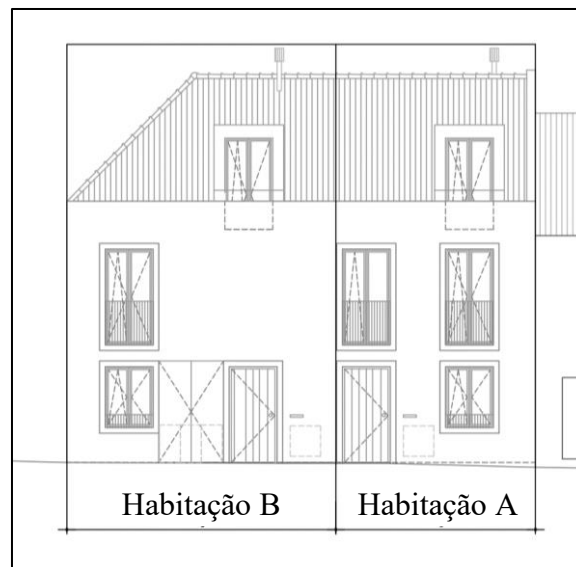


Fig. 3.4 – Alçado frontal com identificação das habitações A e B

Neste projeto prevê-se que a construção do edifício bifamiliar tenha a mesma implantação que o edifício existente respeitando a identidade e configuração urbana (edifícios em correnteza). Prevê-se também a alteração da volumetria do edifício, através do aumento de um piso, respeitando as normas urbanísticas estabelecidas para a zona.

Mantendo-se a cota do piso existente (piso 0), a altura máxima regulamentar foi calculada através da média das alturas de fachada, excluindo o edifício mais alto e o mais baixo, bem como o edifício em estudo, tendo sido obtido uma altura de fachada média de 6,00 m.

A frente do arruamento considerada para o cálculo, foi a Travessa do Sebeiro entre as transversais rua Feliciano de Sousa e rua Cruz a Alcântara, uma vez que se localizam os dois acessos às duas habitações nessa mesma frente, entendendo-se com a fachada da frente, ver figura 3.5.

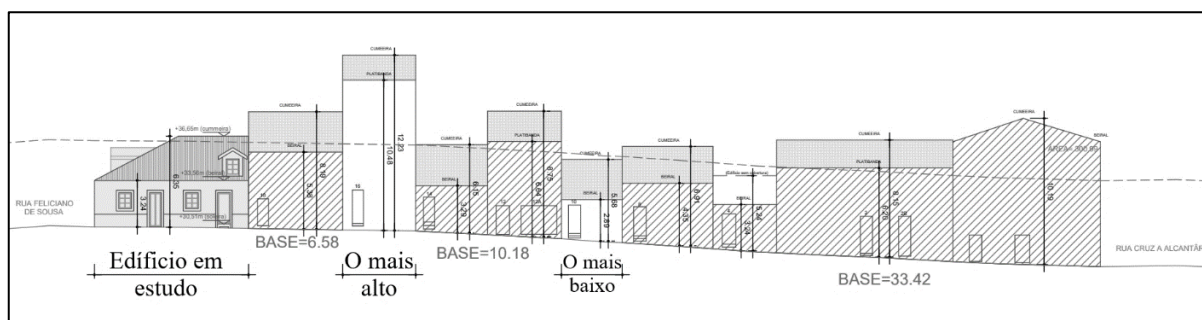


Fig. 3.5 – Imagem do arruamento com as fachadas do edifício proposto

$$\text{Média das alturas das fachadas} = \frac{\text{soma das áreas dos alçados até à fachada}}{\text{soma das bases correspondentes}} \quad (3.1.)$$

Obtendo-se um valor de altura máxima de fachada a construir de 6 m, o pé direito de cada piso ficou determinado com 2,40m de altura para cada piso.

A habitação A é composta por dois pisos (piso 0 e piso 1) e um sótão. O piso 0 possuiu um hall de entrada, um quarto, uma instalação sanitária e um arrumo que ocupa parte do desvão das escadas que dão acesso ao piso 1. O piso 1 é composto por um único espaço que alberga o conjunto sala de estar e kitchenette. A ligação entre o piso 1 e o sótão é efetuada também através de escadas e estas encontram-se na mesma posição que as escadas que ligam o piso 0 ao piso 1, sendo proposto para o sótão uma sala de pequenas dimensões, um arrumo no desvão da cobertura e uma trapeira.

A habitação B é igualmente composta por dois pisos (piso 0 e piso 1) e um sótão. No piso 0, a proposta compreende um hall de entrada, um quarto, um closet e uma instalação sanitária. Compreende também as escadas que conectam o piso 0 ao piso 1, cujo desvão não é acessível. O piso 1 inclui uma sala de estar e uma kitchenette que coexistem sem separação física e cujo piso recebe luz natural, através de uma claraboia, na zona das escadas. O sótão da habitação B, por ser sótão, isto é, por ser a divisão que se gera entre o piso do sótão e os desníveis da cobertura, tem a sua arquitetura dependente do formato desta. Nesta habitação, e distintivamente da habitação A, onde apenas se cruzam 2 águas, cruzam-se 3 águas do telhado, que fariam diminuir a área do sótão se o lote tivesse sido dividido na sua metade. Esta diferença de águas está diretamente relacionada com o disposto no artigo 59º do RGEU onde está exposto que a altura máxima de uma edificação não pode ser superior à linha reta imaginária demarcada entre o alinhamento da edificação fronteira com a rua, com um ângulo de 45º.

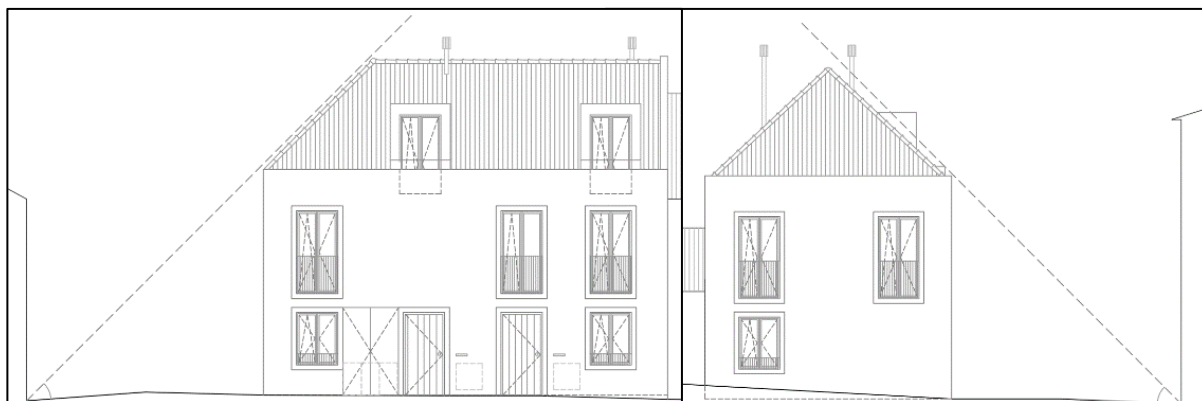


Fig. 3.6 – Demonstração do cumprimento do RGEU no que se refere ao projeto de cobertura

Em virtude do supracitado, isto é, devido à forma da cobertura na habitação B que faria com que a área do sótão da habitação B fosse menor, e para uma gestão mais equilibrada das áreas úteis dos cômodos das duas habitações, o lote não foi dividido pela sua metade, o que significa que a área de implantação da habitação B é maior que a da habitação A, de modo a compensar esta discrepância.

O sótão da habitação B é considerado um mezanino onde existe um quarto, um arrumo no desvão da cobertura e uma trapeira.

O quadro 3.1 sintetiza as áreas úteis da nova construção a edificar.

Quadro 3.1 – Áreas úteis dos vários compartimentos da habitação A e B

Habitação A			Habitação B		
Piso	Compartimento	Área (m ²)	Piso	Compartimento	Área (m ²)
0	Hall de entrada	1,50	0	Hall de entrada	4,74
	Quarto	11,81		Quarto	17,09
	Instalação Sanitária	4,21		Instalação Sanitária	4,57
	Arrumo	1,96		Closet	5,74
1	Sala de estar e kitchenette	17,59	1	Sala de estar e kitchenette	31,14
	Escadas	4,98		Escadas	4,99
Sótão	Sala	10,01	Sótão	Quarto	9,33

A habitação A totaliza uma área útil de 52,15 m² e a habitação B uma área útil de 71,83 m².

3.2.5. PORMENORES CONSTRUTIVOS

A solução construtiva do “projeto base” é uma solução tradicional com estrutura em betão armado, ver figura 3.7, que evidencia um corte construtivo ao nível da cobertura, entre pisos e térreo.

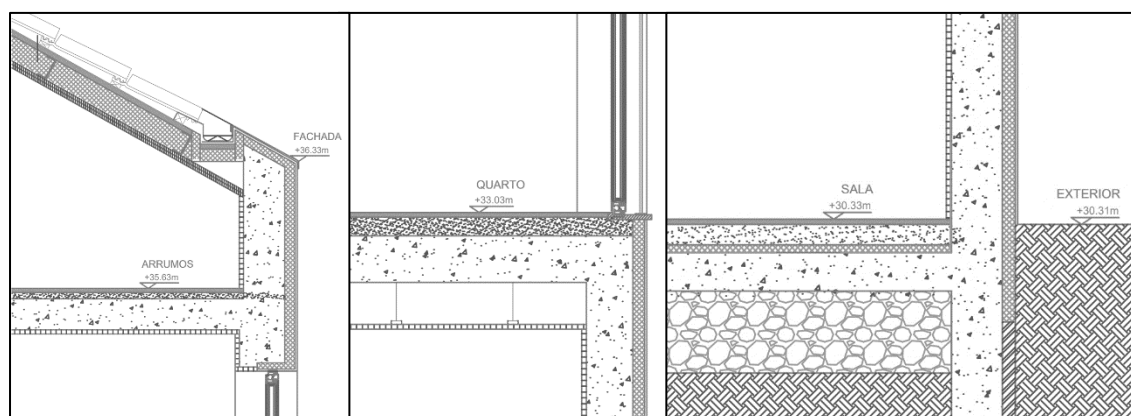


Fig. 3.7 – Corte construtivo arquitetônico ao nível da cobertura, entre pisos e térreo

A constituição dos elementos de ambas as habitações, A e B, é a mesma o que significa que possuem os mesmos materiais, salvo pequenas exceções.

O exterior das habitações é composta pelas fachadas frente e lateral, sendo as paredes exteriores compostas, do interior para o exterior, por argamassas e rebocos tradicionais, bloco térmico, poliestireno extrudido (xps) e reboco armado, ou seja, materializando uma solução do tipo ETICS.

Os pilares em contacto com o exterior são compostos por argamassas e rebocos tradicionais, betão armado, e reboco armado e as vigas também elas em contacto com o exterior são compostas por argamassas e rebocos tradicionais, betão armado, poliestireno extrudido (xps) e reboco armado.

A cobertura é composta, do interior para o exterior, por argamassas e rebocos tradicionais, betão armado, poliestireno extrudido (xps), painel de lamelas longas orientadas (osb) e material cerâmico como tijolos, blocos, telhas e ladrilhos.

As trapeiras da cobertura são concebidas do interior para o exterior por argamassa e rebocos tradicionais, betão armado, argamassas e rebocos tradicionais, poliestireno extrudido (xps) e revestimento.

Os vãos envidraçados são vãos envidraçados simples verticais de vidro duplo com baixa emissividade com caixilharia em alumínio e com proteção solar interior através de cortina transparente de cor clara, no caso da habitação A, uma vez que na habitação B não há proteção solar.

O pavimento térreo é constituído, do interior para o solo, por revestimento, argamassas e betonilhas tradicionais, betão armado, poliestireno extrudido (xps) e por areia, gravilha, seixo e brita.

As paredes interiores dos desvãos das escadas são compostas, do interior para o espaço não útil, por argamassas e rebocos tradicionais, tijolo cerâmico furado normal e lã de rocha, no caso do desvão das escadas entre o piso 0 e o piso 1, e por placas de gesso cartonado e lã de rocha no caso do desvão das escadas entre o piso 1 e o piso 2.

As paredes que são adjacentes aos outros edifícios e também a parede de separação da habitação A e B, são compostas por argamassas e rebocos tradicionais, bloco térmico e poliestireno extrudido (xps).

As escadas de acesso entre pisos são compostas, do interior para o espaço não útil, por revestimentos, argamassas e rebocos tradicionais, betão armado e lã de rocha.

A caixilharia tem a composição conforme figura 3.8.

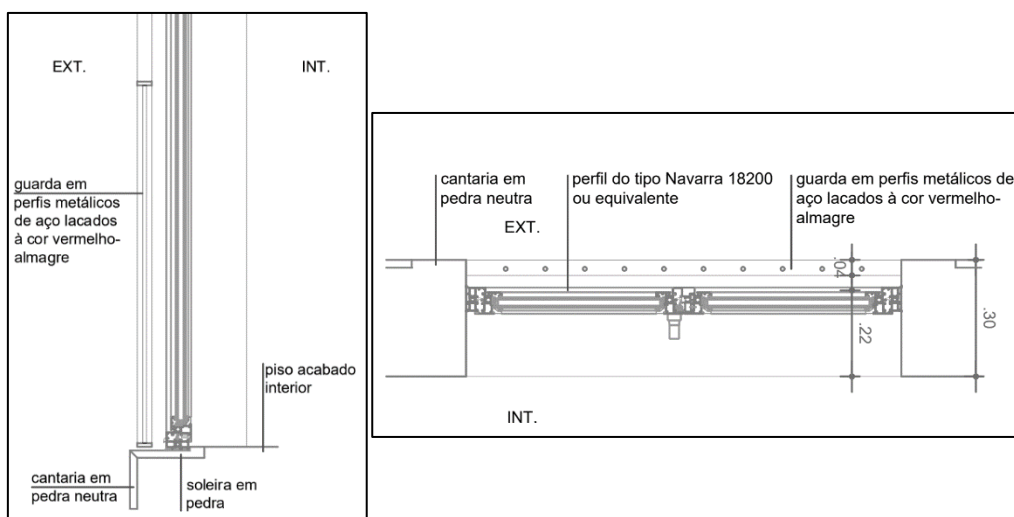


Fig. 3.8 – Cortes vertical e horizontal da caixilharia em alumínio

No anexo A1 estão presentes as plantas de arquitetura de cada piso bem como cortes e alçados para melhor compreensão da arquitetura do edifício em questão.

3.3. PROJETOS DE ESPECIALIDADES

3.3.1. INTRODUÇÃO

Um edifício e as várias instalações que o constituem carecem de planos estratégicos prévios que assegurem as facilidades e os serviços necessários, bem como a sua eficiência, conforto e segurança.

Cada projeto de especialidade é elaborado consoante a instalação e ou componente da edificação a que se refere e tem como base o projeto de arquitetura.

Os projetos de especialidade do “projeto base” são alvo de estudo neste subcapítulo, e dividem-se em projeto de demolição do edifício existente no local e o projeto de estruturas, em projetos de hidráulica, onde se estuda o projeto de abastecimento de água, o projeto de drenagem de águas residuais e o projeto de drenagem de águas pluviais, projeto de avaliação do conforto térmico, projeto de avaliação do conforto acústico, projeto de segurança contra incêndios, projeto de gás e ainda um subcapítulo que menciona os restantes projetos de especialidades, onde se refere quais são os projetos que acompanham os projetos de especialidades do “projeto base” supracitados mas que não são alvo de estudo nesta dissertação.

Este subcapítulo pretende analisar como foram elaborados os projetos de especialidades, bem como, estudar os projetos em si, para que posteriormente seja possível a análise comparativa com os projetos de especialidades do “projeto variante”, projeto este que será compreendido no capítulo seguinte, capítulo 4. Neste sentido são enunciados alguns dados numéricos ao longo deste subcapítulo.

3.3.2. PROJETO DE DEMOLIÇÃO

O projeto de demolição do “projeto base” consiste na caracterização discriminada da estratégia a adotar aquando demolição do edifício existente e das técnicas a utilizar para esse fim, com o propósito de reunir as condições necessárias para a nova construção.

A intervenção pretendida prevê a demolição da totalidade de uma edificação existente antiga, que ocorrerá em toda a zona do terreno, como supracitado, incluindo ao nível das fundações. A execução da demolição respeita as normas gerais do regulamento de segurança no trabalho de construção civil (decreto-lei 41820 e 41821).

O projeto de demolição prevê escoramentos temporários, acessos interditos a pessoas não autorizadas às operações a executar e corte da água, gás e eletricidade fornecidos ao edifício.

A demolição deve ter início na parte superior do edifício existente, de piso em piso, e dos elementos suportados para os elementos que dão apoio e assim sucessivamente. Se vantajoso, serão montados andaimes para a demolição.

3.3.3. PROJETO DE ESTRUTURAS

O projeto de estruturas é o projeto mais significativo pois os outros projetos correspondentes às infraestruturas dependem deste projeto e das suas condicionantes. A conceção deste projeto têm por base o projeto de arquitetura e pretende viabilizar a geometria da estrutura que foi proposta nesse projeto, bem como definir a solução estrutural a adotar.

A solução estrutural adotada no “projeto base” é uma estrutura porticada de betão armado (Pilar-Viga) que apoia em lajes maciças com espessura de 20 cm. As lajes da cobertura, também em betão armado com espessura de 15 cm, têm inclinação de cerca de 87%.

As fundações são fundações diretas e, devido às imposições da área de implantação, dez de onze fundações tiveram de ser excêntricas, em duas direções nos casos das sapatas dos vértices do lote e numa direção nas restantes. O projeto prevê sapatas isoladas e sapatas interligadas por vigas de equilíbrio.

A solução estrutural adotada foi a supracitada de laje maciça uma vez que a localização do edifício projetado é uma zona sísmica, o que implica a necessidade de uma estrutura rígida.

O projeto começa com a introdução de pilares em planta, piso por piso, assegurando um percurso sucessivo e eficaz das cargas verticais até às fundações. É necessário colocar pilares em todos as extremidades do perímetro da laje, bem como nos locais convenientes. O projeto de estruturas do “projeto base” prevê 11 pilares, estando eles alocados consoante o representado na figura 3.9.

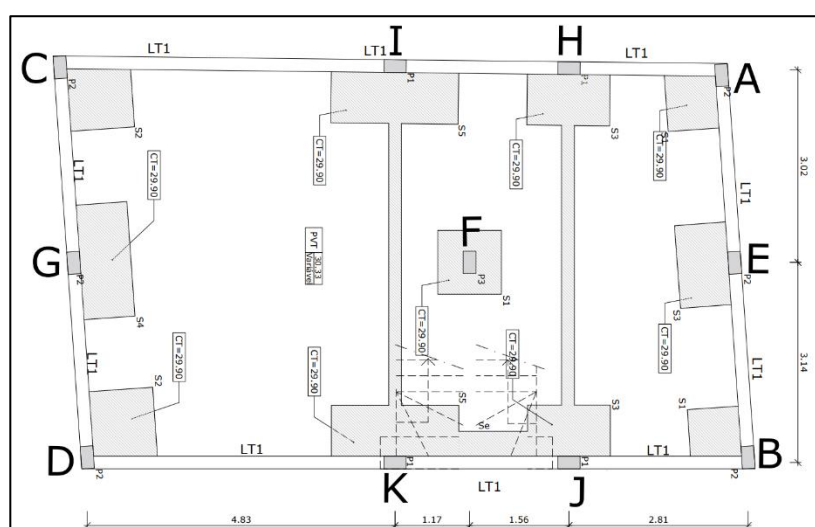


Fig. 3.9 – Planta de fundações do “projeto base”

Os pilares A, B, C e D são os pilares das extremidades da laje. Os pilares E, F e G são pilares centrais que, devido ao facto de a região em estudo ser uma região sísmica, necessitam de um sistema estrutural mais “travado”. Os pilares J e K foram alocados perto das escadas da habitação A e B, por causa desta, numa posição em que não interfere com nenhuma janela, trapeira ou outro elemento na direção do pilar. Na direção oposta encontram-se os pilares H e I que segue o mesmo princípio de localização que os pilares J e K.

Os pilares A, B, E, H e J são pilares pertencentes à habitação A e os pilares C, D, G, I e K são os pilares pertencentes à habitação B. O pilar F encontra-se na separação de ambas as casas.

As lajes ficam implicitamente definidas pela alocação dos pilares, onde cada habitação tem uma laje maciça por piso, isto é, ao nível do piso 1, do piso 2 e da cobertura.

As vigas são também elas implicitamente definidas pela alocação dos pilares e das lajes e, no caso do “projeto base”, desenvolvem-se no perímetro do edifício e também na separação das duas habitações pertencentes ao edifício. As lajes do “projeto base” têm vãos de dimensões entre 3,76 m a 6,23 m, não excedendo os 7 m a 8 m máximos definidos para lajes maciças bidirecionais, pelo que não necessitam de vigas para além das projetadas para o perímetro do edifício.

Ao nível das fundações encontram-se as sapatas, que recebem as cargas dos pilares, os lintéis, com função de travamento, e as vigas de equilíbrio, tendo estas o objetivo de equilibrar as sapatas, devido ao facto de elas serem excêntricas. As sapatas dos extremos não estão ligadas por vigas de equilíbrio uma vez que a carga que estas vão receber é inferior às sapatas mais centrais pelo que não necessitam.

Depois de definida a localização dos elementos estruturais supracitados inicia-se o pré-dimensionamento desses mesmos elementos.

No anexo A1 estão presentes a planta de fundações e as plantas estruturais para melhor compreensão da solução estrutural, dispostas também na figura 3.10.

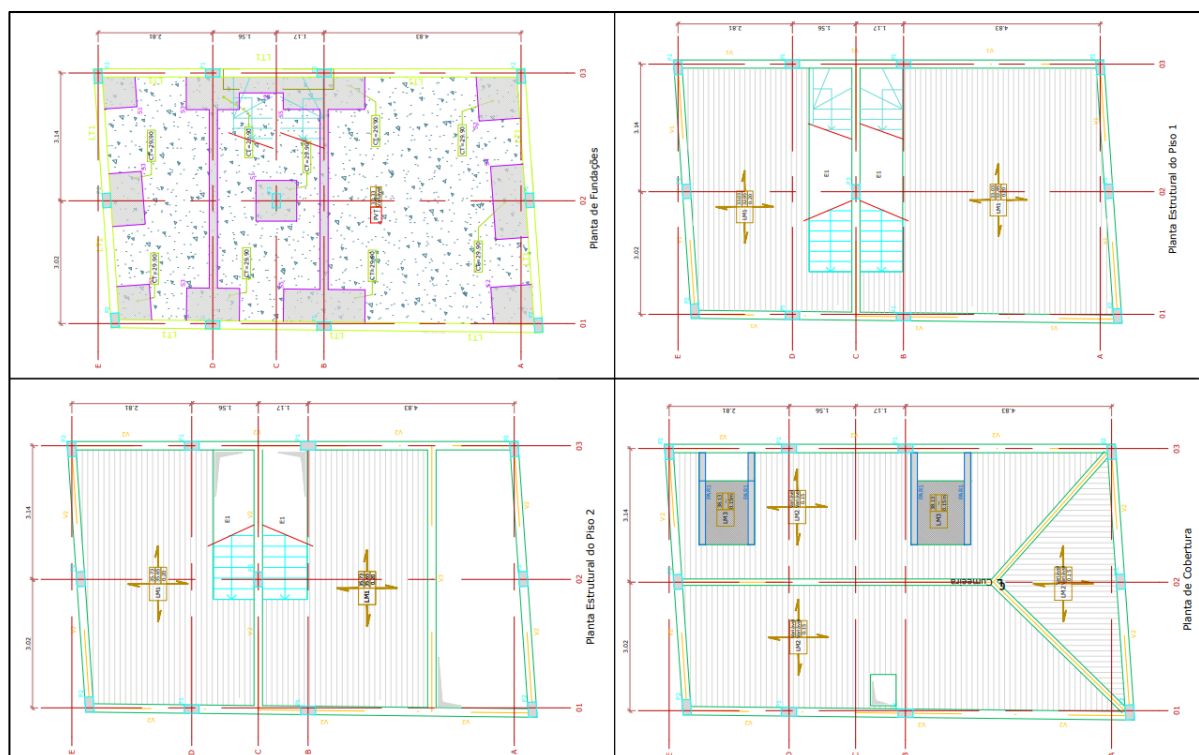


Fig. 3.10 – Plantas estruturais do “projeto base”

3.3.4. HIDRÁULICA

3.3.4.1. Abastecimento de águas

O projeto do abastecimento de águas do “projeto base” define a estratégia a adotar para um fornecimento de água eficiente, proveniente da rede pública de abastecimento de água, de modo a satisfazer as necessidades ao nível das cozinhas, casas de banho, e outros que também necessitem de água para o seu funcionamento.

O dimensionamento da rede de abastecimento de água baseia-se no Regulamento Geral dos sistemas Públicos e Prediais de distribuição de Água e de drenagem de Águas Residuais e a sua esquematização está dependente da localização dos dispositivos de utilização a conectar à rede, que são identificados consoante o tipo de água que manuseiam, isto é, água quente, água fria ou ambas.

O dimensionamento deve começar com a análise da pressão, de modo a garantir a pressão mínima regulamentar de 10 mca no dispositivo de utilização mais desfavorável. Neste caso são os depósitos AQS localizados no sótão de cada habitação, os dispositivos de utilização mais desfavoráveis, tendo sido obtidos valores de 23,70 mca e 23,54 mca, respetivamente para a habitação A e B, sendo esta a pressão necessária à entrada das habitações para que se dispense a instalação de qualquer sistema de pressurização.

Proveniente da informação concessionária, confirma-se a existência de uma pressão superior à necessária com valor de pressão disponível de 34.0 mca à cota topográfica de 30.20 m, pelo que se confirma que não será necessário recorrer a grupos de bombagem.

A rede de ambas as habitações inicia-se nos contadores, que se encontram alojados na fachada principal, onde o consumo de água proveniente da rede pública será registado. Dos contadores seguirá embebida no pavimento e nas paredes até ao depósito de água quente localizado no sótão de cada habitação e daí para os utilizadores de água quente, alimentando também diretamente os dispositivos de utilização que usem água fria, como o lavatório, a bacia de retrete, o chuveiro, no caso das instalações sanitárias, a máquina de lavar roupa, e no caso das cozinhas, a pia lava-loiça e a máquina de lavar loiça, ver figura 3.11.

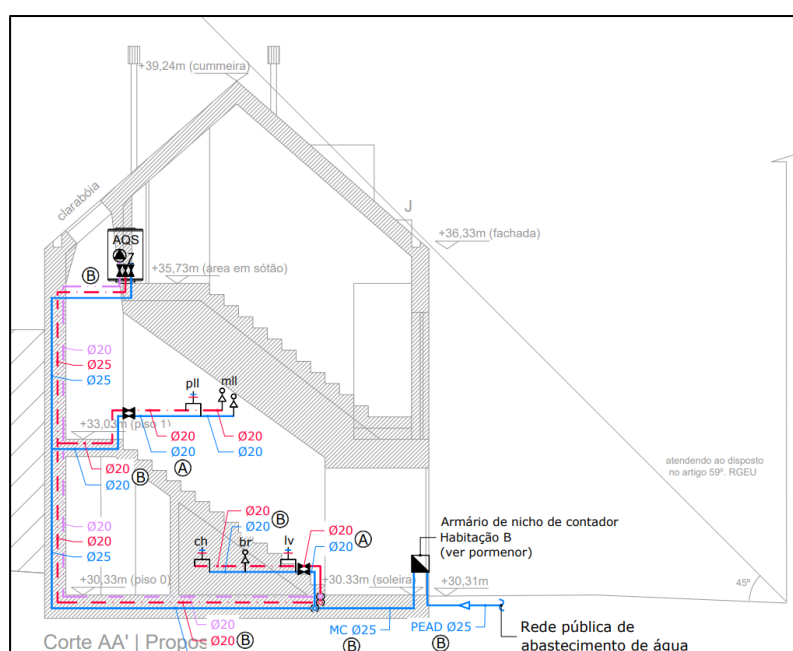


Fig. 3.11 – Corte transversal com o traçado da rede da habitação B (a habitação A tem traçado semelhante)

A rede de abastecimento de águas prevê, paralelamente à rede de água fria, a referida rede de água quente e uma rede de retorno de água quente, ambas isoladas termicamente com manga de borracha esponjosa. As tubagens serão revestidas com um tubo de plástico de cor azul, correspondente à rede de água fria, e de cor vermelha correspondente à rede de água quente.

A produção de água quente sanitária será assegurada em cada habitação por um sistema solar térmico do tipo circulação forçada, com apoio de uma resistência elétrica no depósito de acumulação de água quente localizado no sótão.

Para além das tubagens, fazem parte da rede os acessórios, como válvulas, torneiras e ainda uma bomba de recirculação de AQS com funcionamento igual ao da esquematização da figura 3.12.

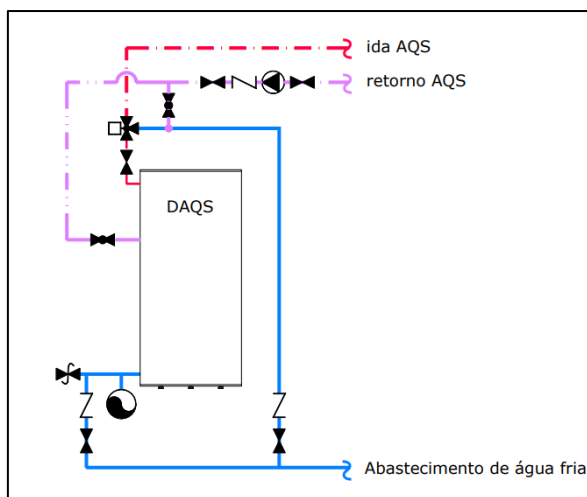


Fig. 3.12 – Corte transversal com o traçado da rede

No anexo A1 estão presentes as plantas de cada piso com o respetivo traçado de rede para melhor compreensão da rede e do seu funcionamento.

3.3.4.2. Drenagem de águas residuais

O sistema de drenagem de águas residuais é responsável pela função de recolha e encaminhamento dos resíduos sobrantes provenientes do uso oportuno dos aparelhos sanitários. O seu transporte carece de um plano estratégico para que durante o seu trajeto o utilizador não seja de alguma forma perturbado, pelo que é necessário garantir as condições de estanquidade da rede bem como a acústica e a ventilação.

O dimensionamento da rede e a sua esquematização deve começar com a identificação dos aparelhos sanitários, sucedendo-se para a elaboração das ligações entre eles, tendo em conta a sua separação, em águas negras e águas de sabão.

As águas negras são o efluente proveniente da bacia de retrete enquanto as águas de sabão são o efluente oriundo de todos os outros aparelhos sanitários. Para as águas de sabão utiliza-se uma caixa de passagem também denominada caixa de pavimento, que é responsável pela junção de todo o efluente proveniente dos aparelhos sanitários.

Os efluentes de águas de sabão que cada aparelho produz são encaminhados através de ramais de descarga individual até à caixa de pavimento. Desta seguem através de ramais de descarga coletivos

com diâmetro nominal $\phi 75$ que ligam a caixa de pavimento a um tubo de queda ou a uma câmara de inspeção.

Os efluentes no caso das águas negras são encaminhados da bacia de retrete até ao tubo de queda ou até à câmara de inspeção através de um ramal de ligação individual.

Por questões de praticidade deve-se efetuar a separação das águas negras e de sabão nos tubos de queda, havendo um tubo de queda para águas de sabão e um para águas negras, fazendo com que estes dois tipos de efluentes apenas se juntam nas câmaras de inspeção.

Mesmo que esta condição não seja um requisito em Lisboa deve-se a opção de ter tubos de queda separados tem várias vantagens que ultrapassam a questão financeira, como por exemplo, o facto de permitir que na maioria das situações não seja necessário instalar ventilação secundária, facilitando a colocação das tubagens.

Os tubos de queda são elementos verticais que podem estar localizados em courettes criadas especificamente para conter estes tubos ou então no miolo de uma parede não estrutural. Para garantir a ventilação dos sistemas de drenagem, os tubos de queda devem ser prolongados até que a sua abertura se dê na atmosfera (ventilação primária), salvo exceções, sendo esta uma ventilação completamente independente de outros tipos de sistemas de ventilação da habitação.

Após estabelecida a localização dos tubos de queda deve-se proceder à alocação das bocas de limpeza nos locais mais convenientes consoante o estabelecido em regulamentação, sendo estas que permitem o acesso à tubagem após a finalização da rede, permitindo a sua manutenção e limpeza quando necessário.

Para o correto dimensionamento destas redes, é necessário também aceder à informação sobre a localização, cota e ponto de ligação ao coletor público, pois este fator condiciona o traçado dos coletores. É necessário efetuar uma verificação das cotas de ligação a fim de confirmar se o ligamento da rede de drenagem da habitação é compatível com a ligação a realizar ao coletor público.

A drenagem das águas residuais no “projeto base” foi efetuada de forma independente para as duas habitações, isto é cada habitação tem a sua rede, embora estas redes sejam semelhantes devido à morfologia idêntica de ambas as habitações, tendo a esquematização da rede disposta na figura 3.13

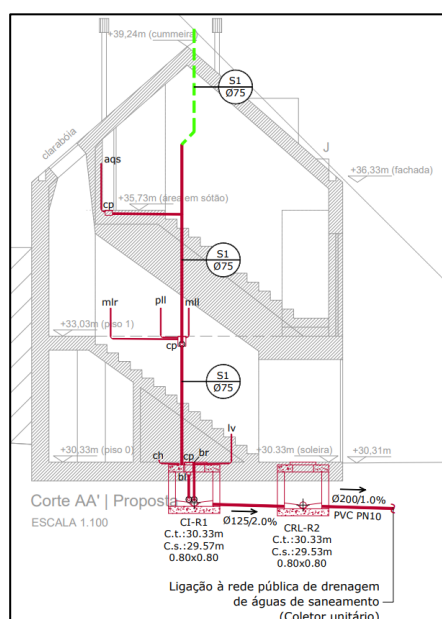


Fig. 3.13 – Corte transversal com o traçado da rede (a habitação A tem traçado semelhante)

A rede de drenagem de águas residuais domésticas inicia-se, em ambas as habitações, na recolha dos depósitos de água quente sanitária, localizados no piso do aproveitamento da cobertura, que, quando necessário, isto é, quando a pressão que se instala na zona de entrada da água fria na rede é maior do que a pressão máxima estabelecida, a válvula de segurança programada para essa situação abre, conduzindo a água pela rede de drenagem de águas residuais. A água fria pertencente ao depósito AQS, quando é expedida para a rede de saneamento é conduzida através de ramais de descarga até às caixas de passagem, seguindo prontamente através de ramais de descarga coletivos até aos tubos de queda que fazem a ligação do efluente dos vários pisos ao nível térreo onde esta termina na câmara de inspeção de cada habitação, designadas por CI-R1 na habitação B e CI-R3 na habitação A.

A ligação em todos os pisos é feita da mesma maneira, isto é, as águas de sabão passam pelas caixas de passagem antes de chegarem aos tubos de queda e as águas negras, provenientes da bacia de retrete, seguem diretamente para a caixa de inspeção uma vez que apenas estão localizadas no nível térreo.

Os tubos de queda para águas de sabão instalados em ambas as habitações para recolha do efluente do piso 1 e do sótão, encontram-se dotados de ventilação, conseguida através do prolongamento dos tubos de queda até à cobertura, com remates devidamente protegidos para evitar a entrada de resíduos e/ou animais na rede.

No piso 0, os ramais das caixas de pavimento e das bacias de retrete, assim como o efluente proveniente dos tubos de queda seguem para a câmara de inspeção da rede de coletores prediais.

As câmaras de inspeção das respetivas habitações encaminharão os efluentes para as caixas ramal de ligação, designadas por CRL-R2 na habitação B e CRL-R4 na habitação A, sendo as caixas ramal de ligação as caixas responsáveis pela ligação do efluente total da habitação à caixa de visita pública existente, tendo a constituição da figura 3.14.

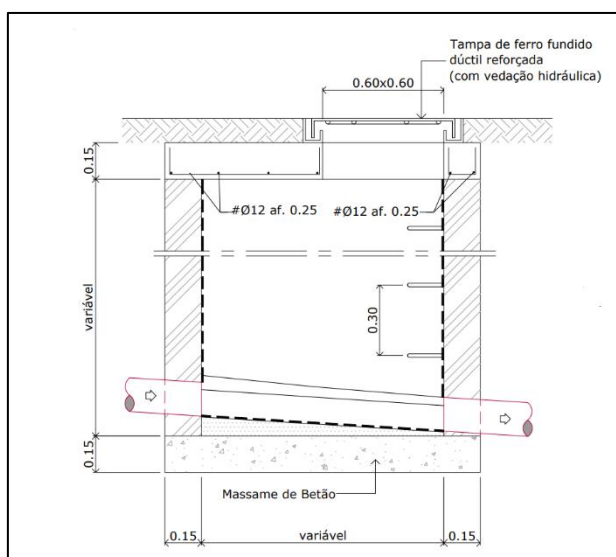


Fig. 3.14 – Corte transversal da caixa ramal de ligação

No anexo A1 estão presentes as plantas de cada piso com o respetivo traçado de rede para melhor compreensão da rede e do seu funcionamento.

3.3.4.3. Drenagem de águas pluviais

A rede de drenagem de águas pluviais é responsável pela função de acumular e encaminhar essencialmente as águas pluviais desde a cobertura de uma habitação até à rede pública, mas também as águas de outros dispositivos conectados à rede previstos.

A esquematização da rede começa com a identificação das zonas a considerar para a drenagem, como coberturas, varandas parcialmente fechadas, piscinas, entre outros, que consoante as suas características, formato e localização, influenciam o posicionamento dos diversos elementos de escoamento da rede de drenagem.

Para o dimensionamento de redes de drenagem de águas pluviais é preciso ter em conta a esquematização da rede, mas também a localização do edifício uma vez que o caudal considerado no cálculo é definido por parâmetros como: região pluviométrica (A, B ou C), pela duração de precipitação, t , pelo período de retorno, T , por coeficientes de escoamento e áreas de drenagem a considerar.

Os valores normalmente utilizados para o período de retorno, T , são valores estimados que estão relacionados com a ocorrência de fenómenos naturais, isto é, T o intervalo de recorrência médio entre eventos que igualam ou excedem uma determinada magnitude.

As áreas a considerar no cálculo do caudal são as áreas de contacto com a precipitação, isto é, as áreas por onde a água passa antes de ser escoada pela rede.

O dimensionamento da rede inclui o dimensionamento de algerozes e/ou caleiras, dos orifícios de descarga de algerozes, dos ramais de descarga, dos tubos de queda, dos coletores prediais e ainda o dimensionamento do ramal de ligação.

O projeto de drenagem das águas pluviais do “projeto base” prevê uma drenagem independente das duas casas.

As águas do “projeto base” consideradas para drenagem são as águas provenientes da precipitação que resvalam pela cobertura. Estas águas serão drenadas da cobertura pelo interior da habitação por questões devidas à falta de condições suficientes para o fazer pelo exterior da habitação.

Cada habitação terá dois pontos de drenagem para a rede na cobertura, marcados pelos tubos de queda, totalizando 4 tubos de queda e 3 caleiras na cobertura, com todas as caleiras de iguais características e que acompanham as 3 águas do telhado.

Todas as caleiras terão dois sentidos de escoamento opostos onde a posição da separação do sentido de escoamento é, no caso das caleiras paralelas, na separação das habitações. Na caleira perpendicular às outras duas caleiras aludidas a separação do sentido do escoamento é efetuada ao centro.

O escoamento das águas nas caleiras dá-se com início no ponto mais elevado das caleiras e segue com uma inclinação de cerca de 1% até ao ponto mais baixo, onde se localizam os tubos de queda que encaminham as águas da cobertura até ao nível térreo, ver figura 3.15.

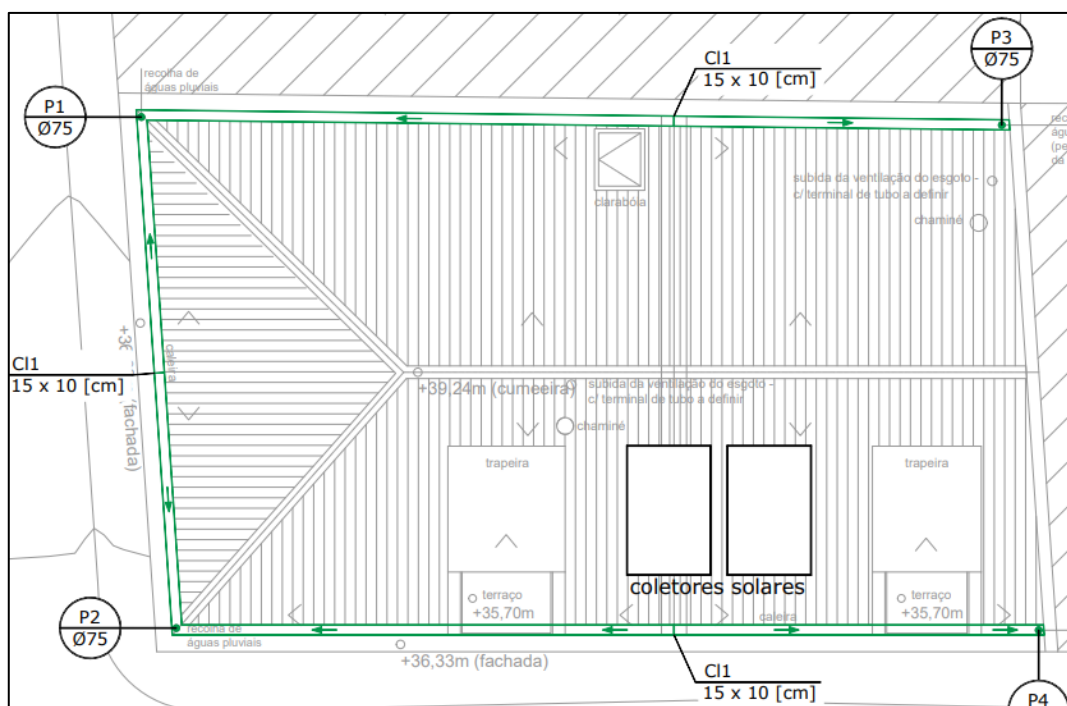


Fig. 3.15 – Planta da cobertura

Todos os tubos de queda são dotados de ralos de pinha, que impedem a entrada de vegetação e/ou animais na rede, e que estão localizados no extremo superior dos tubos de queda.

Os tubos de queda, após efetuarem a ligação da cobertura até ao nível térreo, drenam em direção à caixa ramal de ligação, para depois seguirem para o coletor público, projetando-se que fossem instalados embebidos em paredes e/ou localizados em courettes.

Devido ao facto de no arruamento apenas existir um único coletor público de águas residuais domésticas e pluviais, isto é, um coletor unitário, as águas recolhidas nas câmaras de ramal de ligação indicadas anteriormente são encaminhadas para as respetivas câmaras de ramal de ligação das águas residuais domésticas para depois seguirem para o coletor público.

No anexo A1 estão presentes as plantas de cada piso com o respetivo traçado de rede para melhor compreensão da rede e do seu funcionamento.

3.3.5. COMPORTAMENTO TÉRMICO

O projeto que avalia o comportamento térmico do “projeto base” corresponde à análise detalhada dos diversos fatores que conduzem a um desempenho eficiente em termos de aquecimento, arrefecimento e ventilação para garantir a qualidade do ar no seu interior e consequentemente à análise do conforto térmico das habitações em termos de certificado energético.

Para a análise do comportamento térmico é necessário aceder aos dados climáticos da região em que se insere o lote do projeto. Começando pela identificação das zonas climáticas, a nossa edificação localiza-se em alcântara, pertencente ao município de Lisboa e consequentemente à zona “Grande Lisboa” sendo que esta pertença advém do zoneamento climático do país, que é feito através da Nomenclatura das Unidades Territoriais para fins estatísticos de nível 3, NUTS III.

Este sistema de zoneamento, NUTS III, agrupa os municípios de forma conveniente atribuindo-lhes um nome, como por exemplo “Grande Lisboa”, que comporta os municípios de Amadora, Cascais, Lisboa, Loures, Mafra, Odivelas, Oeiras, Sintra, Vila Franca de Xira, e tabela valores a usar no cálculo dos fatores que permitem avaliar o conforto térmico.

Através do zoneamento climático e da sua elevação, que no caso são 29 m, é possível obter a zona climática para este projeto sendo ela, no caso da zona climática de verão, V3, com uma temperatura média exterior de 22,5°C, e no caso da zona climática de inverno, I1, com um número de graus-dias de 935°C.dias.

Com a elevação e com a respetiva nomenclatura do NUTS III da habitação em estudo foi possível o uso de tabelas do decreto-lei 118/2013 (despacho 15793-F/2013), com valores a usar para o cálculo dos parâmetros necessários para a análise do comportamento térmico, sendo eles, o valor de graus-dias de aquecimento, a duração da estação de aquecimento, a energia solar incidente na estação de aquecimento, a intensidade da radiação solar para a estação de arrefecimento e a temperatura média mensal do ar para a estação de arrefecimento.

Para além dos valores tabelados, que são usados juntamente com a elevação para obter os parâmetros supracitados, é preciso também proceder ao cálculo de outros valores que dependem da habitação, como os coeficientes de transmissão térmica para cada elemento, U , bem como as áreas correspondentes, os coeficientes de transmissão térmica linear, ψ , os coeficientes de redução de perdas, b_{tr} , o fator solar dos vãos envidraçados e a inércia térmica, I_t .

Todos estes indicadores mencionados até então são a base para a avaliação do comportamento térmico que é feita através de 3 condições abaixo definidas, provenientes do REH, o Regulamento de desempenho energético dos Edifícios.

Todo o diagnóstico assenta na confirmação de que as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, N_{ic} , e para arrefecimento, N_{vc} , e que as necessidades nominais anuais globais de energia primária, N_{tc} , são inferiores ao limite máximo das necessidades nominais de energia útil para aquecimento, N_i , e para arrefecimento, N_v , e ao limite das necessidades nominais anuais globais de energia primária, N_t , respetivamente, que se traduz no seguinte:

$$\begin{aligned} N_{ic} &\leq N_i \\ N_{vc} &\leq N_v \\ N_{tc} &\leq N_t \end{aligned} \quad (3.2.)$$

O cálculo das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, N_{ic} , é calculado através da transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento, da transferência de calor através da renovação do ar na estação de aquecimento e dos ganhos totais, bem como através da área útil de pavimento. O cálculo do limite das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento é calculado através dos mesmos fatores, porém recorrendo a valores de referência dos parâmetros base do cálculo.

O cálculo das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento, N_{vc} , é calculado através do fator de utilização dos ganhos η_v , dos ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento e também através da área útil de pavimento. O cálculo do limite das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento é calculado através dos mesmos fatores, porém recorrendo a valores de referência dos parâmetros base do cálculo.

As necessidades nominais anuais globais de energia primária, N_{tc} , correspondem à soma da energia primária para aquecimento, para arrefecimento e para a preparação de AQS, subtraindo a energia primária de sistemas com recurso a energia renovável e a energia primária proveniente de sistemas com

recurso a energia renovável. O cálculo do limite das necessidades nominais anuais globais de energia primária é calculado através da soma da energia primária para aquecimento, para arrefecimento e para a preparação de AQS, calculados com valores de referência dos parâmetros base do cálculo.

Após o cálculo do N_{ic} , N_i , N_{vc} , N_v , N_{tc} , N_t , procede-se à análise e confirma-se se as habitações propostas no “projeto base” cumprem as exigências estabelecidas no REH.

O comportamento térmico do “projeto base” ficou dentro do regulamentar, tendo-se obtido, para a habitação A, um N_{ic} de 19,81 kWh/m².ano inferior ao N_i de 33,82 kWh/m².ano, um N_{vc} de 9,68 kWh/m².ano inferior ao N_v de 15,23 kWh/m².ano e um N_{tc} de 68,44 kWh_{EP}/m².ano inferior ao N_t de 146,87 kWh_{EP}/m².ano, garantindo-se o conforto térmico da habitação A do projeto em questão.

O comportamento térmico da habitação B do “projeto base” também ficou dentro do regulamentar, tendo-se obtido um N_{ic} de 21,42 kWh/m².ano inferior ao N_i de 34,23 kWh/m².ano, um N_{vc} de 13,29 kWh/m².ano inferior ao N_v de 15,23 kWh/m².ano e um N_{tc} de 81,69 kWh_{EP}/m².ano inferior ao N_t de 150,83 kWh_{EP}/m².ano, garantindo-se o conforto térmico da habitação B do projeto em questão.

A classe energética das habitações é obtida através do quociente entre as necessidades nominais anuais globais de energia primária, N_{tc} , e o limite das necessidades nominais anuais globais de energia primária, N_t , tendo em conta o disposto no quadro 3.2.

Quadro 3.2 – Classificação do desempenho energético

Classe Energética	$R = N_{tc}/N_t$	Edifícios Novos Edifícios Existentes
A ⁺	$R \leq 0,25$	
A	$0,25 < R \leq 0,50$	
B	$0,50 < R \leq 0,75$	
B ⁻	$0,75 < R \leq 1,00$	
C	$1,00 < R \leq 1,50$	
D	$1,50 < R \leq 2,00$	
E	$2,00 < R \leq 2,50$	
F	$2,50 < R \leq 3,00$	
G	$R > 3,00$	

A classe energética da habitação A é “A” com um R de 0,47 e a classe energética da habitação B é um “B⁻” com um R de 0,54.

Para o cálculo dos parâmetros acima é necessário também o cálculo da inércia térmica, que se obtém, para cada elemento, através da área útil do elemento, da área de superfície do elemento, da massa superficial útil e do fator de correção do revestimento superficial. O produto destes valores permitem a obtenção da inércia térmica, que se classifica consoante o quadro 3.3.

Quadro 3.3 – Classes de inércia

Classe de Inércia	It (kg/m ²)
Fraca	It < 150
Média	150 ≤ It ≤ 400
Forte	It > 400

Para a habitação A obteve-se uma inércia térmica média com $It=355,75 \text{ kg/m}^2$ e para a habitação B obteve-se uma inércia térmica média com $It=309,37 \text{ kg/m}^2$.

3.3.6. COMPORTAMENTO ACÚSTICO

O comportamento acústico do “projeto base” é o estudo que é elaborado para a verificação da existência de conforto acústico para o tipo de edificação em questão, bem como, para o tipo de uso e atividade.

A análise do comportamento acústico é efetuada através do RGR, Regulamento Geral do Ruído, e também através do RRAE, Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios.

O “projeto base” prevê duas habitações bifamiliares, adjacentes, ambas com 3 pisos. O lote do “projeto base” é um lote de gaveto resultando, no caso da habitação A, num edifício com 3 edifícios adjacentes, e no caso da habitação B, num edifício com 2 edifícios adjacentes.

Para se analisar como funciona a habitação em termos acústicos é necessário começar pela definição dos limites convenientes entre habitação-envolvente e pela identificação dos compartimentos com requisitos acústicos, como quartos e salas. Para o estudo do comportamento acústico foram identificados três compartimentos por habitação, um por cada piso.

A localização do edifício é considerada uma zona mista e para cada limite é analisado o valor dos índices que constam no RRAE, sendo eles os índices de isolamento sonoro a sons aéreos, $D_{2m,nT,w}$ e $D_{nT,w}$, e a sons de percussão, $L'_{nT,w}$, isto é, a verificação do isolamento sonoro a sons de condução aérea da envolvente exterior e entre frações.

O estudo do conforto acústico do “projeto base” foi elaborado tendo como base os elementos condicionantes previstos no RRAE em termos de desempenho acústico, isto é, as paredes exteriores que sejam um limite entre compartimentos e envolvente exterior. Os compartimentos em análise são 3 de cada habitação, totalizando 6 verificações, todas elas com valores superiores ao mínimo estabelecido de 33 dB, pelo que verificam o conforto acústico, ver quadro 3.4.

Quadro 3.4 – Valores do isolamento acústico de paredes exteriores das habitações A e B

Descrição	$D_{2m,nT,w}$
Habitação A: Quarto piso 0	37,3
Habitação A: Sala de estar + kitchenette piso 1	36,7
Habitação A: Sala Sótão	35,3
Habitação B: Quarto piso 0	35,7
Habitação B: Sala de estar + kitchenette piso 1	35,4
Habitação B: Quarto sótão	35,0

Para além das paredes exteriores, foi também analisado a parede de separação entre os 2 fogos em questão, no sótão, por contacto direto com o cómodo, já que estamos perante a situação de o emissor ser um compartimento de um fogo e o recetor um quarto ou zona de estar de outro fogo, tendo-se obtido valores superiores aos regulamentares, ou seja, superior a 50 dB, ver quadro 3.5.

Quadro 3.5 – Isolamento acústico entre habitações ao nível do sótão

Descrição	$D_{nT,w}$
Habitação A: Sala sótão	58,4
Habitação B: Quarto sótão	58,1

As paredes de separação deste lote de gaveto com os outros dois fogos existentes não foi analisada pois ficam garantidos os requisitos, devido à existência de duas paredes independentes.

As restantes situações previstas no RRAE para o cálculo e verificação do índice de isolamento sonoro a sons aéreos não se aplicam neste edifício em estudo.

Para os sons de percussão não foi necessária a verificação do índice de redução sonora a sons de percussão para os compartimentos, uma vez que os quartos ou zonas de estar dos fogos, isto é, os recetores, não recebem sons de percussão emitidos por pavimentos de outros fogos, locais de circulação comum ou ainda por emissores de comércio, indústria, serviços ou diversão.

As restantes situações previstas no RRAE para o cálculo e verificação do índice de isolamento sonoro a sons de percussão não se aplicam neste edifício em estudo.

As habitações, A e B, cumprem os valores regulamentares ao nível de conforto acústico pelo que se pode afirmar que o conforto acústico é garantido.

No anexo A1 estão presentes as plantas de auxílio à avaliação acústica do edifício em questão.

3.3.7. SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS

O projeto de segurança contra incêndios é um dos projetos necessários para a construção de um edifício pois devido a regras e normas estabelecidas é possível minimizar e evitar determinados danos consequentes de um incêndio.

A verificação da existência da segurança contra incêndios baseia-se na regulamentação do Regime Jurídico do SCIE (RJ-SCIE) e no regulamento técnico de SCIE (portaria número 1532/2008).

Para a avaliação da segurança contra incêndios no edifício é necessário caracterizar o edifício e a sua utilização-tipo, que, neste caso, por ter um uso habitacional, corresponde a uma utilização do tipo I, UT I, com uma altura da utilização-tipo de 5,42 m, correspondente a 3 pisos (pisos 0, 1 e sótão), com uma área bruta total de 159,59 m².

O edifício possuiu 2 frações com 3 pisos acima do solo e 0 pisos abaixo do solo, cada uma com umas escadas, sendo um edifício habitacional multifamiliar.

As condições exteriores ao edifício têm de ter condições mínimas necessárias, pelo que os requisitos estabelecidos na regulamentação supracitada têm de ser garantidos. A altura útil é superior a 4 m e a inclinação é inferior a 15% pelo que estes dois requisitos cumprem as exigências regulamentares.

A largura útil mínima estabelecida é de 3,5 m, porém este requisito é o único que não está em conformidade, dispondo uma largura útil de 2,83 m cuja situação não pode ser contornada, pois para tal teria de haver uma intervenção na rede viária existente. Esta situação de incumprimento tem de ser justificada pelo técnico subscritor do projeto, sendo passível de aprovação por se tratar de uma obra de reabilitação numa zona urbana “consolidada”.

A resistência ao fogo dos elementos de construção foi analisada ao nível do isolamento e da proteção dos elementos estruturais com as seguintes resistências: Os elementos estruturais apenas com função de suporte de cargas possuem uma resistência ao fogo R30 e os elementos estruturais com função de suporte e de compartimentação, possuem resistência ao fogo REI30.

A resistência ao fogo das paredes de empena é EI60 e da cobertura é de REI60.

A resistência ao fogo é obtida através de uma classe que contém duas informações: o cenário de fogo em que o elemento se encontra, e o tempo, em minutos, que esse elemento resiste a esse cenário de fogo. A classe R corresponde ao cenário de capacidade de suporte de carga, a classe E corresponde à estanquidade a chamas e gases inflamáveis e a classe I ao isolamento térmico, ver figura 3.16.

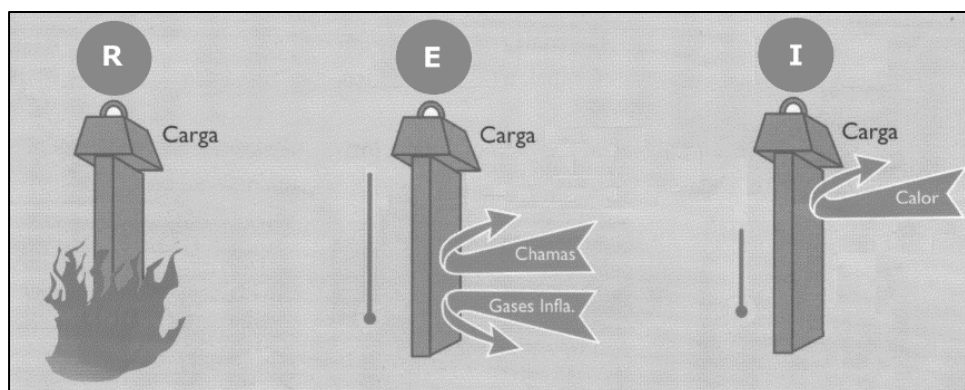


Fig. 3.16 – Classes de resistência [27]

Todos os outros aspetos da análise da segurança contra incêndios cumprem os artigos e disposições regulamentares do RJ-SCIE.

3.3.8. GÁS

O projeto de gás do “projeto base” tem como objetivo definir o traçado, dimensionar, caracterizar e definir as condições técnicas de montagem da instalação do gás.

O “projeto base” dispõe, em cada habitação, de uma cozinha com fogão, cujo equipamento será o único a considerar como aparelho de queima, com uma potência nominal de 9kW e um caudal de 0.85 m³/h em ambas, recorrendo-se a gás natural.

A instalação de gás de cada habitação inicia-se na sua respetiva caixa de corte geral, CCG, localizada na fachada do edifício. Da CCG segue um tubo de cobre revestido embebido no pavimento até ao ponto de elevação da tubagem, onde este sobe até ao piso 1, embebido na parede. Neste piso, o tubo mantém-se embebido no pavimento, subindo depois verticalmente no ponto de alimentação do fogão.

O projeto prevê que a saída, isto é, a exaustão dos fogões, se dê através de exaustores mecânicos com extensão até à cobertura do edifício.

A perspetiva isométrica da instalação da habitação A e B encontra-se na figura 3.17.

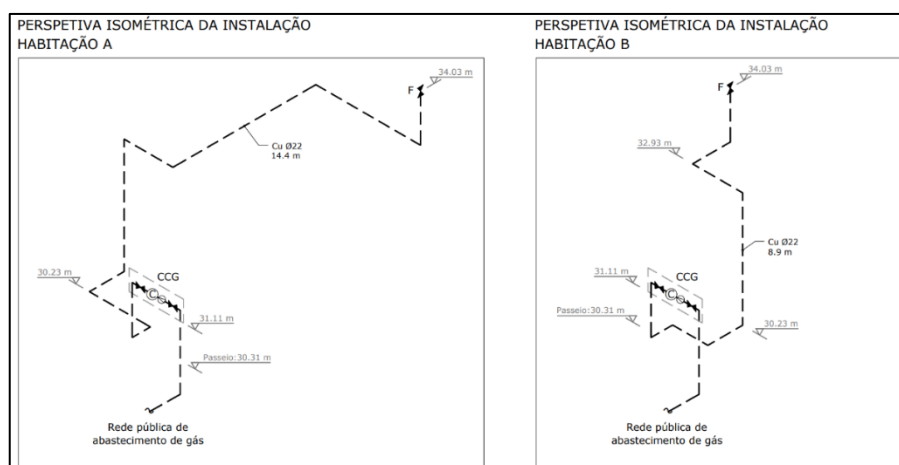


Fig. 3.17 – Perspetiva isométrica da habitação A e B

O dimensionamento da rede é feito através da aplicação das fórmulas de Renouard simplificadas para baixa pressão, onde se verifica que a perda de carga máxima admitida de 1,5 mbar não é excedida uma vez que na habitação A, a perda de carga total foi de 0,03 mbar e na habitação B de 0,07mbar. A velocidade máxima de escoamento nas tubagens é de 10 m/s a qual não é superada já que se prevê uma velocidade máxima de 0,73 m/s na habitação A e B. A pressão de ambas as habitações será superior à baixa pressão de 21 mbar, isto é, à pressão de utilização, com 21,027 mbar no caso da habitação A e de 21,067 mbar no caso da habitação B.

No anexo A1 estão presentes as plantas de cada piso com o respetivo traçado de rede para melhor compreensão da rede e do seu funcionamento.

3.3.9. RESTANTES

Os restantes projetos de especialidades, isto é, o projeto de instalações mecânicas, o projeto da alimentação e distribuição elétrica e o projeto da instalação das infraestruturas de telecomunicações, não são alvo de estudo por parte da autora. No entanto estes projetos fazem parte dos projetos de especialidades correspondentes ao “projeto base” e são obviamente importantes para a realização da

obra, verificando-se que, a menos de impactos nas travessias de elementos estruturais, não existem grandes diferenças entre o “projeto base” e o “projeto variante”.

3.4. SÍNTESE DO CAPÍTULO

Neste capítulo apresentam-se os diversos projetos do “projeto base” de modo a servir de base de comparação com os valores correspondentes do “projeto variante”.

No **projeto de arquitetura** é de notar as áreas estabelecidas para os compartimentos, ver quadro 3.6

Quadro 3.6 – Áreas úteis dos vários compartimentos da habitação A e B

Habitação A			Habitação B		
Piso	Compartimento	Área (m ²)	Piso	Compartimento	Área (m ²)
0	Hall de entrada	1,50	0	Hall de entrada	4,74
	Quarto	11,81		Quarto	17,09
	Instalação Sanitária	4,21		Instalação Sanitária	4,57
	Arrumo	1,96		Closet	5,74
1	Sala de estar e kitchenette	17,59	1	Sala de estar e kitchenette	31,14
	Escadas	4,98		Escadas	4,99
Sótão	Sala	5,08	Sótão	Quarto	4,71

Não se determinam valores relevantes no **projeto de abastecimento de águas**, no **projeto de águas residuais** nem no **projeto de águas pluviais** para futura comparação com os projetos variantes.

Apresentam-se no quadro 3.7 os valores interessantes para o **projeto de avaliação do conforto térmico**, sendo eles os valores das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento, bem como as necessidades nominais anuais globais de energia primária e a sua classe energética.

Quadro 3.7 – Valores da avaliação do comportamento térmico do “projeto base”

Parâmetro	Habitação A	Habitação B
N_{ic} (kWh/m ² .ano)	19,38	21,42
N_i (kWh/m ² .ano)	33,82	34,23
N_{vc} (kWh/m ² .ano)	9,68	13,29
N_v (kWh/m ² .ano)	15,23	15,23
N_t (kWh/m ² .ano)	68,44	81,69
N_{tc} (kWh/m ² .ano)	146,87	150,83
$R = N_v / N_{tc}$	0,47	0,54
Classe Energética	A ⁺	B ⁻
I_t (kg/m ³)	355,75	309,37

Através do índice de isolamento sonoro a sons aéreos e do índice de isolamento sonoro a sons de percussão, **o projeto de avaliação do conforto acústico** apresenta como os valores mais pertinentes os dispostos no quadro 3.8.

Quadro 3.8 – Valores da avaliação do comportamento acústico do “projeto base”

Descrição	$D_{2m,nT,w}$	$D_{nT,w}$
Habitação A: Quarto piso 0	37,3	-
Habitação A: Sala de estar + kitchenette piso 1	36,7	-
Habitação A: Sala Sótão	35,3	58,4
Habitação B: Quarto piso 0	35,7	-
Habitação B: Sala de estar + kitchenette piso 1	35,4	-
Habitação B: Quarto sótão	35,0	58,1

No **projeto de segurança contra incêndios** os valores mais pertinentes a reter são os valores obtidos através da resistência ao fogo, sintetizados no quadro 3.9.

Quadro 3.9 – Classes de resistência ao fogo

Descrição	Classe de resistência
Elementos estruturais apenas com função suporte de cargas	R30
Elementos estruturais com função suporte e de compartimentação	REI30
Paredes de empena	EI60
Cobertura	REI60

No **projeto de abastecimento de gás** não se determinam valores relevantes para futura comparação.

Este tipo de construção, estrutura de betão armado, permite realizar as redes de infraestruturas sem grandes limitações em termos de traçado, já que muitas das redes podem ser embebidas sem prejudicar o desempenho estrutural e estético das paredes e da estrutura. Este é um ponto relevante de comparação com o “projeto variante”, ver capítulo 4.

4

PROJETO VARIANTE: ARQUITETURA E ESPECIALIDADES

4.1. INTRODUÇÃO

O corrente capítulo recai sobre o projeto de arquitetura e sobre os projetos de especialidades do “projeto variante”.

O “projeto variante” é o termo atribuído ao projeto abordado neste capítulo, uma vez que é um projeto que se refere a uma proposta de alteração do projeto original, denominado “projeto base”, que, como o próprio nome indica, representa a base do “projeto variante” e que foi apresentado no capítulo anterior, capítulo 3.

A alteração fundamental proposta sobre o “projeto base” ocorreu ao nível do material estrutural, passando este a ter estrutura em madeira, mais precisamente uma estrutura de painéis CLT, enquanto anteriormente a estrutura era em betão armado, bem como ao nível das consequências resultantes desta alteração.

Este capítulo estende-se sobre o projeto de arquitetura do “projeto variante” e com o que ele se relaciona, tendo sido enumerados alguns dados relevantes ao estudo, quer para comparação posterior com o “projeto base”, quer para servir de apoio aos projetos de especialidades.

Os projetos de especialidades do “projeto variante” também são alvo de estudo neste capítulo a fim de se confirmar a segurança, o conforto e a eficiência deste projeto.

Neste capítulo calculam-se e estruturam-se alguns dados numéricos a ser usados para a posterior comparação entre “projeto base” e “projeto variante”, bem como pela explicação da metodologia do dimensionamento, que cada projeto de especialidade carece.

4.2. PROJETO DE ARQUITETURA

4.2.1. INTRODUÇÃO

O projeto de arquitetura do “projeto variante” contrasta com o projeto de arquitetura do “projeto base”, uma vez que a estrutura sofreu uma grande alteração a nível estrutural, com a mudança de material.

O projeto passou de uma estrutura em betão armado (“projeto base”) para uma estrutura em painéis de Cross Laminated Timber, CLT (“projeto variante”).

Para o “projeto variante” é necessário ter em conta os aspetos mencionados no capítulo 3, mais especificamente no 3.2 e no 3.3, onde se contextualizou o panorama geral do lote em estudo, isto é, o enquadramento urbanístico do lote e as suas condições atuais, uma vez que o lote continha uma habitação existente a demolir, por motivos mencionados nessa mesma contextualização.

4.2.2. EDIFÍCIO PROPOSTO

A proposta inicial de construção de duas frações independentes manteve-se, com a mesma designação, isto é, habitação A e Habitação B, bem como a mesma configuração, ou seja, será um edifício em banda, formado por uma habitação com 2 frentes e outra com uma frente.

A cota de soleira será praticamente a mesma, sendo elevada apenas mais 2 milímetros face à cota de soleira do “projeto base”, e o aumento de volumetria previsto para o “projeto base” mantém-se, com 3 pisos de 2,40 metros de pé-direito, bem como o aspeto da fachada, ver figura 4.1.



Fig. 4.1 – Alçado frontal e lateral das habitações A e B

A nível espacial, a separação das habitações e os compartimentos mantiveram-se, com um ligeiro ganho de área útil, resultante da redução da espessura das paredes. O quadro 4.1 sintetiza as áreas dos vários compartimentos projetados no “projeto variante”.

Quadro 4.1 – Áreas úteis dos vários compartimentos da habitação A e B

Habitação A			Habitação B		
Piso	Compartimento	Área (m ²)	Piso	Compartimento	Área (m ²)
0	Hall de entrada	1,66	0	Hall de entrada	4,21
	Quarto	11,98		Quarto	16,94
	Instalação Sanitária	4,58		Instalação Sanitária	4,64
	Arrumo	4,30		Closet	5,18
1	Sala de estar e kitchenette	15,20	1	Sala de estar e kitchenette	27,21
	Escadas	5,05		Escadas	5,15
Sótão	Sala	10,60	Sótão	Quarto	12,57

Nos pisos 0 e 1 da habitação A, os compartimentos mantiveram-se, enquanto no sótão foi adicionada uma instalação sanitária. Na habitação B, todos os pisos mantiveram a sua configuração inicial, continuando o sótão a ter a configuração de um mezanino.

A habitação A totaliza uma área útil de 53,37 m² e a habitação B uma área útil de 75,9 m².

Os princípios arquitetónicos utilizados para este “projeto variante” são os mesmos referidos no capítulo 3.2, correspondente ao “projeto base”, uma vez que a alteração efetuada ocorreu quase que exclusivamente ao nível da estrutura e logo apenas determinou consequências ao nível da pormenorização de arquitetura e também nos projetos de especialidades.

4.2.3. PORMENORES CONSTRUTIVOS

A solução construtiva do “projeto variante”, como antes referido, é uma solução de madeira com estrutura em painéis de Cross Laminated Timber, CLT, à exceção da laje do nível térreo, que será em betão armado, devido à fragilidade que a madeira apresenta face à humidade.

Na figura 4.2 é possível observar um corte de fachada ao nível da cobertura, entre os pisos e ao nível térreo.

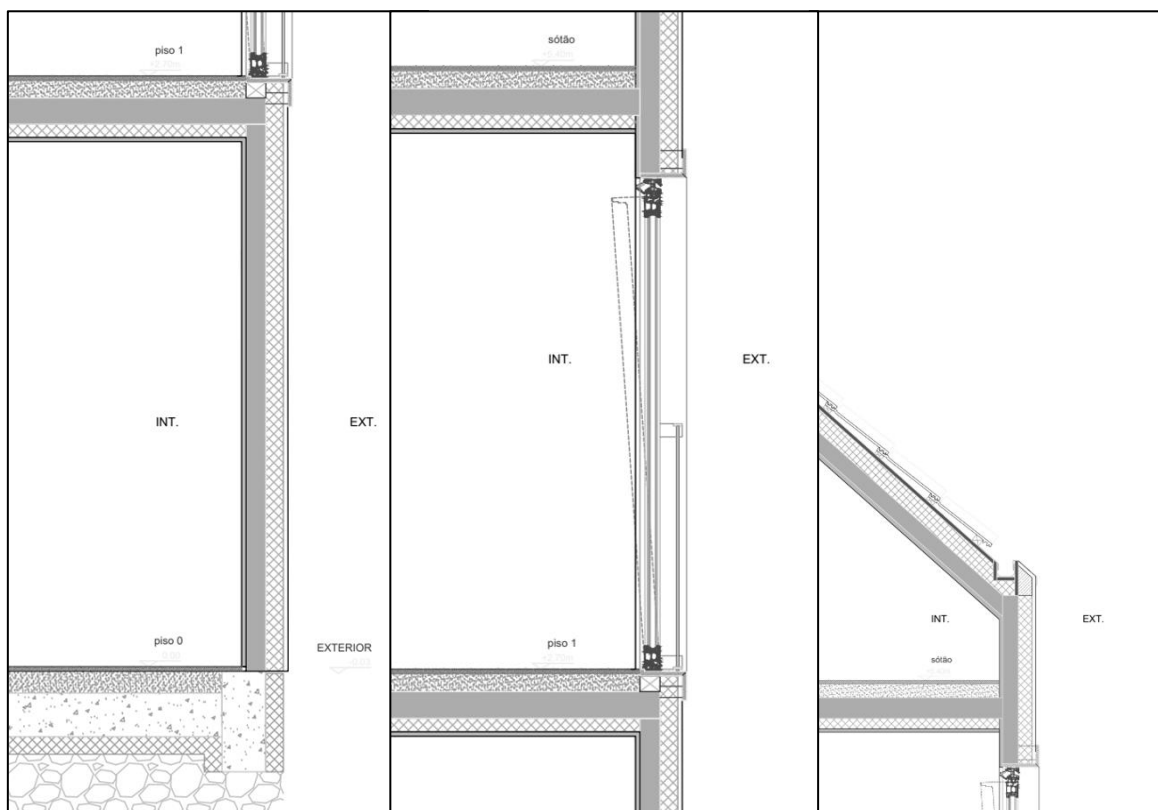


Fig. 4.2 – Corte de fachada no “projeto variante”

As habitações A e B possuem os mesmos materiais nos seus elementos construtivos.

O exterior das habitações, composto pelas fachadas frente e lateral, possui as paredes exteriores compostas, do interior para o exterior, por gesso cartonado, CLT, poliestireno extrudido (xps) e reboco armado (solução tipo ETICS pelo exterior).

O material estrutural, ou seja, os painéis CLT, devido às suas características de resistência, permitem que a função dos pilares seja assumida pelas paredes em CLT, que são paredes resistentes, que distribuem os esforços.

A cobertura é composta, do interior para o exterior, por placas de gesso cartonado, CLT, poliestireno extrudido (xps), painel de lamelas longas orientadas (osb) e material cerâmico (como tijolos, blocos, telhas e ladrilhos).

As trapeiras da cobertura são concebidas do interior para o exterior por placas de gesso cartonado, CLT, argamassas e rebocos tradicionais, poliestireno extrudido (xps) e revestimento.

Os vãos envidraçados são vãos envidraçados simples verticais de vidro duplo com baixa emissividade com caixilharia em alumínio e com proteção solar interior através de cortina transparente de cor clara.

O pavimento térreo é constituído, do interior para o solo, por revestimento, argamassas e rebocos tradicionais, betão armado, poliestireno extrudido (xps) e por areia, gravilha, seixo e brita.

As paredes interiores dos desvãos das escadas da habitação B são compostas, do interior para o espaço não útil, por placas de gesso cartonado, CLT, e lâ de rocha.

A parede de separação dos dois fogos são compostas, da habitação B para a habitação A, por placas de gesso cartonado, CLT, poliestireno extrudido (xps), CLT e placas de gesso cartonado.

As paredes que são adjacentes aos outros edifícios, na parte exposta, são compostas do interior para o espaço não útil, por placas de gesso cartonado, CLT, poliestireno extrudido (xps) e reboco armado.

As escadas de acesso entre pisos são compostas, do interior para o espaço não útil, por madeira muito densa, CLT, lâ de rocha e placas de gesso cartonado.

A caixilharia tem a composição conforme a figura 3.8, isto é, igual à projetada no “projeto base”.

4.3. PROJETO DE ESPECIALIDADES

4.3.1. INTRODUÇÃO

Os projetos de especialidades são concebidos a partir do projeto de arquitetura, pelo que o material dos elementos estruturais tem sempre influência, quer na disposição das diferentes redes das infraestruturas, quer no desempenho dos edifícios a projetar.

O “projeto variante” face ao “projeto base” tem uma estrutura diferente, quer a nível material quer a nível de comportamento, e como tal são necessários novos projetos de especialidades.

Neste capítulo abordam-se os projetos de hidráulica, ou seja, os projetos de abastecimento de águas e os projetos de águas residuais e pluviais, os projetos do comportamento térmico e acústico, o projeto de segurança contra incêndios e ainda o projeto de Gás.

Os objetivos desta tese são a comparação de edifícios de construção tradicional, ou seja, em estrutura de betão armado, com edifícios em CLT, e também o dimensionamento de edifícios em CLT, pelo que ao longo deste capítulo é explicado a metodologia a adotar no projeto de especialidades de um edifício em CLT.

A leitura da explicação do dimensionamento das várias especialidades é apoiada em desenhos e cálculos apresentados nos anexos A1 e A2, pelo que no capítulo apenas se abordam os parâmetros, cálculos e outros considerados mais importantes e representativos.

4.3.2. PROJETO DE ESTRUTURAS

O projeto de estruturas é um projeto moroso e complexo devido ao facto de ser o projeto que concebe e viabiliza a estrutura do edifício, com uma seleção de materiais adequada, analisando detalhadamente as cargas que nela atuam e determinando as dimensões e configurações dos elementos estruturais a fim de garantir a segurança e estabilidade do edifício.

Para o dimensionamento do projeto de estruturas é necessário começar com o pré-dimensionamento que permite obter a configuração preliminar da estrutura, servindo de ponto de partida para a obtenção da configuração final.

O processo acima supracitado, para edifícios em CLT, inicia-se com a escolha do tipo de painel a utilizar, sendo este painel uma primeira iteração do cálculo podendo ser insuficiente e ter de se escolher um painel de maiores dimensões. Para o “projeto variante” os painéis verticais escolhidos foram os painéis KLH 3s 90 TT (90 mm) e os painéis horizontais foram os painéis KLH 3s 120 TL (120 mm).

Para além da escolha do painel, é necessário também avaliar o tipo de cargas que a estrutura vai suportar, quer ao nível das cargas permanentes, como por exemplo, o peso próprio, quer ao nível das cargas variáveis, como por exemplo, a sobrecarga e o vento.

Esta fase de pré dimensionamento funciona como uma “primeira interação” que permite ter uma noção da configuração necessária para o edifício, servindo de base para a obtenção da configuração final.

Após o pré-dimensionamento, desenvolve-se um modelo estrutural de 3 dimensões recorrendo ao ROBOT Structural Analysis PRO, ou recorrendo a outro software de cálculo estrutural, inserindo todos os elementos estruturais e tendo em conta as cargas a suportar.

Definido o modelo estrutural, inicia-se a fase do dimensionamento dos elementos estruturais aplicando a regulamentação do eurocódigo 5 tendo em conta as propriedades dos materiais em questão, neste caso, o CLT.

Depois do dimensionamento estar concluído podemos definir a configuração final da estrutura do edifício, especificando as suas medidas finais. Com estes valores finais das dimensões dos elementos analisa-se a estabilidade estrutural, efetuando-se as verificações de segurança necessárias dispostas no capítulo 2.

O “projeto variante” de estruturas de madeira foi desenvolvido pela TISEM, tendo a autora acesso à esquematização da configuração dos painéis. Dado que a atual versão do EC5, parte 1.1, não define regras de verificação da estabilidade para estruturas em CLT, os cálculos foram efetuados com formulário e software desenvolvido pela KLH e TISEM.

Ver anexo A2.

4.3.3. HIDRÁULICA

4.3.3.1. Abastecimento de águas

O projeto de abastecimento de águas numa habitação com estrutura de CLT carece de cuidado e precisão uma vez que os painéis CLT são cortados com precisão, como referido no capítulo 2, pelo que a localização das tubagens nos projetos tem de ser a exata, já que será esta a informação divulgada para as aberturas nos painéis.

O projeto de dimensionamento de uma rede de abastecimento de água começa com a definição da localização dos dispositivos de utilização, e de seguida com a criação de troços entre dispositivos

sucessivos, quer para água quente, quer para água fria, criando um caminho eficiente de distribuição de água, sendo que este caminho é o conjunto de troços, ligados entre si.

A cada dispositivo de utilização está associado um caudal instantâneo, ver quadro 4.2, que servirá de base para o dimensionamento da rede, e este dimensionamento será feito individualmente para cada troço, do disposto na figura 4.3.

Quadro 4.2 – Caudais definidos para cada dispositivo de utilização

Dispositivo de utilização	Caudal mínimo (l/s)
Lavatório individual	0,10
Lavatório coletivo (por bica)	0,05
Bidé	0,10
Banheira	0,25
Chuveiro individual	0,15
Pia de despejo (Ø15mm)	0,15
Autoclismo de bacia de retrete	0,10
Mictório com torneira individual	0,15
Pia lava-loiça	0,20
Bebedouro	0,10
Máquina de lavar louça	0,15
Máquina ou tanque de lavar roupa	0,20
Bacia de retrete com fluxómetro	1,50
Mictório com fluxómetro	0,50
Boca de rega (Ø15mm)	0,30
Boca de rega (Ø 20mm)	0,45
Máquinas industriais e outros aparelhos não especificados	Indicações dos fabricantes

Troço	Q_a l/s	Q_c l/s	D_c mm	D_n mm	D_i mm	v m/s	J_{cont} mca/m	J_{loc} mca	L m	Z mca	ΔH mca	H_{jus} mca	H_{mont} mca
A-B	ΣQ_{min}		$\sqrt{\frac{4000 Q_c}{\pi v_{rec}}}$	Fabricante		$\frac{4000 Q_c}{\pi D_i^2}$	$4 b v^{7/4} (10^{-3} D)^{-5/4}$	Esquentad., Contador, ...		Diferença de cota	$1,2 \cdot J_{cont} \cdot L + J_{loc} + Z$	P_{min} ou H_{mont}	$H_{jus} + \Delta H$ e $< P_{máx}$

Fig. 4.3 – Dimensionamento dos troços [28]

O dimensionamento inicia-se com o cálculo do caudal acumulado, Q_a , que é o somatório dos caudais instantâneos, ou seja, o somatório dos caudais mínimos a adotar no dimensionamento, Q_{min} . O caudal de cálculo, Q_c , é calculado através da seguinte expressão, para um nível de conforto médio, sem fluxómetros:

$$Q_a \leq 3,5 \text{ l/s: } Q_c = 0,5469 Q_a^{0,5137} \quad (4.1.)$$

$$25 \geq Q_a > 3,5 \text{ l/s: } Q_c = 0,5226 Q_a^{0,5364} \quad (4.2.)$$

$$500 \geq Q_a > 25 \text{ l/s: } Q_c = 0,2525 Q_a^{0,7587} \quad (4.3.)$$

Obtido o valor do caudal de cálculo, usa-se esse valor para calcular o diâmetro de cálculo, através da equação da continuidade, que permite obter o diâmetro nominal e o diâmetro interno a usar no troço em questão. Para o cálculo do diâmetro de cálculo, é necessário para além do valor do caudal de cálculo, a velocidade recomendada que pode ser entre 0,5 m/s e 2,0 m/s. Admitiu-se 1,0 m/s, valor corrente usado usado no interior das habitações.

Com o valor do diâmetro de cálculo e recorrendo à tabela da imagem 4.4 é possível escolher um diâmetro nominal, através da seleção do diâmetro interno, que tem de ser igual ou superior ao do valor do diâmetro de cálculo.

Tubo de aço galvanizado				
D_n	Desig.	D_e	D_i em mm	
	Pol.	mm	Média	Aligeirada 2
8	1/4	13,5	8,9	9,9
10	3/8	17,2	12,6	13,6
15	1/2	21,3	16,1	17,3
20	3/4	26,9	21,7	22,3
25	1	33,7	27,3	28,5
32	1 1/4	42,4	36,0	37,2
40	1 1/2	48,3	41,9	42,5
50	2	60,3	53,1	54,5
65	2 1/2	76,1	68,9	69,7
80	3	88,9	80,9	82,5
100	4	114,3	105,3	107,1
125	5	139,7	129,7	—
150	6	165,1	155,1	—

Tubo de aço inox		
D_n	$D_{e, med}$	$D_{i, med}$
	mm	mm
10	10	8,8
12	12	10,8
15	15	13,8
18	18	16,6
22	22	20,6
28	28	26,9
35	35	33,0
42	42	39,8
54	54	51,6

Tubo de cobre			
D_n	D_e	D_i	
	mm	mm	
8	8	6,5	6
10	10	8,5	8
12	12	10,5	10
14	14	12,5	12
15	15	13,5	13
16	16	14,5	14
18	18	16,5	16
22	22	20	19,6
28	28	26	25,6
35	35	33	32,6
42	42	40	39,6
54	54	51	51,6

Tubo de PVC10			
D_n	$D_{e, med}$	$D_{i, med}$	
	mm	Classe 1	Classe 1,6
16	16,15	—	13,35
20	20,15	17,35	16,75
25	25,15	22,35	20,95
32	32,15	28,55	26,85
40	40,15	35,95	33,65
50	50,15	44,85	42,15
63	63,15	56,65	53,05
75	75,15	67,35	63,15
90	90,15	80,85	75,85
110	110,2	98,80	92,70
125	125,2	112,40	105,40

Tubo de PEAD		
D_n	$D_{e, med}$	$D_{i, med}$
	mm	mm
20	20,15	15,75
25	25,15	20,05
32	32,15	25,65
40	40,20	32,20
50	50,20	40,30
63	63,30	50,90
75	75,35	60,65
90	90,45	72,95
110	110,5	89,30
125	125,6	101,40

Fig. 4.4 – Tabelas de materiais usados em abastecimento de águas [28]

Depois de escolhido o diâmetro nominal e o correspondente diâmetro interior é possível calcular a velocidade de escoamento, para verificação do cumprimento dos limites recomendados.

Confirmado o diâmetro da tubagem é possível calcular a perda de carga continua através da fórmula de Flamant e estimar as perdas de carga localizadas, considerando 20% da perda de carga contínua e consequentemente, através da equação de Bernoulli, é possível calcular a carga hidráulica, H, nos dois pontos extremos do troço e verificar se a montante o valor é superior ao mínimo, 10 m.c.a, e se a jusante é inferior à carga hidráulica da rede pública.

Para o cálculo do dimensionamento da rede de retorno de água quente sanitária, deve-se considerar uma velocidade inferior a 1 m/s idealmente entre os 0,2 m/s e os 0,5 m/s.

O projeto de águas é igual ao projeto de abastecimento de água do “projeto base”, a menos da instalação sanitária extra.

O dimensionamento do abastecimento de águas não é diretamente afetado pelo tipo de material neste caso, uma vez que o projeto de arquitetura prevê enchimento no piso, pelo que é possível esconder a tubagem. Este dimensionamento poderia afetar a localização da tubagem se o CLT ficasse à vista. O único senão para além do piso é o corte rigoroso, pelo que não pode haver falhas na definição dos traçados das tubagens.

4.3.3.2. Drenagem de águas residuais

O projeto de drenagem de águas residuais, assim como o projeto de abastecimento de águas, necessita de rigor e exatidão no seu dimensionamento e traçado de rede, pois esta informação será necessária numa fase preliminar, aquando da execução dos painéis.

O dimensionamento da rede de drenagem de águas residuais inicia-se com a definição do posicionamento dos aparelhos a incluir na rede, e com a ligação dos vários aparelhos, de forma contínua, a fim de encaminhar os efluentes até ao coletor público.

O dimensionamento do “projeto variante” é dividido no dimensionamento dos ramais de descarga individuais, no dimensionamento dos ramais de descarga coletivos, no dimensionamento dos tubos de queda e no dimensionamento dos coletores prediais e ramal de ligação.

Os ramais de descarga têm diâmetros mínimos, consoante o tipo de aparelho associado aos caudais de descarga de cada aparelho, ver quadro 4.3.

Quadro 4.3 – Caudais de descarga de cada aparelho e diâmetro mínimo

Aparelho	Caudal (l/min)	Diâmetro mínimo (mm)
Bacia de retrete	90	Ø90
Chuveiro	30	Ø50
Lavatório	30	Ø50
Pia lava-loiça	30	Ø50
Máquina de lavar loiça	60	Ø50
Máquina de lavar roupa	60	Ø50

Para os ramais de descarga individuais, o pré-dimensionamento é feito através da fórmula de Manning-Strickler, para a secção cheia da tubagem e com um coeficiente de rugosidade de $120 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (tubagem em PVC), ver expressão 4.4.

$$D = \frac{Q^{3/8}}{0,6459 K^{3/8} i^{3/8}} \quad (4.4.)$$

Nesta expressão, o caudal é Q, o coeficiente de rugosidade é representado pela letra K, e i é a inclinação da tubagem.

O coeficiente está relacionado com o material da tubagem, a inclinação pode ser entre 1 e 4% optando-se geralmente por uma inclinação de 2% e o caudal é o caudal de cálculo, a calcular através da expressão 4.5. abaixo.

$$Q_c = 7.3497 \times Q_a^{0.5352} \quad (4.5.)$$

A variável Q_a , neste contexto, é o caudal associado a cada aparelho, uma vez que para cada ramal de descarga individual está associado apenas um aparelho.

Para o dimensionamento dos ramais de descarga coletivos, o procedimento é semelhante. O caudal de cálculo é obtido pela expressão 4.5, em que neste caso, Q_a é a soma de todos os caudais dos aparelhos

cujo efluente seguirá no ramal coletivo. Para o cálculo do diâmetro, o K e o i mantêm-se, porém, o cálculo é feito para meia secção de tubagem.

Para o ramal de descarga coletivo o diâmetro é calculado pela expressão 4.6.

$$D = \frac{Q^{3/8}}{0,4980 K^{3/8} i^{3/8}} \quad (4.6.)$$

Para o dimensionamento dos tubos de queda, é preciso garantir que eles não são inferiores ao diâmetro dos ramais de descarga, coletivos e individuais, e que têm um diâmetro constante. No caso dos tubos de queda, é necessário ter em conta o tipo de taxa de ocupação a fim de se assegurar a ventilação primária, que é o desejado.

O dimensionamento dos tubos de queda deve começar com o cálculo do caudal de cálculo, expressão 4.5., em que o Q_a é todo o caudal acumulado que entra na tubagem em questão.

Depois de obtido o valor do caudal de cálculo, e recorrendo ao quadro 4.3 e 4.4 é possível obter o diâmetro nominal e o diâmetro interior, uma vez que a cada intervalo de diâmetros está associada uma taxa de ocupação e um respetivo caudal máximo.

O quadro 4.5 com a informação do quadro 4.4 permite-nos escolher o diâmetro através do caudal de cálculo, ou seja, tendo o caudal de cálculo, determinam-se qual dos valores a sombreado são imediatamente superiores ao caudal Q_c antes calculado, já que este é o caudal máximo que uma tubagem aguenta para aquele diâmetro e para aquela taxa de ocupação.

Quadro 4.4 – Taxas de ocupação e correspondentes diâmetros

Diâmetro do tubo de queda (mm)	Taxa de ocupação (t_s)
$D = 50$	1/3
$50 < D \leq 75$	1/4
$75 < D \leq 100$	1/5
$100 < D \leq 125$	1/6
$D > 125$	1/7

Quadro 4.5 – Caudais máximos para um determinado diâmetro e uma determinada taxa de ocupação com realce correspondente à informação do quadro 4.3

DN	Diâmetro interior (mm)	Caudais (l/min)				
		Taxa de ocupação				
		1/3	1/4	1/5	1/6	1/7
50	45,6	81	50	34	25	20
75	70,6	259	160	111	82	63
90	85,6	433	268	185	136	106
110	105,1	749	464	320	236	182
125	119,5	1055	653	450	332	257
140	133,9	1429	885	610	450	348
160	153,0	2039	1262	870	642	497
200	191,4	3704	2293	1581	1167	902
250	239,4	6728	4165	2872	2119	1639

Para o cálculo dos coletores prediais o caudal de calculo é obtido da mesma forma, isto é, através da expressão 4.5.

Para o cálculo do diâmetro do coletor predial é obrigatório considerar um diâmetro maior que o do tubo de queda ou dos tubos de queda que afluem no coletor e para além disso tem de ser superior a 100 milímetros e é obtido através do quadro 4.6.

Quadro 4.6 –Tabela de apoio à definição de coletores prediais

DN	Diâmetro interior (mm)	Caudais (l/min)			
		Inclinação			
		1%	2%	3%	4%
110	105,1	276	390	478	552
125	119,5	389	550	673	777
140	133,9	527	745	912	1053
160	153,0	751	1063	1301	1503
200	191,4	1365	1931	2365	2730
250	239,4	2479	3506	4294	4959
315	301,8	4598	6503	7965	9197

O cálculo do diâmetro do ramal de ligação segue o mesmo procedimento do coletor predial.

Os diâmetros obtidos através de cálculo servem de base para definir um diâmetro nominal cujo diâmetro interior é igual ou maior ao do calculado no dimensionamento acabado de descrever.

4.3.3.3. Drenagem de águas pluviais

O dimensionamento da rede de drenagem das águas pluviais tem de conduzir as águas provenientes essencialmente da precipitação e encaminhá-las até ao coletor público e tal como nos outros projetos antes descritos, necessita de ser produzido com a máxima precisão, pois parte deste projeto servirá de base à definição dos cortes a efetuar nos painéis CLT.

A rede de drenagem de águas pluviais do “projeto variante” é dimensionada ao nível das caleiras, ramais de descarga, dos tubos de queda e dos coletores prediais, cujo caudal de cálculo é obtido através da área da cobertura, A , do coeficiente de escoamento, C , e da intensidade de precipitação, I , ver expressão 4.7.

$$Q = C I A \quad (4.7.)$$

A intensidade de precipitação é obtida através do período de retorno, T , e da duração da chuvada, t , e depende da região pluviométrica, pois através dela e do período de retorno é possível obter os coeficientes a e b da expressão 4.8., ver figura 4.5.

$$I = a \times t^b \quad (4.8.)$$

Período de retorno (anos)	Regiões pluviométricas					
	A		B		C	
	a	b	a	b	a	b
5	259,26	– 0,562	207,41	– 0,562	311,11	– 0,562
10	290,68	– 0,549	232,21	– 0,549	348,82	– 0,549
20	317,74	– 0,538	254,19	– 0,538	381,29	– 0,538
50	349,54	– 0,524	279,63	– 0,524	419,45	– 0,524
100	365,62	– 0,508	292,50	– 0,508	438,75	– 0,508

Fig. 4.5 – Parâmetros a e b a usar na estimativa do valor da Intensidade de precipitação I [28]

Para o dimensionamento das caleiras considera-se a área da cobertura que conduz as águas das chuvas para a caleira em questão, e um coeficiente de escoamento de 1,0 por se tratar de uma área impermeável. Para a caleira é possível calcular, através do caudal de cálculo, o diâmetro necessário, ver expressão 4.9.

$$Q_{\text{cálculo}} = K_s \times S \times R_h^{2/3} \times i^{1/2} \quad (4.9.)$$

O caudal de cálculo, $Q_{\text{cálculo}}$ é o caudal obtido através da expressão 4.9., a constante de rugosidade, K_s , tem um valor de $90 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ para os metais, a inclinação é de 1%, pelo que através da secção líquida, S , e do raio hidráulico, R_h , é possível determinar o diâmetro, já que estes parâmetro dependem dele.

Para o cálculo dos ramais de descarga, o dimensionamento é feito através da expressão 4.4, para uma inclinação de 1%.

Para o dimensionamento dos tubos de queda temos dois tipos de dimensionamento, consoante o tipo de entrada, isto é, para entrada em aresta viva e para entrada em aresta cônica, ver figura 4.6.

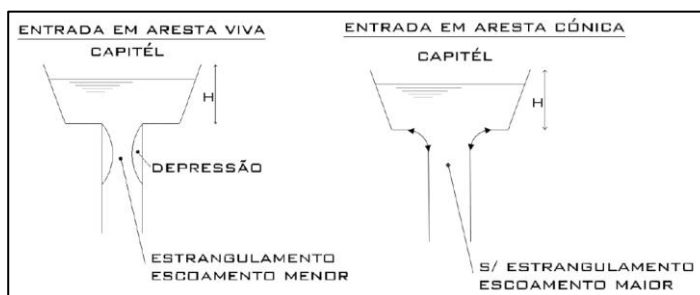


Fig. 4.6 – Diferentes tipos de escoamento de águas pluviais [28]

Para a entrada em aresta cônica com comprimento do tubo maior ou igual a 1 metro e para entrada em aresta viva com o comprimento do tubo maior ou igual a 40 vezes o diâmetro interno, o cálculo do diâmetro é obtido através da expressão 4.10.

$$Q = \left(\alpha + \beta \frac{H}{D_i} \right) \pi D_i H \sqrt{2gH} \quad (4.10.)$$

Com $\alpha = 0.453$ para entrada em aresta viva, $\alpha = 0.578$ para entrada em aresta cônica, e $\beta = 0.350$, em que Q é o caudal de cálculo obtido, H a carga no tubo de queda, D_i o diâmetro interno da tubagem.

Para a entrada em aresta cônica com comprimento do tubo menor ou igual a 1 metro e para entrada em aresta viva com o comprimento do tubo menor que 40 vezes o diâmetro interno, o cálculo do diâmetro é obtido através da expressão 4.11.

$$Q = C S \sqrt{2gH} \quad (4.11.)$$

O dimensionamento de coletores prediais é feito através da expressão 4.4., com uma inclinação de 1%.

4.3.3.4. Esquematização das redes

A arquitetura do “projeto variante” como supracitado, não teve grandes alterações a nível espacial, sendo a mudança de estrutura em betão armado para uma estrutura de painéis de Cross Laminated Timber a grande alteração entre estes dois projetos.

Habitualmente, em projetos de edifícios de madeira, a madeira em si costuma ficar à vista, pelo que isso causa desafios aos projetistas de especialidades, pois é preciso instalar redes e o objetivo é fazer com que estas não afetem o conforto óticos dos ambientes.

Neste “projeto variante”, a arquiteta responsável projetou o edifício com revestimento nas paredes e nos tetos com placas de gesso cartonado, e projetou também que, em todos os pisos, houvesse uma camada de betonilha de enchimento, pelo que é possível embeber as tubagens nesta camada.

Quanto aos traçados das redes de abastecimento de água, de drenagem de águas residuais e de drenagem de águas pluviais, estes seguem a mesma metodologia dos projetos de especialidade do “projeto base”. A diferença que surge é apenas uma adição de um troço de rede no caso das redes de abastecimento de água e de drenagem de águas residuais, correspondentes à instalação sanitária no sótão da habitação A, que no “projeto base” não estava prevista.

Os traçados das redes do “projeto variante” são semelhantes aos do “projeto base” e podem ser analisados no Anexo A2.

4.3.4. COMPORTAMENTO TÉRMICO

A avaliação do conforto térmico de um edifício pretende assegurar que as exigências de conforto térmico de aquecimento, de arrefecimento, de ventilação bem como as necessidades de água quente sanitária são satisfeitas de forma eficiente.

Para esta avaliação analisamos e calculámos as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, N_{ic} , e para arrefecimento, N_{vc} , as necessidades nominais anuais globais de energia primária, N_{ic} , que para estarem de acordo com o regulamentado, têm de ser inferiores ao limite máximo das necessidades nominais de energia útil para aquecimento, N_i , e para arrefecimento, N_v , e ao limite das necessidades nominais anuais globais de energia primária, N_t , respetivamente. Também analisamos a inércia térmica e a taxa de renovação horária.

Atualmente, de forma a facilitar o processo moroso de análise individual de cada elemento constituinte de um edifício, existem folhas de cálculo que permitem o cálculo dos parâmetros supracitados.

Recorrendo ao website do ITECONS - Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade – é possível adquirir folhas de cálculo que permitem calcular todas as necessidades nominais acima mencionadas, a inércia térmica e a ventilação. No entanto, para além de se recorrer às ferramentas cedidas pelo ITECONS, é necessário recorrer ao website da Direção-Geral da Energia e Geologia a fim de se obter o software SCE.ER. Este software permite obter um relatório de simulação de desempenho do sistema solar térmico e consequentemente permite obter o valor da energia primária de sistemas com recurso a energia renovável que é necessário para o cálculo de N_{ic} .

A folhas de cálculo foram elaboradas de acordo com a regulamentação atual em vigor.

Depois de inseridos os dados necessários ao cálculo na ferramenta do ITECONS, é possível obter os valores das necessidades nominais, da inércia térmica e da taxa de renovação horária, sendo que nesta fase é necessário o valor de cálculo da energia renovável obtido previamente pela folha de cálculo SCE.ER.

O comportamento térmico do “projeto variante” ficou dentro do regulamentar, tendo-se obtido, para a habitação A, um N_{ic} de 15,77 kWh/m².ano inferior ao N_i de 26,83 kWh/m².ano, um N_{vc} de 10,57 kWh/m².ano inferior ao N_v de 15,23 kWh/m².ano e um N_{ic} de 58,36 kWh_{EP}/m².ano inferior ao N_t de 129,40 kWh_{EP}/m².ano, garantindo-se o conforto térmico da habitação A do projeto em questão.

O comportamento térmico da habitação B do “projeto variante” também ficou dentro do regulamentar, tendo-se obtido um N_{ic} de 16,74 kWh/m².ano inferior ao N_i de 26,97 kWh/m².ano, um N_{vc} de 13,03

kWh/m².ano inferior ao N_v de 15,23 kWh/m².ano e um N_{tc} de 68,93 kWh_{EP}/m².ano inferior ao N_t de 132,68 kWh_{EP}/m².ano, garantindo-se o conforto térmico da habitação B do projeto em questão.

A classe energética da habitação A é “A”, com um R de 0,45, e a classe energética da habitação B é um “B”, com um R de 0,52.

Para a habitação A obteve-se uma inércia térmica média com $It=182,85$ kg/m² e para a habitação B obteve-se uma inércia térmica média com $It=162,11$ kg/m².

4.3.5. COMPORTAMENTO ACÚSTICO

A avaliação do comportamento acústico necessita de começar pela definição das paredes e cômodos a serem estudados. As paredes mais críticas que surgem no estudo são as paredes de separação entre interior e envolvente e também as paredes de separação de fogos, já no caso dos cômodos, os que carecem de requisitos acústicos são os das zonas de estar e quartos.

Depois de definidos os elementos a estudar e de recolhidas as informações correspondentes, é possível calcular os índices que permitem analisar se existe ou não conforto acústico, sendo eles o índice de isolamento sonoro, para sons aéreos e o índice para sons de percussão.

O cálculo do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{2m,nT,w}$, corresponde à diferença entre o nível médio de pressão sonora exterior, medido a 2 metros da fachada e entre o nível médio de pressão sonora medido no compartimento recetor, e pode ser feito através da expressão 4.12.

$$D_{2m,nT,w}(=D_{nT,w}) = 10 \log \left(\frac{\sum_i S_i}{\sum_i S_i 10^{(-R_{wi}/10)}} \right) + 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right) \quad (4.12.)$$

Nesta expressão, o S_i corresponde à área do elemento i da parede, o R_{wi} corresponde ao índice de redução sonora a sons aéreos do elemento i , o T corresponde ao tempo de reverberação do compartimento recetor e T_0 ao tempo de reverberação de referência igual a 0.5 segundos.

$D_{nT,w}$ é também o índice de isolamento sonoro a sons aéreos, mas que corresponde à diferença entre o nível médio de pressão sonora medido no compartimento emissor produzido por uma ou várias fontes sonoras, e o nível médio de pressão sonora medido no compartimento recetor.

O índice de redução sonora a sons de condução aérea pode ser obtido para três tipos de elementos: os elementos simples, duplos ou compostos.

Para o cálculo do índice de redução sonora a sons de condução aérea dos elementos simples, como paredes simples e portas, utiliza-se a expressão 4.13., onde m é a massa superficial do elemento.

$$R_{w,CTL,wall} = 25 \log (m) - 8 \quad (4.13.)$$

Para o cálculo do índice de redução sonora a sons de condução aérea dos elementos duplos, utiliza-se também a expressão 4.13., com $m=m_1+m_2$, ou seja, com a massa superficial m a ser a soma das massas superficiais dos dois elementos, m_1 e m_2 , porém têm de satisfazer os seguintes requisitos:

- Frequência de ressonância, f_r , inferior a 63 Hz, calculada através da expressão 4.14;
- Caixa-de-ar preenchida com material absorvente com 4 cm no mínimo;
- Espessura da caixa de ar, d , maior que 90% da soma de $1/m_1$ e $1/m_2$.

$$fr = \frac{c}{2 \cdot \pi} \times \sqrt{\frac{(m_1 + m_2) \times \rho}{m_1 \times m_2 \times d}} \quad (4.14.)$$

Nesta expressão, c é a velocidade de propagação do som no ar, em m/s, m_1 a massa superficial do pano 1, m_2 a massa superficial do pano 2, ambas em Kg/m², ρ a massa volúmica do ar em Kg/m³ e d a espessura da caixa de ar em metros.

Para o cálculo do índice de redução sonora a sons aéreos dos elementos compostos, como paredes por exemplo, recorre-se à expressão 4.15.

$$R_w = 10 \log \left(\frac{\sum_i S_i}{\sum_i S_i 10^{(-R_{w,i}/10)}} \right) \quad (4.15.)$$

Em que $R_{w,i}$ é o índice de redução sonora a sons aéreos do elemento i , obtido na expressão 4.13.

O cálculo do índice de isolamento sonoro a sons de condução tem em conta as transmissões marginais, que são transmissões sonoras conduzidas através dos elementos que envolvem o compartimento, como lajes e paredes, que só podem ser determinadas à posteriori por ensaios in situ, tendo assim de ser estimadas na fase de projeto.

No entanto em fase de projeto recorre-se à expressão 4.16. e ao quadro 4.7, que derivam de ensaios feitos em laboratório, para se ter uma correta avaliação do índice de isolamento sonoro.

$$R'_w = R_w - TM \quad (4.16.)$$

Quadro 4.7 – Estimativa das transmissões marginais TM

R_w (dB)	TM (dB)
$R_w \leq 35$	0
$35 < R_w \leq 45$	3
$45 < R_w \leq 55$	4
$R_w > 55$	5

Para a obtenção do tempo de reverberação, T , usam-se as seguintes expressões 4.17 e 4.18, em que V é o volume do compartimento recetor, $\bar{\alpha}$ o coeficiente de absorção sonora médio do contorno para uma dada frequência e S a área do contorno.

$$T = \frac{0.16V}{S\bar{\alpha}} \quad (4.17.)$$

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum_i \alpha_i S_i}{S} \quad (4.18.)$$

Para o cálculo do índice de isolamento sonoro a sons de percussão, $L'_{nT,w}$, recorreu-se à expressão 4.19., em que ΔL_w é o índice de redução sonora devido à existência de revestimento de piso, K é a correção

devido à ocorrência de transmissão marginal, m a massa superficial do elemento, T_0 o tempo de reverberação de referência igual a 0.5 segundos, e V o volume do compartimento recetor.

$$L'_{nT,w} = 169 - 35 \log(m) - \Delta Lw + K - 10 \log\left(\frac{0.016V}{T_0}\right) \quad (4.19.)$$

Depois de calculados os índices de isolamento sonora a sons aéreos e de percussão é necessário comparar com os valores regulamentares e verificar se cumprem ou não os requisitos acústicos. As figuras 4.7 e 4.8 representam os valores limites e as situações a verificar.

O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{2m,nT,w}$, entre o exterior do edifício e quartos ou zonas de estar dos fogos deve satisfazer o seguinte:		
Zonas:		Valor Limite
Zonas Mistas		$D_{2m,nT,w} \geq 33$ dB
Zonas Sensíveis		$D_{2m,nT,w} \geq 28$ dB
O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{2m,nT,w}$, entre o exterior de edifícios comerciais e de serviços e partes similares em edifícios industriais:		
Escritórios		$D_{2m,nT,w} \geq 30$ dB
Para os restantes recintos		$D_{2m,nT,w} \geq 25$ dB
O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{nT,w}$, entre:		
Emissor	Recetor	Valor Limite
Compartimento de um fogo	Quartos ou zona de estar de outro fogo	$D_{nT,w} \geq 50$ dB
Locais de circulação comum	Quartos ou zona de estar dos fogos	$D_{nT,w} \geq 48$ dB
Circulação comum - vertical (se o edifício for servido por ascensores)	Quartos ou zona de estar dos fogos	$D_{nT,w} \geq 40$ dB
Circulação comum - garagem	Quartos ou zona de estar dos fogos	$D_{nT,w} \geq 50$ dB
Comercio, indústria, serviços ou diversão	Quartos ou zona de estar dos fogos	$D_{nT,w} \geq 58$ dB

Fig. 4.7 – Valores limite de $D_{2m,nT,w}$ e de $D_{nT,w}$ [28]

O índice de isolamento sonoro a sons de percussão, $L'_{nT,w}$, proveniente de uma percussão:		
Emissor	Recetor	Valor Limite
Outros fogos ou locais de circulação comum do edifício	Quartos ou zona de estar dos fogos	$L'_{nT,w} \leq 60$ dB
Comercio, industria, serviços ou diversão	Quartos ou zona de estar dos fogos	$L'_{nT,w} \leq 50$ dB
O Nível de avaliação, $L'_{Ar,T}$, do ruído particular de equipamentos coletivos do edifício, como ascensores, grupos hidropressores, sistemas centralizados de ventilação mecânica:		
Tipo de funcionamento do equipamento:		Valor Limite
Intermitente		$L'_{Ar,T} \leq 32$ dB
Contínuo		$L'_{Ar,T} \leq 27$ dB
Grupo gerador elétrico de emergência		$L'_{Ar,T} \leq 40$ dB

Fig. 4.8 – Valores limite de $L'_{nT,w}$ e de $L'_{Ar,T}$ [28]

As paredes exteriores têm, como supracitado no subcapítulo da arquitetura do “projeto variante”, composição em CLT, de 9 cm de espessura, acompanhado no exterior de isolamento térmico de 8 cm e reboco armado de 2 cm, e no interior da habitação, placas de gesso cartonado de 2 cm de espessura.

As paredes exteriores em contacto com outros fogos têm, composição em CLT, de 9 cm de espessura, acompanhado no exterior de caixa de ar de 5 cm e isolamento térmico de 8 cm, e no interior da habitação, placas de gesso cartonado de 2 cm de espessura.

A paredes interior que divide as duas habitações em estudo é composta, da habitação A para a habitação B, por placas de gesso cartonado de 2 cm de espessura, painéis de CLT de 9 cm de espessura, lâ de rocha de 6 cm, painéis CLT de 9 cm e placas de gesso cartonado de 2 cm.

A massa superficial calcula-se a partir do produto da massa volúmica com a espessura, sendo a massa volúmica do CLT 500 kg/m^3 , do gesso cartonado 600 kg/m^3 , e da lâ de rocha 70 kg/m^3 .

Os valores dos índices de isolamento sonoro a sons aéreos e a sons de percussão para futura comparação encontram-se nos quadros 4.8 e 4.9, respetivamente.

Quadro 4.8 – Valores do isolamento acústico de paredes exteriores das habitações A e B

Descrição	$D_{2m,nT,w}$
Habitação A: Quarto piso 0	35,6
Habitação A: Sala de estar + kitchenette piso 1	35,5
Habitação A: Sala Sótão	34,9
Habitação B: Quarto piso 0	33,9
Habitação B: Sala de estar + kitchenette piso 1	33,8
Habitação B: Quarto sótão	35,5

Quadro 4.9 – Isolamento acústico entre habitações ao nível do sótão

Descrição	$D_{nT,w}$
Habitação A: Sala sótão	50,4
Habitação B: Quarto sótão	50,5

Pela mesma razão enunciada no capítulo 3, não se calcula o índice de isolamento sonoro a sons de percussão, ou seja, não foi necessária a confirmação do índice de redução sonora a sons de percussão para os compartimentos, uma vez que os quartos ou zonas de estar dos fogos, isto é, os recetores, não recebem sons de percussão emitidos pelos emissores previstos na figura 4.8.

As habitações A e B do “projeto variante” cumprem os valores regulamentares ao nível de conforto acústico pelo que se garante o conforto acústico.

Ver anexo A2.

4.3.6. SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS

O projeto de segurança contra incêndios das habitações A e B do “projeto variante” pretende precaver uma situação de risco de incêndio, através de uma análise do comportamento do edifício face a este tipo de situações, bem como um planeamento cuidadoso da evacuação perante a sua ocorrência.

O projeto de segurança contra incêndios é feito através da verificação do cumprimento de parâmetros estabelecidos que asseguram a segurança contra incêndios.

A ficha de segurança contra incêndios, aplicável às utilizações-tipo I a III e VI a XII da autoria do ministério da administração interna e da autoridade nacional de proteção civil, disponibilizada no portal de serviços públicos de Portugal, serve de base à verificação supracitada.

Começa-se por caracterizar as utilizações-tipo, bem como a altura de cada UT, o número de pisos correspondente a essa UT, e ainda a área bruta da UT. No “projeto variante”, por se tratar de um edifício unicamente habitacional, apenas temos uma UT.

Depois de caracterizadas as utilizações tipos, procede-se à caracterização global do edifício onde se indica a área total bruta, a altura do edifício, o número total de frações, escadas, pisos (acima e abaixo do solo), e ascensores. Nesta caracterização indicamos as utilizações-tipo existentes na edificação, neste caso só temos a UT I, e indicamos também o número de pisos correspondentes a essa UT, identificando-os e ainda a área bruta dessa UT.

A caracterização é a exposta no capítulo 3.3.7, uma vez que apenas se alterou o material estrutural, mantendo-se a espessura dos pisos e consequentemente a altura do edifício.

O primeiro parâmetro analisado nesta ficha de segurança corresponde às condições exteriores ao edifício, através da largura útil da via onde se insere a fachada, da altura útil e da inclinação. Também se indica nesta secção, a menor distância entre fachadas em confronto, as zonas da fachada com diedros de abertura inferior a 135° e a distância desde o edifício até ao marco de incêndio mais próximo e até à boca de incêndio mais próxima. Todos estes parâmetros têm de estar em conformidade com o disposto nos artigos aplicáveis do Título II do RT-SCIE (Condições Exteriores Comuns).

Nesta secção define-se a resistência ao fogo das paredes de empena e da cobertura e indica-se se as paredes de empena possuem guarda-fogos com altura superior a 0,6 m.

Para o “projeto variante” a resistência ao fogo das paredes de empena é REI60 e a resistência ao fogo na cobertura é REI60.

Na avaliação da resistência ao fogo dos elementos de construção, para habitações apenas se avalia o isolamento e proteção dos elementos estruturais e incorporados, tendo de cumprir com o disposto nos artigos aplicáveis do Título III do RT-SCIE (Comportamento ao fogo, Isolamento e Proteção), e considerando as disposições específicas do Título VIII (Condições Específicas das Utilizações-Tipo).

Os elementos estruturais apenas com função de suporte de cargas, possuem resistência ao fogo R30 e os elementos estruturais com função de suporte e de compartimentação, possuem resistência ao fogo REI60.

A ficha de segurança contra incêndios termina neste tópico, no que se refere a habitações isoladas como é o caso aqui, geminadas ou em banda, no entanto existem outros parâmetros que se avaliam consoante as utilizações-tipo, não aplicáveis neste caso.

4.3.7. GÁS

O dimensionamento e esquematização da rede de gás do “projeto variante” carece de muito cuidado e rigor no momento em que é concebido pois, para além de ser um dimensionamento com tubagens que implicam cortes nos painéis, tal como as redes hidráulicas, é também uma rede de combustível gasoso que pode se tornar perigosa, no caso de ocorrer um dimensionamento ou pormenorização erradas.

O projeto de gás inicia-se com a localização dos aparelhos de queima e com o traçado mais conveniente de forma a ser possível conduzir eficientemente o gás, desde a rede pública de abastecimento de gás até aos aparelhos de queima.

Na entrada de cada habitação, na fachada, tem de haver uma caixa de corte geral, CCG, e os cálculos do dimensionamento são feitos desde este ponto até ao aparelho de queima.

O dimensionamento da instalação pode ser feito através da metodologia apresentada na figura 4.9.

COMPRIMENTOS (m)					TUBAGEM									
TROÇO		REAL	EQUIV.	VERT.	CAUDAL	P. INICIAL	Ø INTERIOR	Ø NOMINAL	Vel. Máx	P C REAL	DESNIVEL	Gan/Per.	PRESSÃO FINAL CORRIGIDA	PERDA CARGA TOTAL
Nó Inicial	Nó Final	L	L=Lr*1,2	Lv	m³/h	(rel.) mbar	SELEC.	SELEC.	m/s	mbar	m	mbar	(rel.) mbar	mbar

Fig. 4.9 – Folha EXCEL para dimensionamento de tubagem de gás [28]

Nesta folha EXCEL, L é o comprimento real do troço, desde a CCG até ao aparelho de queima, Lr é o comprimento da tubagem equivalente, Lv a distância na vertical entre o aparelho de queima e a CCG.

O caudal, Q, depende do caudal do aparelho de queima e, no caso de haver mais que um, é a soma dos caudais dos aparelhos de queima. A pressão inicial, P_{inicial}, corresponde à pressão de utilização do gás a utilizar e o diâmetro interior e nominal definem-se através das tabelas de diâmetros comerciais, sendo o diâmetro mínimo aconselhável para o esquentador de 22 mm.

Depois de recolhidos estes dados, calcula-se a velocidade máxima, vel. max., o ganho ou perda de pressão, Gan/Per, e a pressão final corrigida, através das fórmulas de Renouard simplificadas, ver conjunto de expressões 4.20, 4.21, 4.22 e 4.23, e verifica-se se cumpre com os critérios, ou seja, se a velocidade é inferior a 10 m/s e se a perda de carga total é inferior a 1,5 mbar.

$$\Delta P = 232,10^5 \cdot s \cdot L \cdot Q^{1,82} \cdot D_{int}^{-4,82} \quad (4.20.)$$

$$v = \frac{Q \cdot 4 \cdot 10^6}{3600 \cdot \pi \cdot D_{int}^2 \cdot \frac{P_{inicial} + 1013,5 + P_{corrigida} + 1013,5}{1000 \cdot 2}} \quad (4.21.)$$

$$P = P_{inicial} - 23200 \cdot s \cdot L \cdot \left(\frac{Q^{1,82}}{D_{int}^{4,82}} \right) \quad (4.22.)$$

$$P_{ganha/perdida} = 0,1293 \cdot (1 - d) \cdot Lv \quad (4.23.)$$

Nestas expressões, s é a densidade do gás e D_{int} o diâmetro interno da tubagem e as restantes variáveis têm o significado acima definido.

A perda de carga real corresponde à diferença entre a pressão inicial e a pressão final corrigida o desnível corresponde ao L_v , distância medida na vertical. A perda de carga total é a diferença entre a pressão de abastecimento do gás e a pressão final corrigida.

A esquematização da rede de gás do “projeto variante” têm traçado igual ao da esquematização da rede do “projeto base”, ver anexo A2.

4.3.8. RESTANTES

O projeto de demolição do “projeto variante”, que acompanha os projetos de especialidades, encontra-se no capítulo 3.3.2, uma vez que o edifício existente do “projeto base” e do “projeto variante” é o mesmo, tendo o mesmo tipo de execução.

Os restantes projetos de especialidades, ou seja, o projeto de instalações mecânicas, o projeto da alimentação e distribuição elétrica e o projeto da instalação das infraestruturas de telecomunicações, não são alvo de estudo por parte da autora. No entanto, assim como no “projeto base”, estes projetos integram o conjunto dos projetos de especialidades e são necessários para a realização da obra.

No entanto, assim como no “projeto base”, estes projetos integram o conjunto dos projetos de especialidades e são necessários para a realização da obra e não sofreram alterações significativas do “projeto base” para o “projeto variante”.

Assim, salvo exceções em que estes projetos têm impactos nas travessias de elementos estruturais, não existem diferenças entre o “projeto base” e o “projeto variante”.

4.4. SÍNTESE DO CAPÍTULO

Neste capítulo apresentam-se os diversos projetos do “projeto variante” para futura comparação com os valores correspondentes do “projeto base”.

No **projeto de arquitetura** é de realçar o valor das áreas definidas para os compartimentos, ver quadro 4.10.

Quadro 4.10 – Áreas úteis dos vários compartimentos da habitação A e B

Habitação A			Habitação B		
Piso	Compartimento	Área (m ²)	Piso	Compartimento	Área (m ²)
0	Hall de entrada	1,66	0	Hall de entrada	4,21
	Quarto	11,98		Quarto	16,94
	Instalação Sanitária	4,58		Instalação Sanitária	4,64
	Arrumo	4,30		Closet	5,18
1	Sala de estar e kitchenette	15,20	1	Sala de estar e kitchenette	27,21
	Escadas	5,05		Escadas	5,15
Sótão	Sala	10,60	Sótão	Quarto	12,57

Não se determinam valores relevantes no **projeto de abastecimento de águas**, no **projeto de águas residuais** nem no **projeto de águas pluviais** para comparação com o “projetos base” já que estes projetos de especialidade são praticamente iguais nas duas situações.

Apresentam-se no quadro 4.11 os valores interessantes para o **projeto de avaliação do conforto térmico**, sendo eles os valores das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento, as necessidades nominais anuais globais de energia primária e ainda a classe energética.

Quadro 4.11 – Valores da avaliação do comportamento térmico do “projeto variante”

Parâmetro	Habituação A	Habituação B
N_{ic} (kWh/m ² .ano)	15,77	16,74
N_i (kWh/m ² .ano)	26,83	26,97
N_{vc} (kWh/m ² .ano)	10,57	13,03
N_v (kWh/m ² .ano)	15,23	15,23
N_t (kWh/m ² .ano)	58,36	68,93
N_{tc} (kWh/m ² .ano)	129,40	132,68
$R = N_i / N_{tc}$	0,45	0,52
Classe Energética	A	B ⁻
I_t (kg/m ³)	182,85	162,11

Através do índice de isolamento sonoro a sons aéreos e do índice de isolamento sonoro a sons de percussão, o **projeto de avaliação do conforto acústico** apresenta como os valores mais pertinentes os dispostos no quadro 4.12.

Quadro 4.12 – Valores da avaliação do comportamento acústico do “projeto variante”

Descrição	$D_{2m,nT,w}$	$D_{nT,w}$
Habituação A: Quarto piso 0	35,6	-
Habituação A: Sala de estar + kitchenette piso 1	35,5	-
Habituação A: Sala Sótão	34,9	50,4
Habituação B: Quarto piso 0	33,9	-
Habituação B: Sala de estar + kitchenette piso 1	33,8	-
Habituação B: Quarto sótão	35,5	50,5

No **projeto de segurança contra incêndios** os valores mais pertinentes a reter são os valores obtidos através da resistência ao fogo, sintetizados no quadro 4.13.

Quadro 4.13 – Classes de resistência ao fogo

Descrição	Classe de resistência
Elementos estruturais apenas com função suporte de cargas	R30
Elementos estruturais com função suporte e de compartimentação	REI60
Paredes de empena	REI60
Cobertura	REI60

No **projeto de abastecimento de gás** não se determinaram valores relevantes para futura comparação, já que os projetos são praticamente iguais, a menos de implicações com o projeto estrutural, analisadas em conjunto de forma comparada, no próximo capítulo.

Este tipo de construção, estrutura em painéis de CLT, torna o processo da esquematização de redes muito mais moroso, pois com o uso do CLT é apelativo não aplicar revestimentos deixando os painéis à vista, e por isso não é possível embeber tubagens nem escolher uma esquematização mais casual.

No entanto, este “projeto variante” foi projetado para não ter CLT à vista, pelo que a esquematização das infraestruturas não é assim uma preocupação, o que, no entanto, é muito pouco usual. Normalmente o CLT é usado para ficar à vista, apenas com revestimentos do tipo pintura ou verniz.

Este é um ponto relevante de comparação com o “projeto base” a abordar em capítulo posterior, ver capítulo 5, tendo-se admitido que o CLT ficaria à vista não revestido para tornar a comparação mais “realista” e representativa.

5

COMPARAÇÃO ENTRE A SOLUÇÃO CONSTRUTIVA DE BETÃO ARMADO E A SOLUÇÃO CONSTRUTIVA DE PAINÉIS CLT

5.1. INTRODUÇÃO

No presente capítulo são analisadas as duas soluções construtivas expostas nos capítulos anteriores, ou seja, a solução construtiva do “projeto base”, estrutura em betão armado, e a solução construtiva do “projeto variante”, estrutura em painéis de Cross Laminated Timber, CLT.

O principal objetivo da comparação mencionada é avaliar as diferenças entre estas duas soluções, tendo em conta os fatores mais imponentes, a fim de concluir qual das soluções se torna mais vantajosa para o tipo de edifício deste caso de estudo, ver capítulo 6.

Os critérios de comparação usados neste capítulo, para fazer a comparação, são o custo, quer ao nível da construção, quer ao nível da manutenção, o prazo de conceção e execução, a arquitetura, a estrutura, indicadores de desempenho, como a térmica, a acústica e a segurança contra incêndios, e finalmente a menor ou maior facilidade de integrar as redes de águas e das restantes infraestruturas técnicas. Recorre-se a análises e indicadores numéricos concretos, sempre que possível.

A durabilidade e a sustentabilidade dos edifícios nos dois casos são também analisadas, neste caso de uma forma menos numérica. Conclui-se sobre qual das soluções é mais vantajosa, tanto no caso de estudo como de uma forma geral. Faz-se a análise critério a critério que se apresenta neste capítulo e apresentam-se as reflexões de síntese no próximo capítulo de conclusão.

Para melhor entendimento deste capítulo, é necessário levar em consideração que o “projeto variante” foi concebido a partir do “projeto base”, alterando-se praticamente apenas a nível estrutural, pelo que as configurações definidas pela arquiteta seguiam uma lógica que fazia sentido para o projeto de estrutura betão armado (“projeto base”) mas que, como se vai ilustrar à frente, não fazem sentido para o projeto de estrutura de painéis de CLT (“projeto variante”), já que a Arquitetura em madeira deve ser concebida de raiz pois só assim é possível extrair dos materiais todas as suas principais vantagens.

Do “projeto base” para o “projeto variante”, a solução arquitetónica deixou de ser tão eficiente, uma vez que a estrutura é em CLT, e sendo o CLT um derivado de madeira, é um material que geralmente dispensa os revestimentos, as betonilha de enchimentos e os tetos falsos, ficando as infra-estruturas à vista. Devido a isso, para as análises abordadas neste capítulo, e para tornar o caso mais “real” considerou-se que o CLT fica à vista, sem qualquer tipo de revestimento (o projeto variante de

arquitetura em CLT prevê uma arquitetura em tudo igual à solução base, incluindo tetos falsos, enchimentos e revestimentos em argamassa).

5.2. ANÁLISE ECONÓMICA

5.2.1. CUSTOS DE CONSTRUÇÃO

Os custos de construção abrangem diferentes vertentes do processo construtivo, como por exemplo, mão-de obra, materiais de construção, ferramentas e máquinas, projetos de arquitetura e engenharia, burocracias relacionadas com licenças, transporte, logística, entre outros, que podem surgir apenas na obra.

Tendo em conta os vários aspetos citados, é necessário proceder a uma estimativa que me permita obter o custo aproximado de construção de cada uma das soluções, em betão armado e em CLT, a fim de se perceber qual das soluções poderá se tornar mais dispendiosa.

Analisar este parâmetro isoladamente não permite concluir qual das soluções será melhor, pois um maior custo poderá representar maior conforto, por exemplo, e por isso é necessário fazer uma análise quer quantitativa quer qualitativa.

As medições em m³ dos elementos estruturais do “projeto base” encontram-se na figura 5.1.

Sapatas	Volume (m3) 6,45
Lintéis	Volume (m3) 3,07
Pavimento térreo	Volume (m3) 61,10
Pilares	Volume (m3) 6,22
Vigas	Volume (m3) 11,69
Lajes maciças	Volume (m3) 28,48
Escadas	Volume (m3) 4,64
Total	121,65

Fig. 5.1 – Medições de volume dos elementos estruturais do “projeto base”

O preço do betão armado atualmente ronda os 700 euros/m³, pelo que a estrutura do “projeto base” teria um custo de $121,65 \times 700 = 85155$ euros.

As medições em m³ dos elementos estruturais do “projeto variante” encontram-se na figura 5.2.

Betão: Fundações e nível térreo	Sapatas	Volume (m3) 6,45
	Lintéis	Volume (m3) 3,07
	Pavimento térreo	Volume (m3) 61,10
Total		70,62
CLT	Lajes	Volume (m3) 25,30
	Paredes	Volume (m3) 39,50
	Escadas	Volume (m3) 4,48
Total		69,28

Fig. 5.2 – Medições de volume dos elementos estruturais do “projeto variante”

O preço do betão armado atualmente ronda os 700 euros/ m³, como mencionado, e o preço do CLT ronda os 2000 eur/m³ pelo que a estrutura do “projeto variante” teria um custo de $70,62 \times 700 + 69,28 \times 2000 = 187994$ euros.

O “projeto base” com a solução construtiva de betão armado apresenta um valor inferior à da solução construtiva do “projeto variante”, totalizando uma diferença de 102839 euros.

Em termos económicos, a solução construtiva em CLT não permite reduzir os custos com o investimento inicial.

5.2.2. CUSTOS DE MANUTENÇÃO

A manutenção dos edifícios desempenha um papel muito importante para mantê-los na qualidade do seu estado inicial e assim conseguir salvaguardar o funcionamento eficiente, a segurança e a durabilidade para o qual foi projetado.

Os custos de manutenção envolvem diversos tipos de serviços desde manutenções mais regulares e simples, como por exemplo, pinturas de paredes, até manutenções mais complexas que podem estar relacionadas com algum dano ou anomalia que determine a uma intervenção mais morosa e difícil, como por exemplo a reparação de uma armadura corroída, que embora não sejam intervenções expectáveis de acontecer no período de vida útil, por vezes devido a defeitos de obra, surgem e é necessário retificar.

A manutenção e os custos associados representam a maior percentagem de custos, pelo que este deve ser um parâmetro a ter em conta aquando da avaliação e comparação das soluções construtivas, pois uma construção mais económica que implique maior manutenção pode ser menos vantajosa face a uma construção mais dispendiosa, porém de manutenção mais acessível, ver figura 5.3.

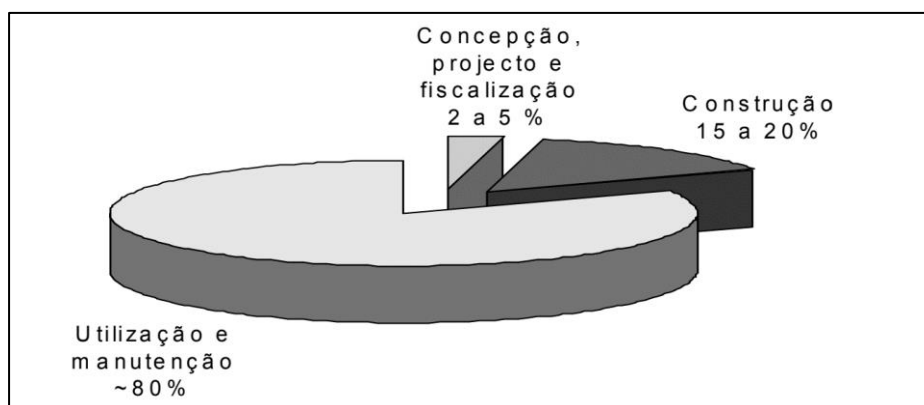


Fig. 5.3 – Decomposição percentual dos custos globais com um edifício [29]

Os custos de manutenção podem ser estimados de forma aproximada e majorada, através da quadruplicação dos custos da construção, conforme o estudo identificado na figura 5.3 explicita, onde 15 a 20% do custo total de uma obra é para construção e 80% é para a utilização e manutenção.

Esta situação aplica-se à construção global e aí pode assumir-se que os custos das duas soluções são relativamente semelhantes, apesar da grande diferença no custo da estrutura, atrás explicitado. Uma análise mais detalhada da situação implicaria o estudo detalhado do custo global de investimento das duas soluções, seguido de uma reflexão sobre os reais custos de manutenção curativa e preventiva das mesmas, o que sai totalmente fora do âmbito viável desta dissertação.

Conclui-se assim que os custos de manutenção são semelhantes nos dois casos, considerando que as envolventes nos mesmos são sensivelmente as mesmas e que os custos de manutenção principais se associam à envolvente dos edifícios.

5.3. DURAÇÃO DA CONSTRUÇÃO

5.3.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Os prazos de uma construção são um fator de peso aquando de uma análise geral de uma construção, pois todo o processo de construção de um edifício é um processo demorado e como se sabe do senso comum “tempo é dinheiro”, pelo que é preponderante a sua análise.

Todo o processo, desde a vontade de construir um edifício até à concretização e utilização do mesmo, requer bastante tempo. Um planeamento estratégico e eficiente permite agilizar o processo e consequentemente uma execução com o menor tempo possível, contudo, isso não é suficiente para reduzir o tempo de materialização de um edifício. Perante desafios como este, ou seja, perante a necessidade de reduzir o tempo para o menor tempo possível, começou-se a recorrer a pré-fabricados, como é, por exemplo, o caso do CLT, uma vez que o material é preparado fora de obra e quando é mobilizado para o local de construção está pronto a aplicar e montar, reduzindo muito o tempo de construção “in situ”.

A análise da duração da construção pode então ser feita em duas fases, a fase de concepção, referente aos projetos e à pré-fabricação de certos materiais, e a fase de construção, referente à execução física, onde efetivamente se constrói o que foi planejado.

5.3.2. PRAZOS DE CONCEÇÃO

O processo de concepção de um edifício é um processo complexo, moroso e aborrecido, que implica a coordenação de várias áreas do setor da construção, para que a construção em si possa efetivamente acontecer, acabando por ser um processo iterativo até à obtenção da solução final.

A concepção é o ponto de partida de um dono de obra que pretende construir um edifício. A sua primeira interação será com um gabinete de arquitetura, uma vez que são os arquitetos, os responsáveis por entender as vontades, necessidades, requisitos e até gostos do dono de obra, a fim de concretizar o edifício, de modo que ele seja adaptado ao seu cliente, não deixando de ser funcional e eficiente, estando dentro das normas.

Os arquitetos são a ponte de ligação entre as vontades do dono de obra e a sua concretização e por isso são eles os responsáveis por: recolher informações topográficas e da envolvente do lote a construir, fazer o projeto de arquitetura, por ajudar a escolher os materiais da obra, a empresa de construção e o gabinete projetista para os projetos de especialidades.

Assim que o projeto de arquitetura é aprovado, iniciam-se os projetos de especialidades, para licenciamento, e depois destes serem aprovados, iniciam-se os de execução, que precisam ser aprovados pelo promotor ou seus representantes, para que a construção em si possa começar, após realização do processo de contratação de empreiteiros e fornecedores para a obra.

Para se entender qual das soluções demora mais a planear, ou seja, qual das soluções tem um prazo maior de concepção faz sentido efetuar uma estimativa dos tempos necessários para executar os projetos:

- concepção dos projetos de arquitetura de betão armado;
- concepção dos projetos de arquitetura de CLT;
- concepção dos projetos de especialidades de betão armado;
- concepção dos projetos de especialidades CLT.

Não é possível estimar estes valores de forma segura e universal. É, no entanto, possível admitir que os tempos necessários para o caso de estudo são semelhantes nos dois casos.

5.3.3. PRAZOS DE EXECUÇÃO

O processo de execução de uma obra sucede o processo de concepção, onde se põe em prática todo o planeamento previamente definido e aprovado na concepção. A execução inicia-se na preparação do terreno, quer com a demolição de edifícios existentes, como acontece no nosso caso de estudo, quer com aterros ou escavações, se necessário, e estende-se até aos acabamentos finais.

O processo de execução de uma obra sucede o processo de concepção, onde se põe em prática todo o planeamento previamente definido e aprovado na concepção. A execução implica a preparação do terreno, quer com a demolição de edifícios existentes, como acontece no nosso caso de estudo, quer com aterros ou escavações se necessário.

O prazo de execução corresponde ao intervalo de tempo desde a primeira intervenção no lote de construção até à conclusão final da obra.

Para estimar os prazos de execução, precisamos de enquadrar a duração da preparação do terreno, contudo, esse valor não é relevante ao estudo, pois não depende das soluções construtivas.

Para a solução construtiva de betão armado, facilmente se consegue adquirir todo o material necessário para a fase de construção, pelo que a construção no local não é influenciada pela necessidade de fabricos em obra ou de preparação prévia ao fabrico.

Para a solução construtiva de CLT, os painéis demoram a fabricar em torno de 6 a 10 semanas, para estas dimensões. Estes valores de prazo são baseados em construções CLT do mesmo tipo.

A montagem da estrutura de CLT em obra é muitíssimo mais rápida, mas necessita de pelo menos 3 a 4 meses para, neste caso, escolher fornecedores, preparar o fabrico e fabricar os painéis e outros elementos necessários. Para haver ganhos globais no prazo de execução, é fundamental que, logo após adjudicação, ou até mesmo durante o processo de escolha do empreiteiro da obra, se inicie o processo de produção industrial da estrutura para que se aproveite o tempo de arranque da obra. Movimentos de terras e execução das fundações e embasamentos para fabricar a estrutura em CLT.

A construção da estrutura em betão armado de uma moradia bifamiliar deste tipo demoraria cerca de 3 a 4 meses, enquanto a construção em CLT demoraria cerca de 1 a 2 meses. Pode assumir-se que todas as restantes tarefas nos dois casos, antes e depois da execução da estrutura, têm durações equivalentes, de cerca de 2 a 3 meses antes e cerca de 6 a 7 meses depois.

5.3.4. CONCLUSÃO

Assumindo assim que há uma gestão muito eficiente do processo de fabrico no caso do CLT, pode estimar-se o prazo de execução do “projeto base” em 13 meses e o no caso do CLT em 11 meses. Daí resulta um ganho importante em prazo de execução para a solução em CLT.

O “projeto variante”, de solução construtiva em CLT, em termos de prazos, é assim melhor face ao “projeto base”, de solução construtiva de betão armado, com uma diferença de execução total estimado em 2 meses.

5.4. ANÁLISE ARQUITETÓNICA

A arquitetura de um edifício com estrutura em betão armado e de estrutura em painéis de Cross Laminated Timber, CLT, são duas soluções construtivas com características e vantagens diferentes, que consoante o tipo de edifício e a utilidade que lhe foi destinada, pode ser mais apropriado optar por uma solução face à outra.

Neste subcapítulo, o foco é a análise no fator arquitetónico, e em como é que a arquitetura é influenciada pela escolha de uma determinada solução construtiva, tendo como base de estudo as soluções construtivas do “projeto base” e do “projeto variante”.

Pretende-se entender as consequências arquitetónicas provocadas pela escolha de betão armado ou CLT para a estrutura de um edifício.

Quanto aos painéis CLT, o facto de a madeira ser um material quente e acolhedor, acaba por transmitir uma sensação de aconchego e consequentemente de bem-estar e tranquilidade, pelo que, os revestimentos no CLT não fazem muito sentido, já que seria um desperdício não aproveitar este conforto transmitido pela madeira. Contudo, ao serem desprezados os revestimentos, surge a complicação das

redes das infraestruturas, pois sem revestimentos existem tubagens à mostra, e isso pode não agradar a alguns utilizadores.

O CLT ao ser deixado à vista fica com três opções para solucionar a questão das redes das infraestruturas:

- Opção a: Ou é assumida uma arquitetura mais industrial com todas as tubagens à vista, sendo que estas podem ser pintadas numa cor que permita torná-las no mais invisível possível;
- Opção b: Ou através do enchimento e revestimento do piso com chão flutuante, num tom que não destoe com a madeira dos painéis CLT, fazendo com que as tubagens circulem no enchimento do piso;
- Opção c: Ou ainda através de tetos falsos com placas de gesso cartonado, escondendo assim a tubagem.

Para o encaminhamento das tubagens, desde os pisos superiores até ao piso térreo, este procedimento poderia ser à vista ou poderia ser projetada uma courette por piso, num local conveniente, feita com painéis CLT, de forma a esconder esta tubagem. De realçar que nem todo o tipo de tubagem teria obrigatoriamente de ficar à mostra, ou de passar em courettes, pois certos rasgos nos painéis permitem envolver certas tubagens, consoante o diâmetro destas, ver figura 5.4 com um exemplo, já que estamos a falar de painéis de CLT de 9 cm de espessura.



Fig. 5.4 –Exemplo de ligação entre tubagens e painéis de CLT [3]

Num edifício com estrutura de betão armado, toda a tubagem pode ser facilmente escondida, pois geralmente, todas as paredes, tetos e pisos são revestidos. Para além disso, as paredes destes edifícios têm mais espessura, pelo que se torna mais fácil embeber tubagens nas paredes, ainda assim usando técnicas intrusivas e artesanais como os “roços”.

Nos casos em que isso não é possível por interferir com a estrutura, criam-se facilmente courettes para resolver esse problema.

Os painéis CLT a nível arquitetónico são excelentes pois para além da imagem visual que transmitem, por ser um material natural, ocupam também menos área e não requerem revestimentos, sendo estes aplicados apenas muito pontualmente, quando se usa a “opção a” atrás elencada, solução mais usual e consensual na arquitetura de madeira.

Para além disso, devido ao facto de o CLT necessitar de menos isolamento térmico, a composição final das duas paredes (uma em alvenaria e outra em CLT) traduz-se na redução de 10 cm de espessura, em média, em edifícios de estrutura em CLT face à solução tradicional, já que a espessura de um painel CLT, no que se refere a uma parede de um edifício habitacional corrente é no mínimo de 6 cm, enquanto de um tijolo é no mínimo 11 cm.

Além disso, a solução de parede exterior em CLT será em geral simples, podendo muitas vezes a solução em betão armado determinar paredes duplas. A diferença em ganhos “volumétricos” e de área de construção é assim significativa para o CLT.

No caso em estudo, embora o “projeto variante” não tenha sido concebido como um projeto de madeira, mas sim como um projeto de betão armado, tendo sido posteriormente adaptado para passar a ter estrutura em CLT, e embora algumas das escolhas não sejam muito coerentes, como por exemplo, o facto de o CLT não estar aparente de forma alguma, foi possível ainda assim, obter-se um ligeiro ganho de áreas, derivado apenas da troca do material estrutural.

Uma arquitetura em CLT dá mais liberdade de conceção, resultando em espaços amplos, com mais área e volumetria e até com mais facilidade de integrar infraestruturas já que elas podem passar em qualquer parede.

No capítulo 3 e 4 encontram-se os valores correspondentes às áreas de ambos os projetos, onde se obteve uma área útil total de 52,15 m² para a habitação A e de 71,83 m² para habitação B do “projeto base”, ou seja, do projeto de estrutura de betão armado, e uma área útil total de 53,37 m² para a habitação A e de 75,90 m² para o “projeto variante”, ou seja, para o projeto de estrutura em CLT.

Do “projeto base” para o “projeto variante” a área útil aumentou 1,22 m² para a habitação A e de 4,07 m² para habitação B, totalizando, apenas com a troca de material estrutura, um ganho de área de 5,92 m², que embora seja um ganho ligeiro, só demonstra que se o projeto tivesse sido concebido para ser em CLT, o ganho de área, muito provavelmente, ainda teria sido muito maior, ver quadro 5.1.

Quadro 5.1 – Áreas do “projeto base” e do “projeto variante”

Piso	Habitação	“Projeto base”		“Projeto variante”	
		A	B	A	B
	Compartimento	Área (m ²)	Área (m ²)	Área (m ²)	Área (m ²)
0	Hall de entrada	1,50	4,74	1,66	4,21
	Quarto	11,81	17,09	11,98	16,94
	Instalação Sanitária	4,21	4,57	4,58	4,64
	Arrumo	1,96	5,74	4,30	5,18
1	Sala de estar e kitchenette	17,59	31,14	15,20	27,21
	Escadas	4,98	4,99	5,05	5,15
Sótão	Sala	5,08	4,71	10,60	12,57
	Total	47,13	72,98	53,37	75,9

O “projeto base” neste caso têm uma arquitetura mais funcional que o “projeto variante”. Contudo, se o “projeto variante” tivesse sido projetado logo para ser uma estrutura em madeira e não uma adaptação de uma estrutura em betão armado, certamente seria o projeto arquitetónico de eleição, se outros parâmetros não influenciassem essa decisão.

Uma arquitetura em CLT dá mais liberdade de conceção, resultando em espaços amplos, com mais área e volumetria e até com mais facilidade de integrar infraestruturas já que elas podem passar em qualquer parede, atendendo à estrutura do tipo laminar contínuo adotada no CLT.

5.5. ANÁLISE ESTRUTURAL

A estrutura de um edifício é a responsável pela estabilidade e durabilidade do mesmo, pelo que a escolha do material estrutural é crucial para garantir que o edifício cumpre o propósito para o qual foi projetado, durante o período de vida útil previsto.

O betão armado combina betão e aço formando uma combinação que consegue absorver tensões de tração e fornecer, através da armadura de aço, boa resistência à compressão. O CLT, por ser um conjunto de lamelas dispostas em estratos ortogonais consegue, através dessa organização das lamelas, ser uma estrutura rígida e resistente, pronta para resistir quer a nível horizontal quer a nível vertical.

A baixa densidade do CLT face à alta resistência que ele tem, é uma das grandes vantagens do CLT a nível estrutural e da sua aplicação, pois os edifícios conseguem ser leves, não necessitando de fundações tão robustas, contrariamente ao betão armado, que possuiu um peso próprio considerável.

Em termos estruturais, para edifícios de pequenas dimensões, a estrutura em CLT será a opção mais vantajosa, pois como a compartimentação é feita com painéis CLT e como estes painéis, são painéis resistentes que distribuem os esforços, não haveria necessidade de existirem pilares nem vigas, apenas paredes resistentes e lajes em CLT.

Para edifícios maiores e mais complexos, uma estrutura em betão armado tem mais facilidade em lidar com a ação do vento e por isso, nesses casos, talvez faça mais sentido recorrer a este tipo de estrutura.

Neste caso de estudo, comparando o “projeto base” com o “projeto variante”, é possível observar que é mais lógico, por ser um edifício habitacional pequeno, recorrer à estrutura em CLT do que à estrutura em betão armado.

Contudo, outros fatores favorecem a escolha da estrutura em CLT, como é o caso das fundações, já que devido ao facto de ser um edifício em banda, as fundações ficam condicionadas única e exclusivamente ao espaço do lote, o que pode ser uma inconveniência. Como a estrutura em CLT requer fundações menos robustas, esse é um aspeto positivo da estrutura em CLT.

A estrutura em betão armado projetada no “projeto base” não é de todo inviável nem uma má opção, mas em comparação com esta opção em CLT, a nível estrutural tem pior desempenho.

5.6. ANÁLISE DAS INFRAESTRUTURAS

5.6.1. TÉRMICA

A avaliação térmica dos edifícios é um fator preponderante aquando da conceção de uma habitação, já que, para se garantir o conforto térmico, é necessário compreender as interações térmicas entre o edifício e a envolvente, encontrando as melhores soluções construtivas para o cumprimento desse objetivo.

Através desta análise pretende-se entender qual das soluções entre a do “projeto base” e a do “projeto variante” funciona melhor, ou seja, qual das soluções proporciona maior conforto térmico. Os valores obtidos no estudo do comportamento térmico estão dispostos no quadro 5.2.

Quadro 5.2 – Indicadores de desempenho térmico no “projeto base” e no “projeto variante”

Parâmetro	“Projeto Base”		“Projeto Variante”	
	Habituação A	Habituação B	Habituação A	Habituação B
N_{ic} (kWh/m ² .ano)	19,38	21,42	15,77	16,74
N_i (kWh/m ² .ano)	33,82	34,23	26,83	26,97
N_{vc} (kWh/m ² .ano)	9,68	13,29	10,57	13,03
N_v (kWh/m ² .ano)	15,23	15,23	15,23	15,23
N_t (kWh/m ² .ano)	68,44	81,69	58,36	68,93
N_{tc} (kWh/m ² .ano)	146,87	150,83	129,40	132,68
$R = N_v / N_{tc}$	0,47	0,54	0,45	0,52
Classe Energética	A ⁺	B ⁻	A	B ⁻
I_t (kg/m ³)	355,75	309,37	182,85	162,11

Como realçado anteriormente, o “projeto variante” não foi concebido como um projeto de estruturas de madeira, pois foi um projeto adaptado de um projeto cuja estrutura era em betão armado, pelo que os valores desta análise podem não corresponder exatamente aos valores expectáveis para um projeto de CLT, desenvolvido desde o início como tal.

Através da observação dos valores do quadro 5.2, é possível analisar que os valores máximos das necessidades nominais anuais de energia primária, e de energia útil para arrefecimento são superiores no “projeto base” do que no “projeto variante”, o que significa que a habitação em CLT necessita de menos energia primária e de menos energia para arrefecimento, contudo necessita de igual energia para arrefecimento, quer numa solução quer noutra.

Os valores das necessidades nominais anuais de cálculo cumprem, em ambos os projetos, a regulamentação, sendo inferiores aos valores máximos. Contudo, é de notar que no “projeto variante”, as necessidades nominais de energia útil de arrefecimento têm valores ligeiramente maiores do que no “projeto base”, situação que não acontece para as restantes necessidades (de energia primária e de aquecimento).

O “projeto variante” possuiu menor inercia térmica, o que significa que as transferências de calor entre a envolvente e o interior do edifício são maiores. Em consequência disso, o interior atinge rapidamente a temperatura do exterior, e por cauda disso é que as necessidades nominais de energia útil de arrefecimento são maiores, pois há uma necessidade de equilibrar a temperatura do interior através de arrefecimento.

Ambas as soluções obtiveram a mesma classe energética para as habitações, A e B, com os valores de R semelhantes.

A inércia térmica é uma característica importante na análise do conforto térmico de edifícios e analisando o quadro 5.2 é possível concluir que a diferença de inércia térmica entre o “projeto base” e o “projeto variante” é significativa.

No caso do “projeto base”, a inércia térmica é maior, o que significa que o edifício tem a capacidade de absorver e armazenar uma quantidade considerável de calor, retardando as mudanças de temperatura no interior ao longo do tempo. A inércia térmica do “projeto variante” é menor face à do “projeto base”, uma vez que edifícios em CLT têm uma menor capacidade de armazenar calor, resultando numa resposta mais rápida às variações de temperatura externa.

Essa diferença não implica que um material seja melhor ou pior que o outro, apenas demonstra que são diferentes em termos de desempenho térmico. No caso de edifícios em CLT, a menor inércia térmica significa que estes são edifícios que aquecem mais rapidamente face a fontes de calor, como a luz solar ou sistemas de aquecimento, contudo, podem beneficiar de uma boa estanquidade ao ar, com sistemas de ventilação natural e mecânica bem dimensionados, adaptados às estações quentes e frias.

Devido à capacidade de resposta rápida dos edifícios em CLT, estes requerem menos energia para aquecimento e arrefecimento, se forem bem isolados e bem projetados ao nível da ventilação e pormenorização cuidada de prevenção de humidades e infiltrações.

Embora a inércia térmica do “projeto variante” seja menor do que a do “projeto base”, essa diferença traz benefícios em termos de aquecimento, arrefecimento e eficiência energética quando consideramos outros fatores como isolamento, ventilação e detalhes de construção adequados.

Em termos de conforto térmico, as soluções do “projeto base” e do “projeto variante”, ou seja, as soluções de estrutura em betão armado e de estrutura em CLT, apresentam praticamente o mesmo conforto térmico, embora a inércia térmica tenha um papel preponderante neste conforto.

5.6.2. ACÚSTICA

A avaliação da acústica das duas soluções construtivas, em betão armado e em CLT, é um fator esclarecedor para se confirmar as expectativas de que painéis CLT são efetivamente melhores em termos de conforto acústico. Os valores obtidos dos parâmetros acústicos do “projeto base” e do “projeto variante” são os dispostos no quadro 5.3.

Quadro 5.3 – Indicadores de desempenho acústico no “projeto base” e no “projeto variante”

Descrição	“Projeto Base”		“Projeto Variante”	
	$D_{2m,nT,w}$	$D_{nT,w}$	$D_{2m,nT,w}$	$D_{nT,w}$
Habitação A: Quarto piso 0	37,3	-	35,6	-
Habitação A: Sala de estar + kitchenette piso 1	36,7	-	35,5	-
Habitação A: Sala Sótão	35,3	58,4	34,9	50,4
Habitação B: Quarto piso 0	35,7	-	33,9	-
Habitação B: Sala de estar + kitchenette piso 1	35,4	-	33,8	-
Habitação B: Quarto sótão	35,0	58,1	35,5	50,5

Analisando os valores obtidos pelas duas soluções, é possível perceber que quanto ao parâmetro do isolamento sonoro $D_{2m,nT,w}$, o “projeto base” varia entre 35,0 dB e 37,3 dB e o “projeto variante” varia entre 33,8 dB e 35,6 dB, sendo estes valores a tradução da capacidade que cada estrutura, de cada projeto, tem em reduzir a transmissão sonora entre a envolvente e o compartimento em análise. Analisando os valores do isolamento sonoro, medido dentro dos compartimentos com requisitos, obteve-se para o “projeto base” valores em torno dos 58 dB e, para o “projeto variante” valores em torno dos 50 dB.

Quanto maior este valor de isolamento acústico, melhor é o isolamento sonoro, pelo que o “projeto base” tem melhor desempenho acústico, neste caso. Contudo, o “projeto base” é uma solução construtiva que possui 30 cm de espessura nas paredes exteriores, enquanto o “projeto variante” apenas apresenta uma espessura de 20 cm nas paredes exteriores, algo que certamente influenciou o índice de isolamento sonoro, já que quanto maior a massa disponível, maior a capacidade de absorção e dissipação das ondas sonoras.

A caixilharia também influencia o índice de isolamento sonoro, pois há uma transição entre parede-janela que precisa de ser corretamente assegurada em termos de isolamento. Para isso, caixilharias de baixa qualidade, folgas aquando da sua aplicação, má instalação e vedação e, por vezes, falta de isolamento térmico e acústico integrados, são fatores que contribuem para a redução da qualidade do isolamento sonoro da envolvente.

O “projeto variante”, de estrutura em CLT, apresenta menor isolamento acústico, face à solução construtiva em betão armado do “projeto base”, pelo que, para este caso de estudo, a solução construtiva em betão armado é ligeiramente melhor.

5.6.3. SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS

A segurança contra incêndios é um fator importante nesta comparação entre soluções construtivas, já que cada material estrutural reage ao fogo de forma diferente.

Os edifícios com estruturas em betão armado possuem bastante resistência ao fogo, já que o betão não queima nem liberta gases tóxicos, conseguindo através da sua estrutura densa e da sua boa resistência ao calor retardar o colapso estrutural durante um incêndio, o que permite uma evacuação segura.

Os edifícios com estruturas em CLT, ainda geram muito estigma porque a madeira é um material combustível, no entanto, o CLT quando submetido a altas temperaturas arde, mas ao mesmo tempo cria uma camada carbonizada na superfície, que acaba por atuar como uma barreira protetora que impede que o fogo se propague pelo interior do painel, e que adquire mais resistência, concebida através desta camada carbonizada.

As classes de resistência contra o fogo classificadas para o “projeto base” e para o “projeto variante” são as dispostas no quadro 5.4.

Quadro 5.4 – Classes de resistência ao fogo

Descrição	Classe de resistência	
	“Projeto Base”	“Projeto Variante”
Elementos estruturais apenas com função suporte de cargas	R30	R30
Elementos estruturais com função suporte e de compartimentação	REI30	REI60
Paredes de empena	EI60	REI60
Cobertura	REI60	REI60

Através do quadro 5.4, é possível observar que ambas as soluções construtivas têm a mesma classe de risco para as diferentes situações, o que reflete que a qualidade do material estrutural de ambas as soluções, em termos de segurança contra incêndios, está ao mesmo nível perante uma situação de incêndio.

O betão armado possui uma resistência intrínseca ao fogo devido às suas propriedades físicas, enquanto o CLT, o obtém através da criação da camada carbonizada nos painéis de madeira. Contudo, ainda que por diferentes razões, ambas as soluções construtivas conseguem dar semelhante resposta perante um incêndio.

5.6.4. OUTRAS ESPECIALIDADES

As especialidades de hidráulica e gás não são praticamente influenciadas pelo tipo de material estrutural, ou seja, o facto de o “projeto base” ter uma solução construtiva em betão armado e o “projeto variante” ter uma solução construtiva em CLT, em nada afeta as especialidades mencionadas, à exceção das travessias.

Um edifício em CLT dá mais liberdade de conceção para a localização das tubagens, pois estas podem atravessar qualquer painel da estrutura, o que não acontece em edifícios de betão armado, onde pilares e vigas, por exemplo, não podem ser atravessados.

No entanto, para um edifício em CLT, o planeamento eficiente das redes deve assegurar e preservar a integridade dos painéis, já que estes vêm furados de fábrica, e logo a preparação de rasgos e travessias não pode falhar. Qualquer erro implica custos adicionais relacionados com trabalhos complementares em obra, além das perdas de tempo e de qualidade das soluções que inevitavelmente ficarão feridas.

Nas obras de betão armado, caso se detete alguma ineficiência em obra, é possível remodelar o projeto inicial de modo a contrariar o erro que porventura “escapou” do projeto para a obra.

Nos projetos de especialidades de “redes”, não há grande diferença entre as duas soluções construtivas pois elas são pouco influenciadas pelo material estrutural.

5.7. DURABILIDADE

A durabilidade de um edifício é um fator em causa aquando da análise comparada de duas soluções construtivas, pois o objetivo da construção de uma habitação é que ela perpetue no tempo sem perder a sua qualidade.

O estudo da durabilidade considera a resistência das soluções construtivas aos agentes externos, a durabilidade estrutural das mesmas, bem como a manutenção necessária ao longo do período de vida útil para o qual foi dimensionado e também para o período consequente a esse.

Ambas as soluções construtivas, ou seja, tanto a estrutura em betão armado como a estrutura em painéis CLT, são projetadas para resistir a condições adversas e a ações naturais, como a precipitação, a radiação solar e as mudanças de temperatura ao longo das 24 horas do dia, embora o betão armado tendencialmente apresente maior resistência, já que não é um material natural como o CLT, que é de madeira.

Quanto à durabilidade estrutural, ambas as estruturas são dimensionadas para um período de vida útil de 50 anos, pelo que, à partida, durante esse período não serão necessárias intervenções muito invasivas. Contudo, todas as estruturas estão sujeitas a defeitos que possam acontecer em obra, que afetam o período de vida útil definido, condicionando a durabilidade dos edifícios, caso que se agrava nos edifícios em CLT, que são de origem natural e por isso são mais suscetíveis a perder anos de vida expectáveis.

A manutenção dos edifícios é o ponto chave para a sua durabilidade. Em edifícios de betão armado, esta manutenção é mais simples, principalmente se aquando da construção se protegeu o betão com revestimentos apropriados, por exemplo.

As estruturas em CLT, poderão exigir mais manutenção, através de tratamentos de proteção contra humidades e até mesmo insetos, mas tal será totalmente evitado, com uma boa conceção, pormenorização, fabrico e montagem das soluções, respeitando as especificações dos fabricantes, sobretudo ao nível dos materiais de junta e revestimentos exteriores de proteção, tal como se ilustram no capítulo 2.

O tipo de edifício e de localização são fatores decisivos na manutenção necessária do edifício.

Ambas as soluções construtivas são escolhas com durabilidade, contudo, necessitam de acompanhamentos e manutenções diferentes, pois também dependem de necessidades específicas diferentes. Pode considerar-se que, se bem projetadas e construídas, ambas as soluções têm durabilidades semelhantes e aptas ao uso corrente em Portugal.

5.8. SUSTENTABILIDADE

A sustentabilidade na construção é um tema importante a ser abordado nesta análise comparada entre o “projeto base” e o “projeto variante”, pois torna-se cada vez mais importante preservar e manter o meio ambiente que nos rodeia através de todas as atitudes que tomamos.

A solução construtiva do “projeto base” é uma solução em betão armado, solução essa que é muito recorrente atualmente, devido às suas ótimas características, contudo, o seu processo de fabrico não é de todo sustentável, para além de não ser um material com capacidade de reciclagem fácil e acessível, o que gera resíduos em grande escala.

A solução construtiva do “projeto variante”, em CLT, é uma solução altamente sustentável, sendo um material produzido de madeira, isto é, um material natural e renovável, com capacidade para ser

reciclado de forma fácil e acessível. Para além de ser oriundo de procedências sustentáveis, a redução das emissões de CO₂ para o ambiente, através da sua retenção nos painéis, é também algo a favor da sustentabilidade.

Na comparação das soluções construtivas de betão armado e de CLT ao nível da sustentabilidade, fica claro que a solução em CLT é a melhor solução, devidas às suas vantagens consideráveis, em termos ambientais.

6

CONCLUSÃO

6.1. ANÁLISE COMPARADA DAS DUAS SOLUÇÕES. SÍNTESE

A análise comparada do “projeto base” com o “projeto variante”, ou seja, a análise comparada de uma solução construtiva de betão armado com uma solução construtiva de painéis CLT, permitiu concluir que, pelo menos, neste caso de estudo, o CLT não apresenta vantagens significativas que incentivem a sua aplicação, pelo menos da forma como foi proposto neste projeto, ou seja, totalmente agarrado a uma solução arquitetónica que nasceu para ser feita com estrutura de betão armado.

O caso de estudo desta dissertação não foi tão conclusivo quanto à competitividade do CLT com outras soluções construtivas, como por exemplo o betão armado, uma vez que o projeto não “nasceu” para ser um projeto feito com estrutura em painéis de CLT, ou seja, que recorresse a soluções com muita elevada ou quase total execução em fábrica. O CLT exige, para ser competitivo, que seja usado num projeto de prefabricação o mais possível total, o que não é o caso no exemplo estudado.

Assim, o leque de benefícios que o CLT poderia oferecer ao edifício foi muito menor que o possível, já que a arquitetura do edifício não foi pensada como uma construção em madeira.

Para além disso, o custo do CLT, em Portugal, é bastante elevado face a uma solução mais tradicional, como o betão armado, pelo que o CLT continuará a ser aplicado em maior quantidade, em regiões em que o custo do material é mais acessível e onde não exista tanto estigma quanto aos edifícios em madeira e derivados.

Os edifícios com estrutura em CLT são, em geral, concebidos para que a sua estrutura fique à vista, realçando os seus atributos estéticos que beneficiam da qualidade estética da “madeira à vista”.

Como neste caso de estudo, o CLT foi adaptado a um projeto de betão armado, a sua estrutura fica oculta, desaproveitando as propriedades e benefícios do CLT. Mesmo assumindo uma solução sem enchimentos e revestimentos, diferente da pensada pelos arquitetos que conceberam o “projeto variante”, os ganhos de “amplitude volumétrica”, inerentes ao conceito de projeto arquitetónico em CLT, não existe neste caso.

Em termos de custos, o CLT ainda é uma solução “cara” em Portugal.

Os ganhos ao nível da sustentabilidade e da arquitetura modernista e inovadora não compensam, pelo menos para já, os custos acrescidos.

Não existem grandes diferenças entre as soluções no que se refere aos restantes parâmetros analisados.

6.2. CUMPRIMENTO DOS OBJETIVOS PROPOSTOS

Os objetivos definidos para esta dissertação podem muito sumariamente ser definidos como “comparar duas soluções construtivas ao nível estrutural” uma solução tradicional, com estrutura de betão armado e outra uma solução com estrutura em painéis CLT, ambas aplicadas sobre uma base de arquitetura totalmente semelhante nos dois casos.

Esse estudo comparativo foi efetuado com base na análise de diferentes parâmetros e indicadores, calculados ou obtidos da análise das duas soluções de projeto acima definidas.

Pretendia-se concluir, para este caso de estudo, sobre qual das soluções seria a mais adequada e também compreender a metodologia por detrás do dimensionamento de edifícios com CLT e no final entender se este é ou não um material competitivo no mercado.

Quanto ao nível da comparação, foi possível comparar as duas soluções, ao nível de custos e prazos, a nível arquitetónico, a nível estrutural, a nível das infraestruturas, ao nível da durabilidade e ao nível da sustentabilidade, a fim de se avaliar qual das duas soluções construtivas é a melhor, quer para este caso de estudo, extrapolando se possível para uma análise de caráter mais geral.

Concluiu-se que a solução em betão armado é melhor para o caso de estudo.

Em termos de extrapolação de conclusões, não é possível concluir nada com base no estudo efetuado, que possa permitir comparações sustentáveis entre as soluções em termos de uma ser “melhor ou pior” que a outra.

Considera-se assim que todos os objetivos enumerados foram cumpridos, embora não tenha sido possível tirar qualquer conclusão justificada sobre os tipos de projetos ou soluções em que o CLT será provavelmente mais competitivo e interessante que o betão armado.

6.3. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Para que a aplicação do CLT seja algo mais procurado e requisitado, existe a necessidade de trabalhar certas áreas e certos aspetos, que envolvem o custo, o estigma, a existência de normas e regulamentos para o CLT e a existência de fábricas em Portugal ou Espanha, deste material.

A redução do preço do CLT tornaria este material mais atrativo para diversos tipos de edifícios e aplicações. Esta redução de preço poderia ser conseguida através da automatização dos processos e através do aumento da matéria-prima disponível, de modo que a oferta fosse maior que a procura.

Um dos problemas que acompanha o CLT é o estigma pelas casa de madeira, pois a sociedade associa edifícios em CLT e em madeira em geral, a edifícios mais fracos e por isso não sente que a relação custo/benefício oferecida pelas “casas em madeira” seja interessante, muito menos enquanto o custo continuar alto.

Assim, ao nível de desenvolvimentos futuros, julga-se que será interessante desenvolver estudos comparativos semelhante a este, mas em que a solução base seja em CLT, baseada num projeto de arquitetura que nasceu como um “edifício em madeira”.

Como o CLT é competitivo em soluções de prefabricação total, os estudos deveriam preferencialmente associar-se a “projetos-tipo”, ou soluções do tipo “catálogo” que são e serão sempre as soluções mais interessantes e competitivas usadas em “edifícios em madeira”.

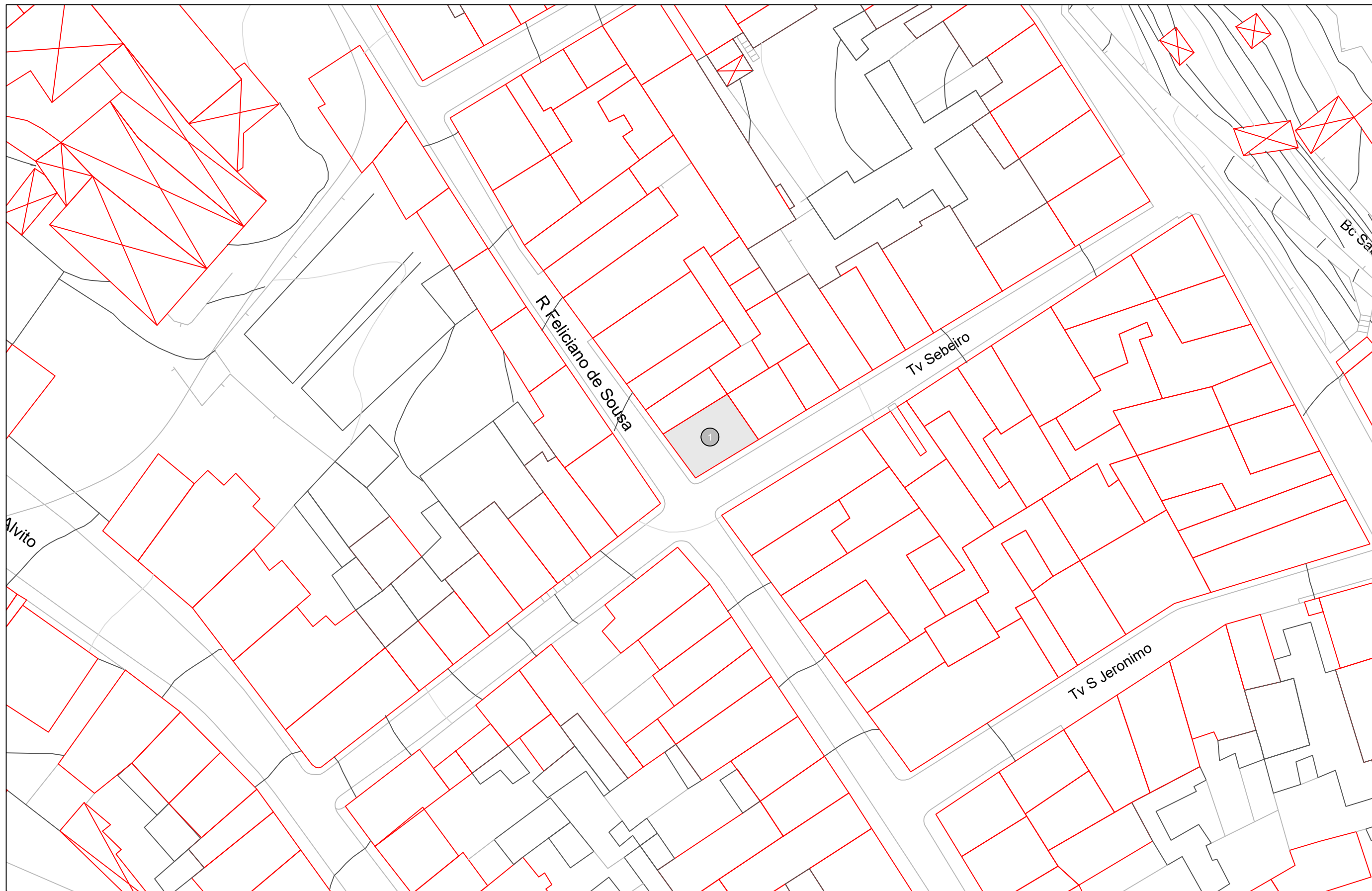
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Joana de Sousa Coutinho. *Materiais de Construção 1*. FEUP, 1999.
- [2] <https://www.tboake.com/2018/CLT%20primer.pdf>. Junho de 2023.
- [3] <http://www.tisem.pt/>. Junho de 2023.
- [4] <https://www.structuremag.org/?p=10054>. Junho de 2023.
- [5] <https://www.klh.at/wp-content/uploads/2019/10/cross-laminated-timber-072021.pdf>. Junho de 2023.
- [6] Da Costa, A. *Construção de edifícios com Cross Laminated Timber (CLT)*. Dissertação de Mestrado, FEUP, 2013.
- [7] Kurzinski, S., Crovella, P., Kremer, P. *Overview of Cross-Laminated Timber (CLT) and Timber Structure Standards Across the World*. Mass Timber Construction Journal, 2022, 13, NY.
- [8] https://www.researchgate.net/figure/Edgewise-finger-joint-left-flatwise-finger-joint-right_fig1_261884030. Junho de 2023.
- [9] <https://www.youtube.com/watch?v=BikISh6F1wo>. Junho de 2023.
- [10] <https://www.archdaily.com/922980/is-cross-laminated-timber-clt-the-concrete-of-the-future>. Junho de 2023
- [11] Ayanleye, S., Udele, K., Nasir, V., Zhang, X., Militz, H. *Durability and protection of mass timber structures: A review*. Journal of Building Engineering, 01/04/2022, 24, ELSEVIER.
- [12] Sousa, I. *Construção de um edifício em madeira (CLT)*. Dissertação de Mestrado, ISEP, 2020.
- [13] Sobur, K. *Basic of cross laminated of timber and optimal location for new CLT plant*. Dissertação de Mestrado, Centria, 2017.
- [14] Oliveira, G. *Cross Laminated Timber (CLT) no Brasil: processo construtivo e desempenho*. Dissertação de Pós-graduação, USP, 2018.
- [15] <http://passivhaus.pt/sobre?m=2>. Junho de 2023.
- [16] http://passivhaus.pt/download/2conf_bloco4-emanuel-lopes.pdf. Junho de 2023.
- [17] <https://fibran.it/en/solutions/etics/x-lam/etics-with-bp-etics-on-cross-laminated-timber-xlam-panels/>. Junho de 2023
- [18] https://www.csustentavel.com/wp-content/uploads/2021/10/2021.11.10_uminho_tisem.pdf. Junho de 2023.
- [19] Zhang, X., Fairhurst, M., Tannert, T. *Ductility Estimation for a Novel Timber–Steel Hybrid System*. Journal of Structural Engineering.
- [20] <https://eng.unimelb.edu.au/camph/research/projects/lightweight-concrete#partners>. Junho de 2023
- [21] <http://passivhaus.pt/blog-4-64-Inspirada-nos-antigos-armaz%C3%A9ns-de-sal,-vamos-conhecer-esta-Passive-House-em-Aveiro>. Junho de 2023.
- [22] Waugh Thistleton Architects on behalf of the Softwood Lumber Board & Forestry Innovation Investment. *100 PROJECTS UK CLT*, Canadá, 2018.
- [23] <https://www.e-architect.com/wp-content/uploads/2009/07/stadthaus-murray-grove-2.jpg>. Junho de 2023,

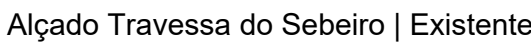
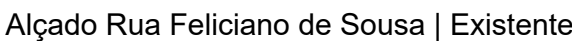
- [24] <https://www.archdaily.com/869703/the-smile-alison-brooks-architects>. Junho de 2023.
- [25] <https://infrastructuredevelopment.ubc.ca/projects/brock-commons-phase-1-tallwood-house/>. Junho de 2023
- [26] Green, M. *THE CASE FOR Tall Wood BUILDINGS How Mass Timber Offers a Safe, Economical, and Environmentally Friendly Alternative for Tall Building Structures*, mgb ARCHITECTURE + DESIGN, Equilibrium Consulting, LMDG Ltd, BTY Group, 2017.
- [27] <http://www.serc-europe.com/serc/portugues/ppci/SERC%20DOC.010.R1-Euroclasses%20de%20Resistencia%20ao%20Fogo.pdf>. Junho de 2023.
- [28] Ramos, N. Da Costa, J. *Instalações de Edifícios*, FEUP, 2022.
- [29] Cóis e Silva, V. Soares, I. *A Revisão dos Projectos como Forma de Reduzir os Custos da Construção e os Encargos da Manutenção de Edifícios*, http://www.oz-diagnostico.pt/pt/brochuras/C_05.pdf. Junho de 2023

Anexo A1

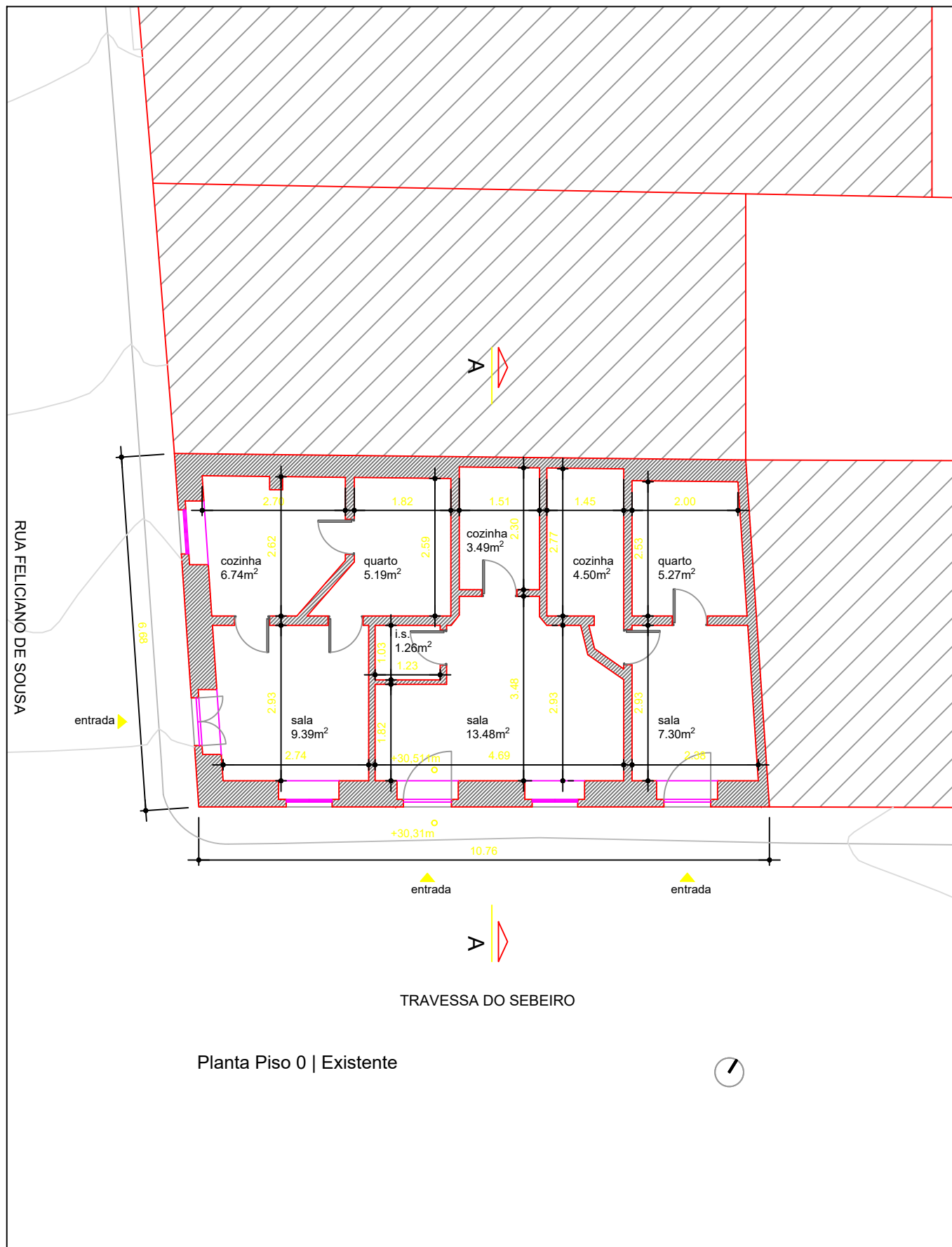
**PROJETOS DE ARQUITETURA E
ESPECIALIDADES DO “PROJETO BASE”**

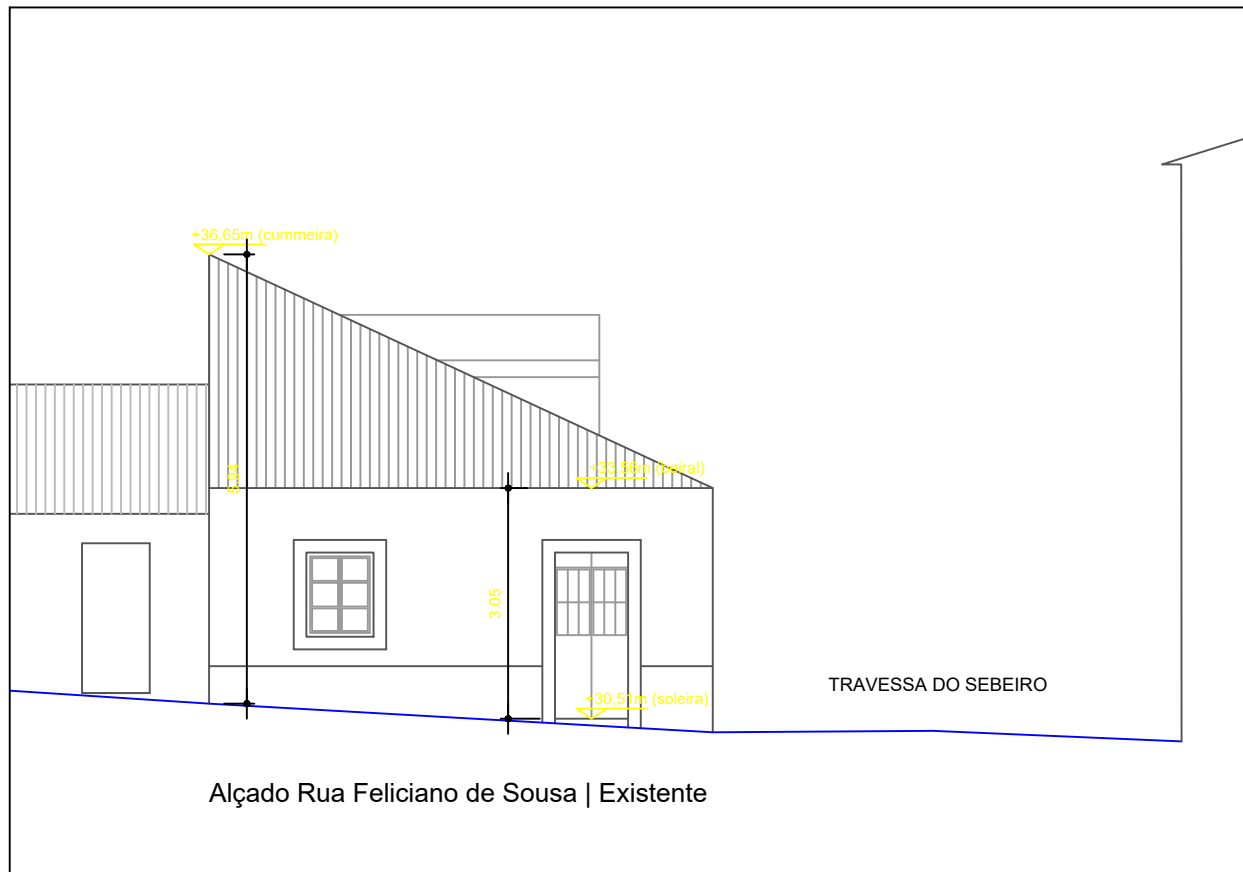
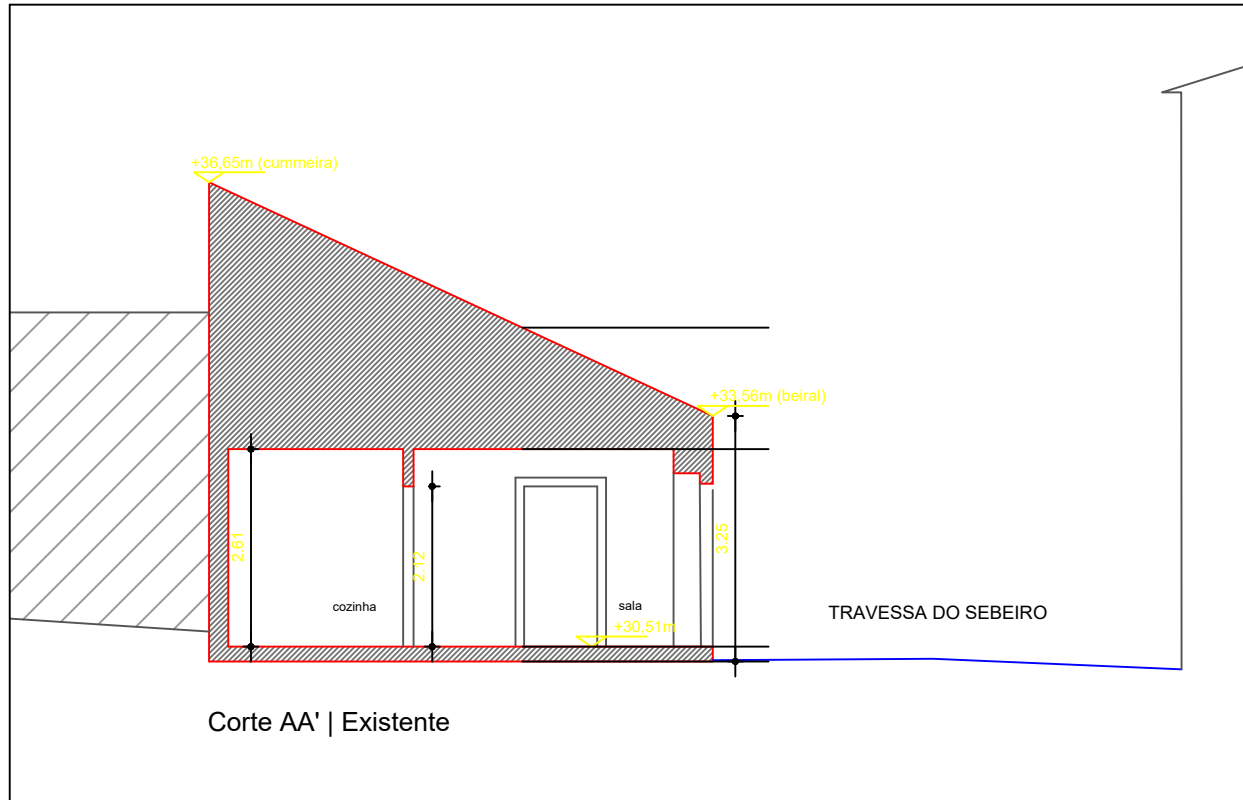


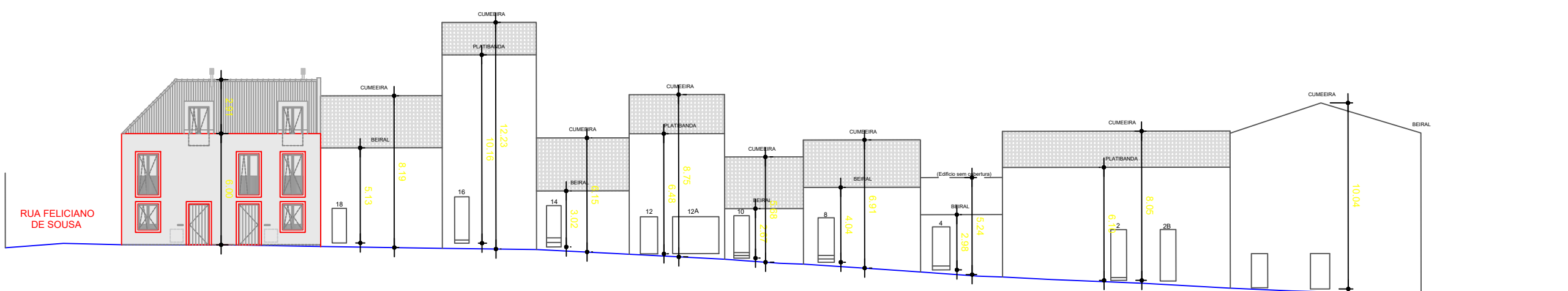
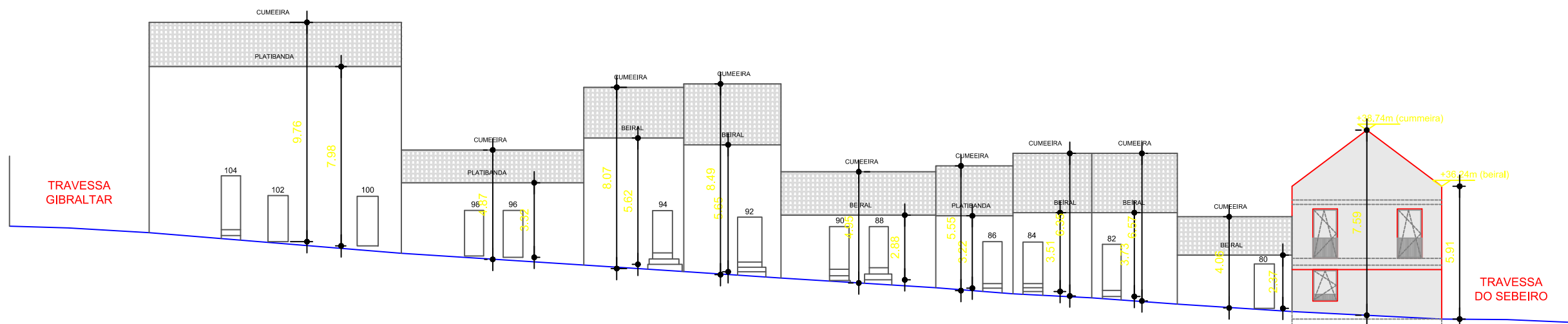
LEGENDA
● Lote de intervenção

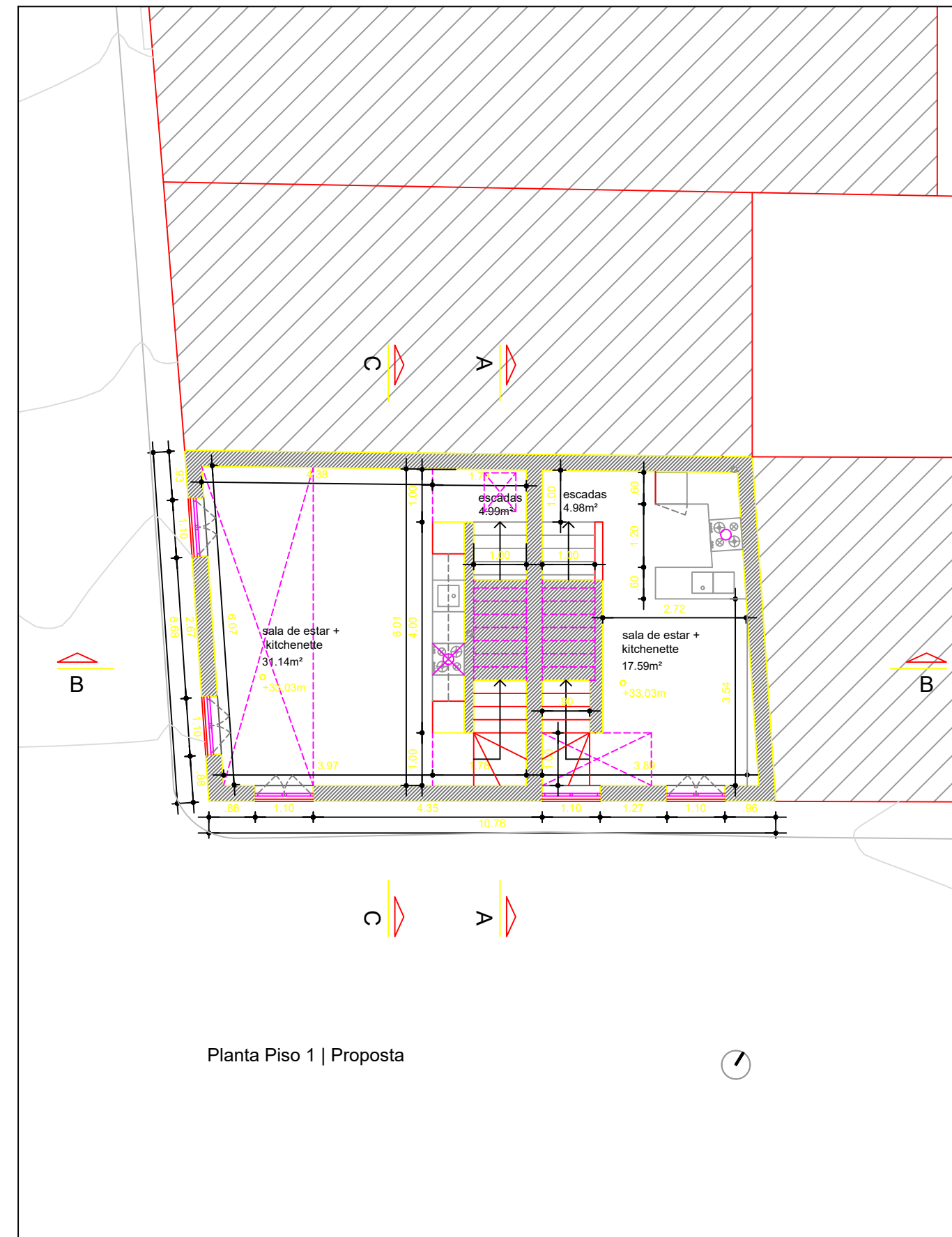
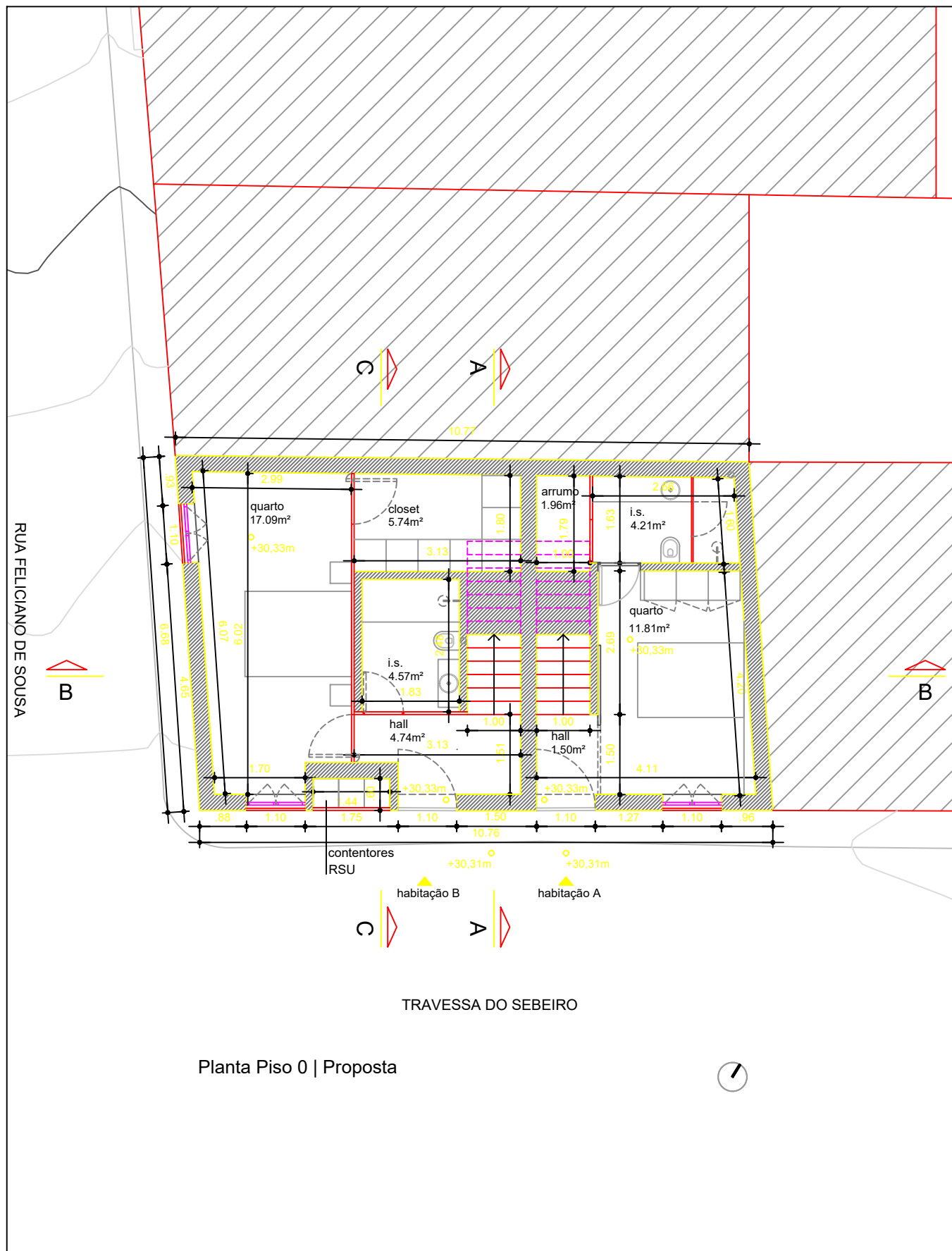


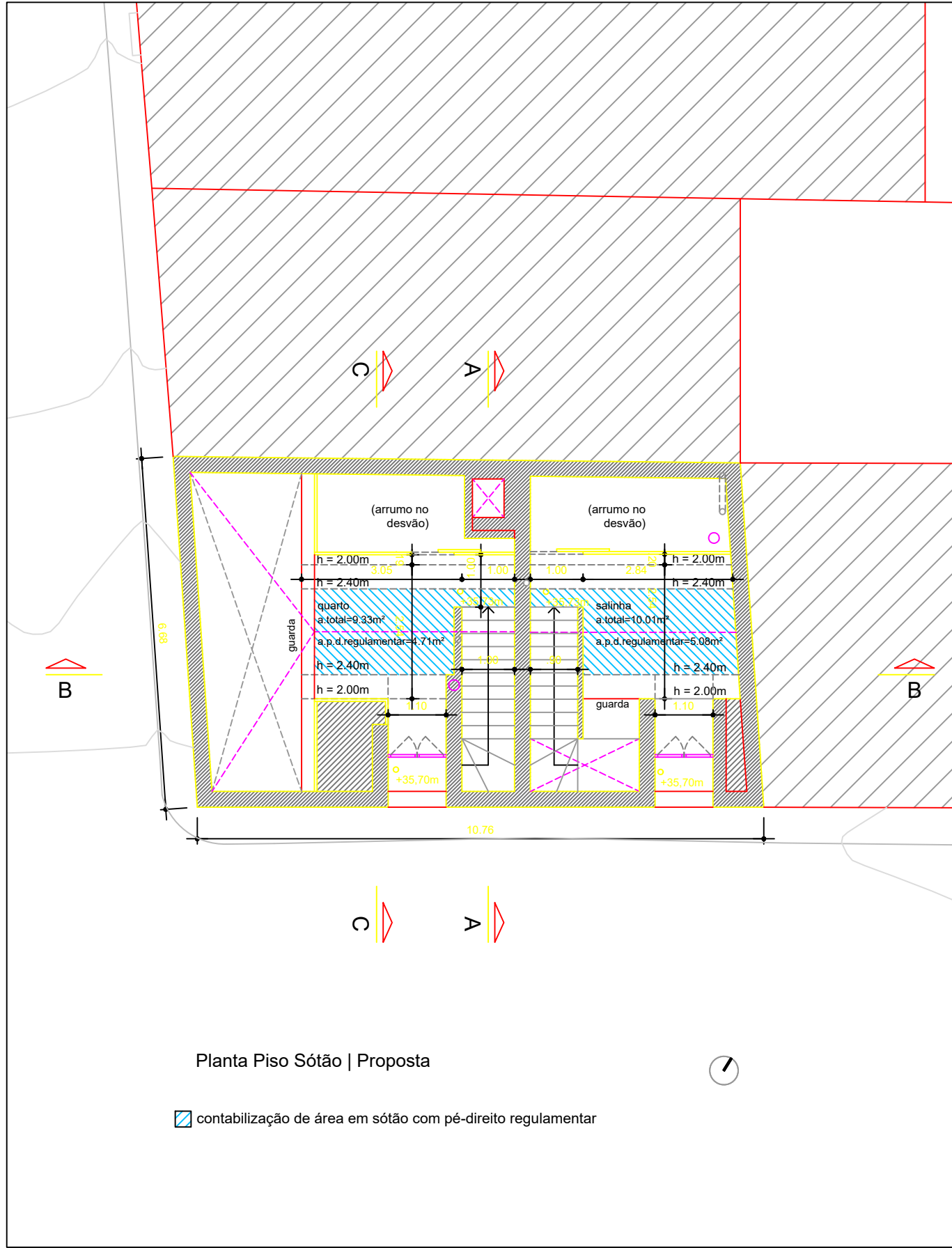
AREA= 300.89





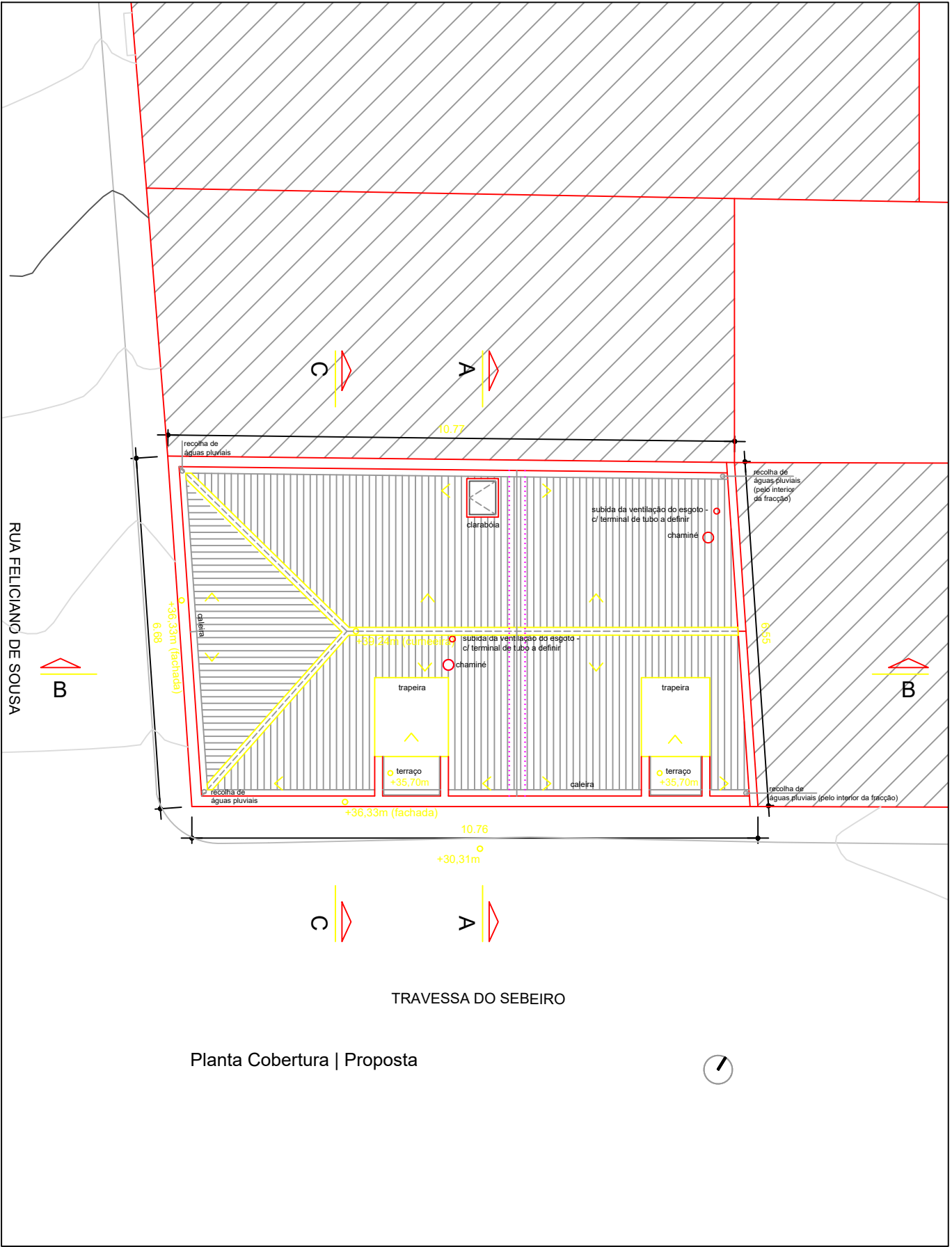




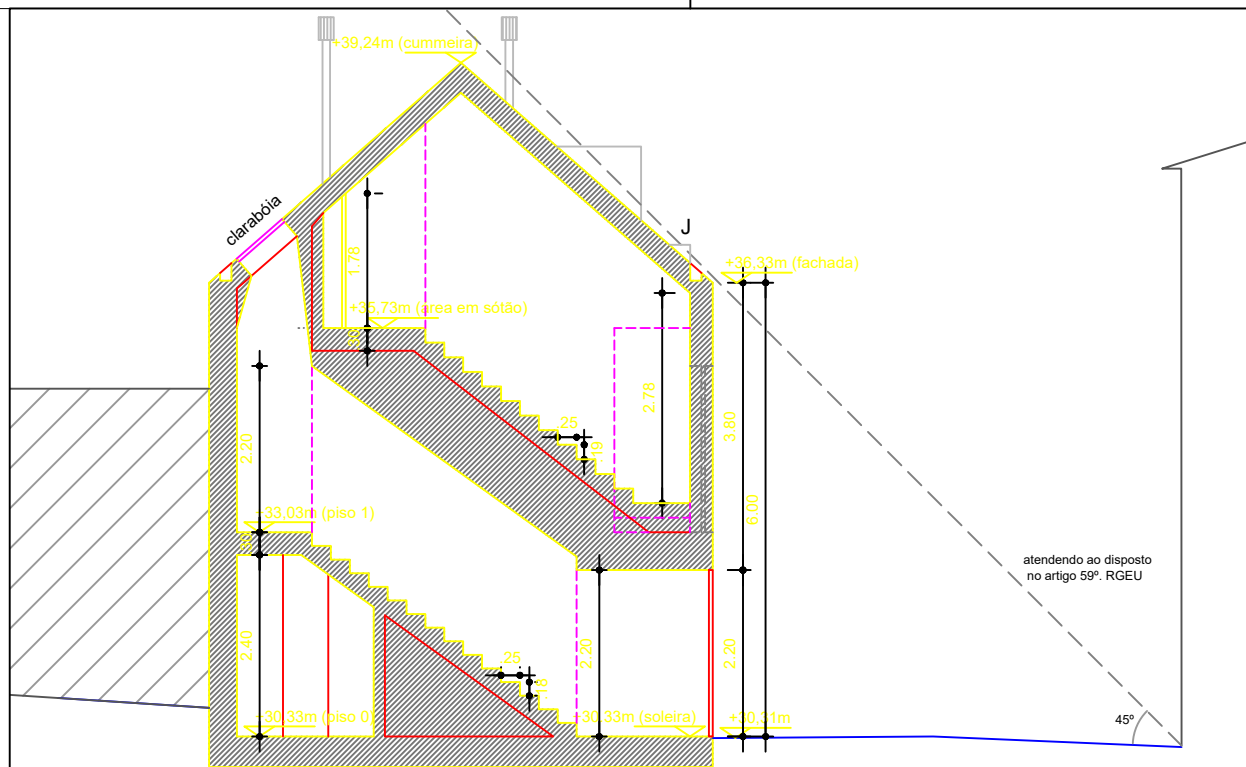


Planta Piso Sótão | Proposta

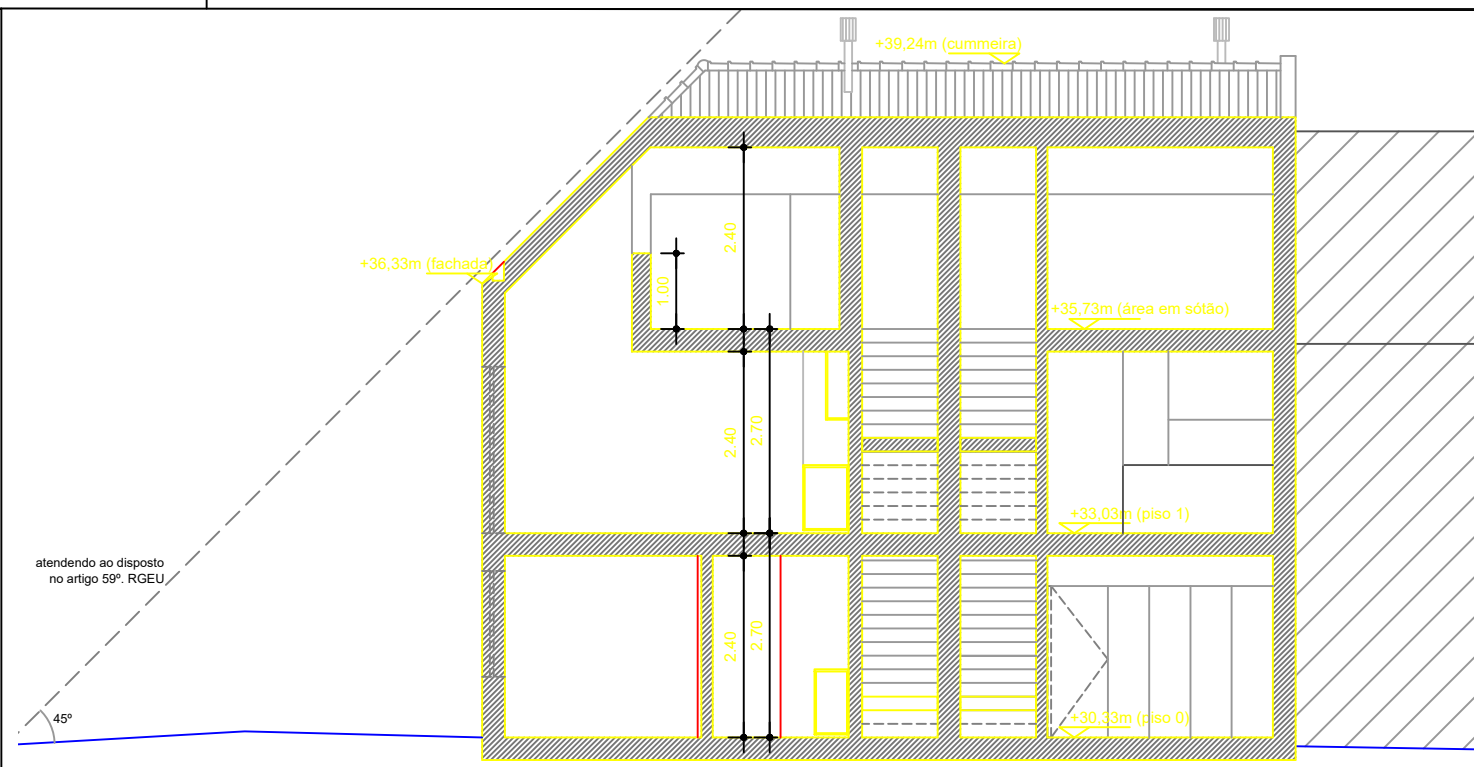
contabilização de área em sótão com pé-direito regulamentar



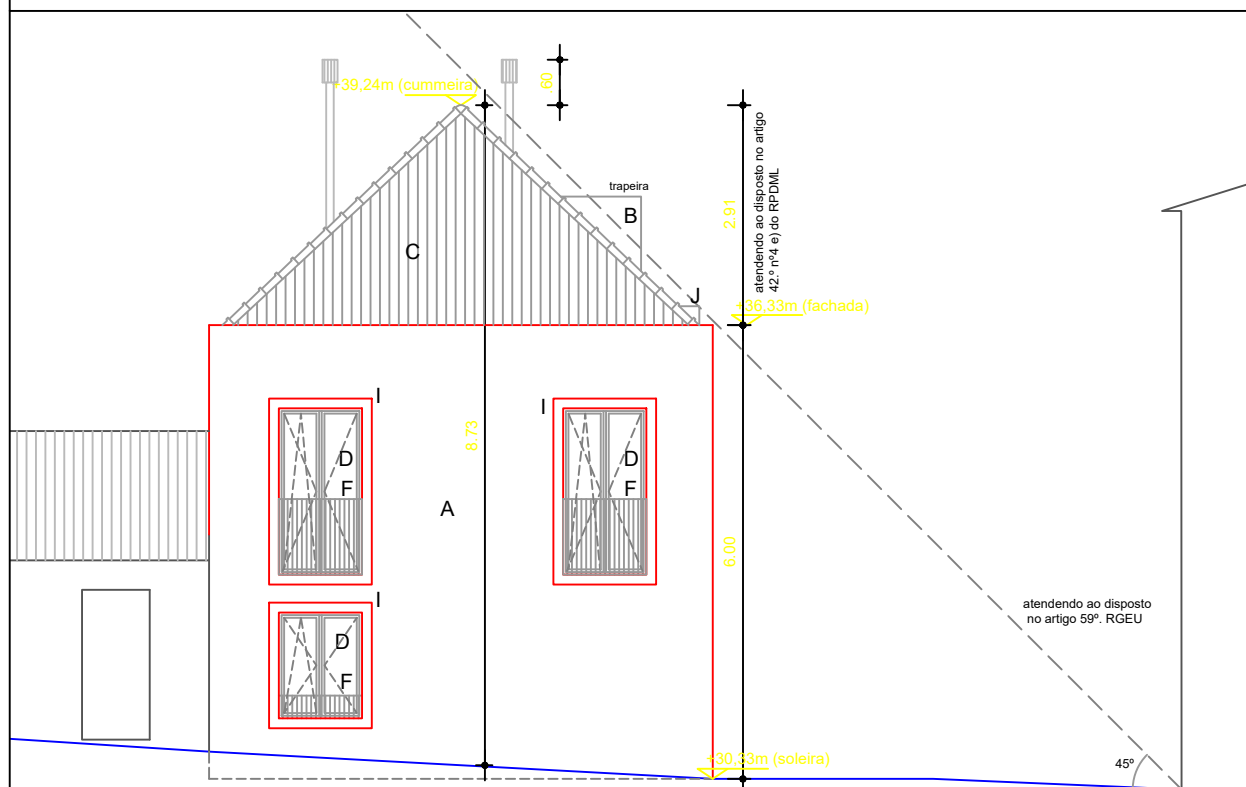
Planta Cobertura | Proposta



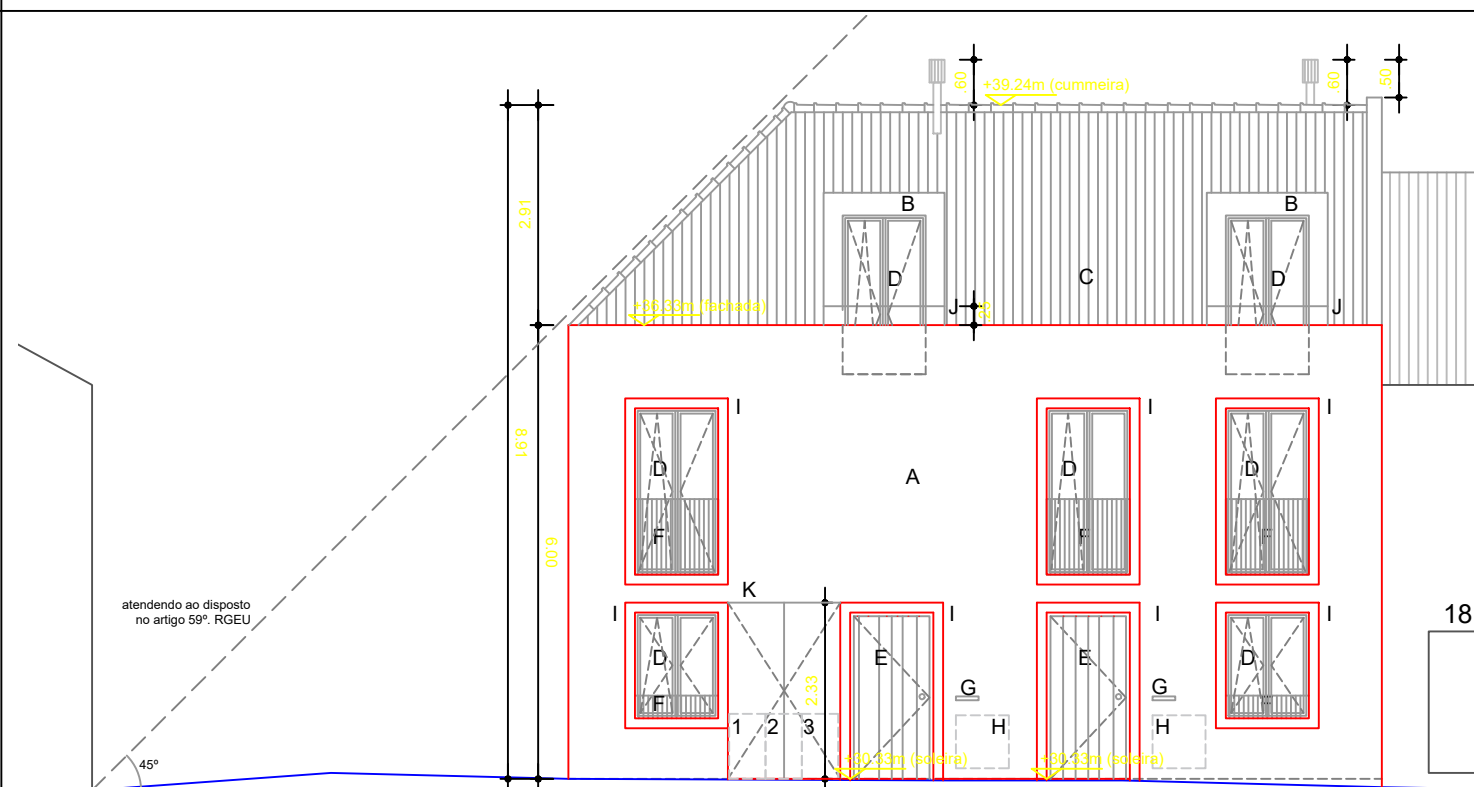
Corte AA' | Proposta



Corte Longitudinal BB' - Proposta

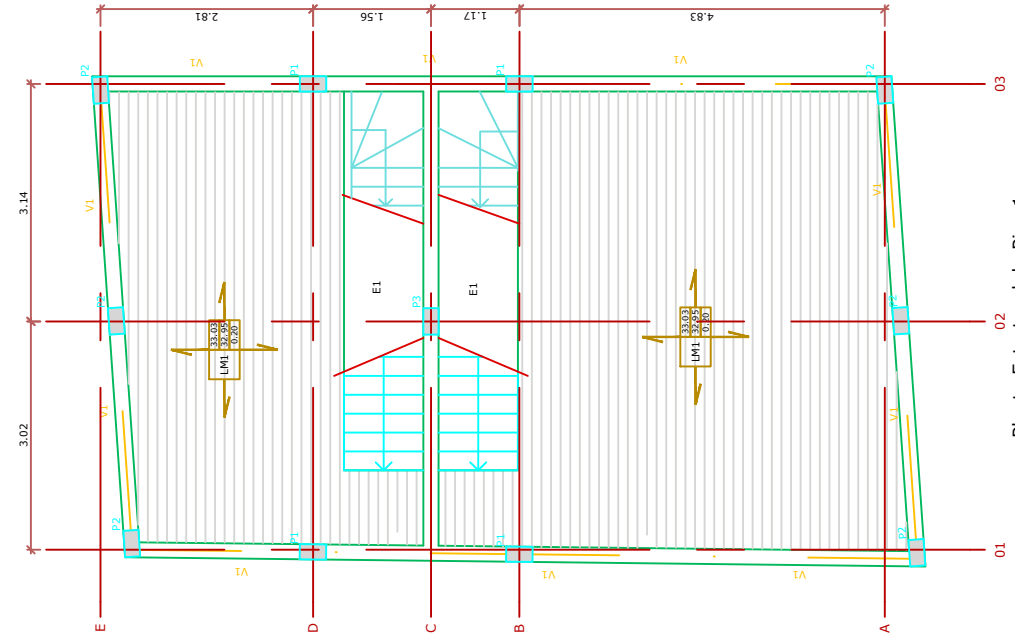


Alçado Rua Feliciano de Sousa | Proposta

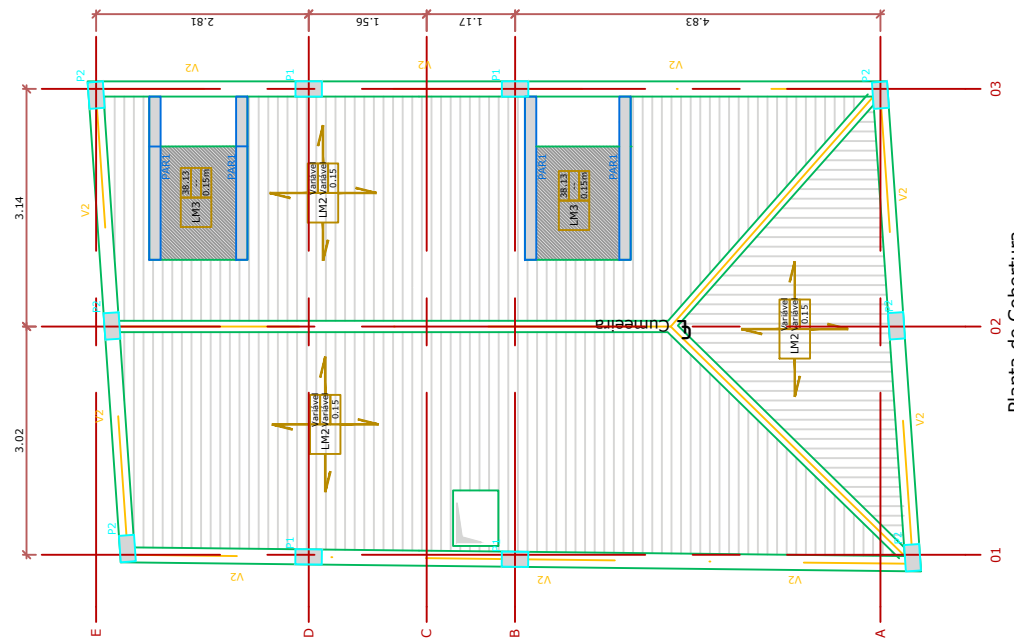


Alçado Travessa do Sebeiro | Proposta

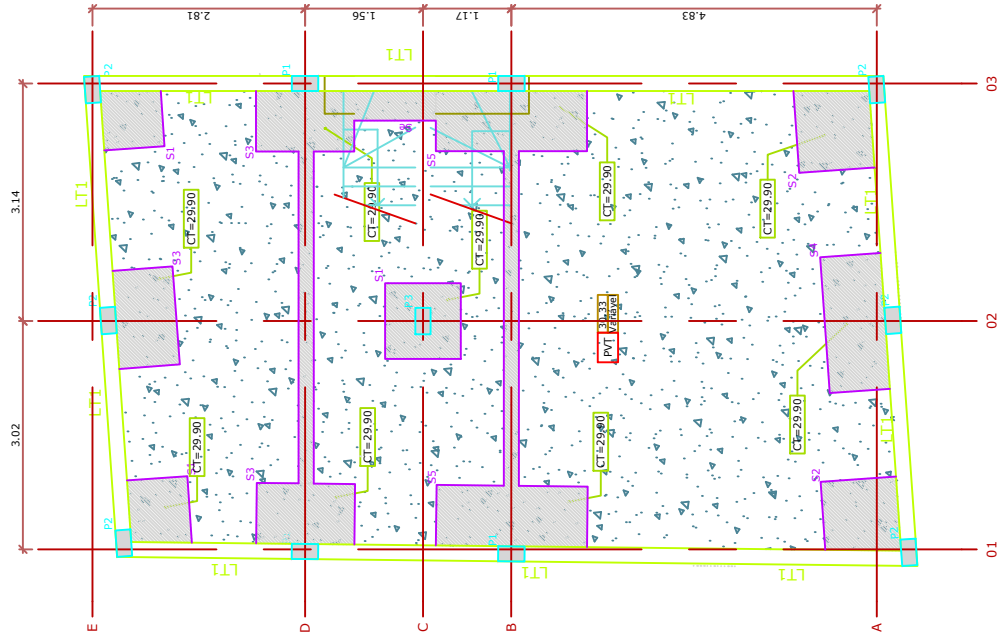
Planta Estrutural do Piso 1



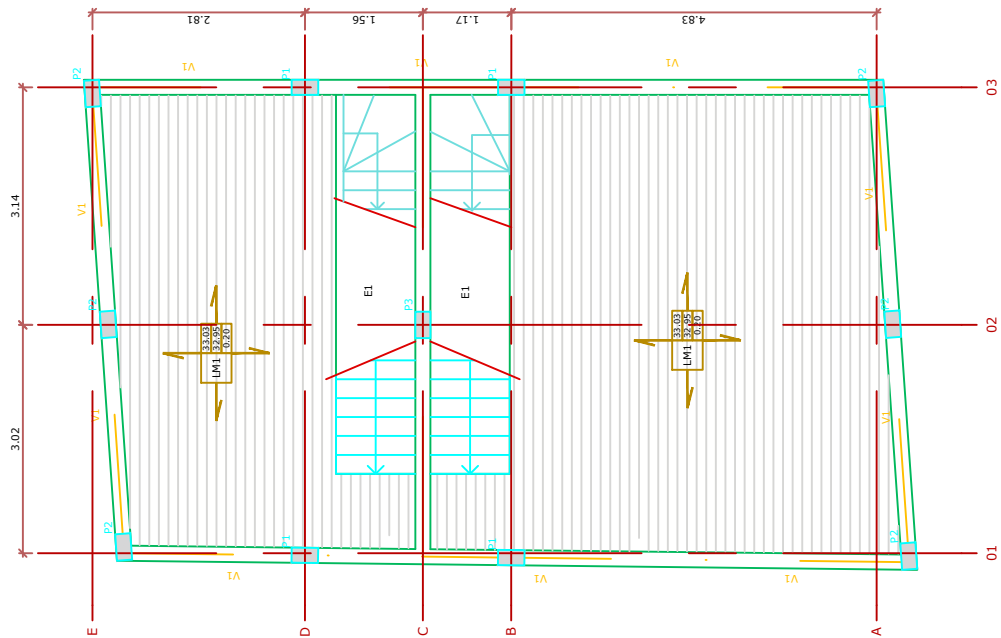
Planta de Cobertura

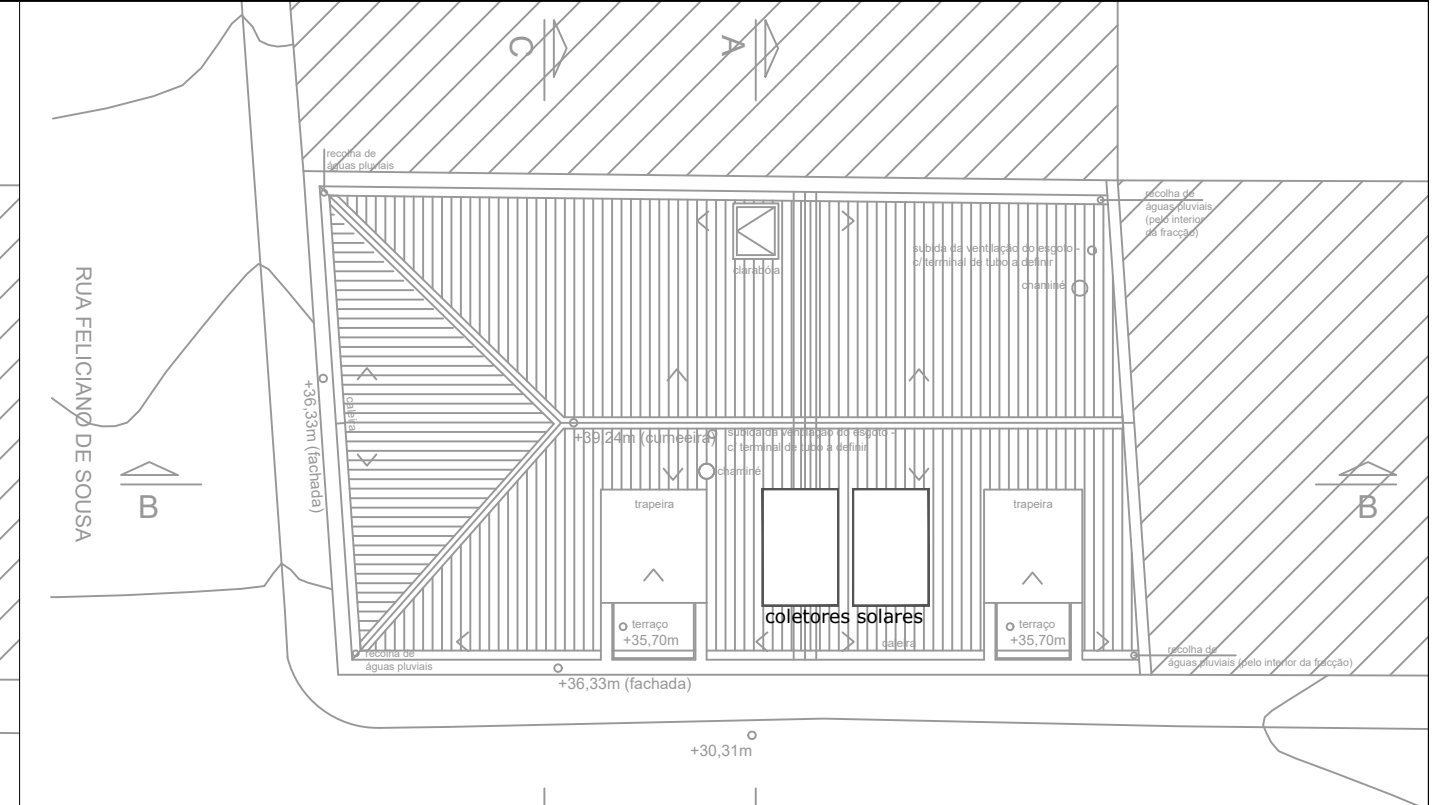
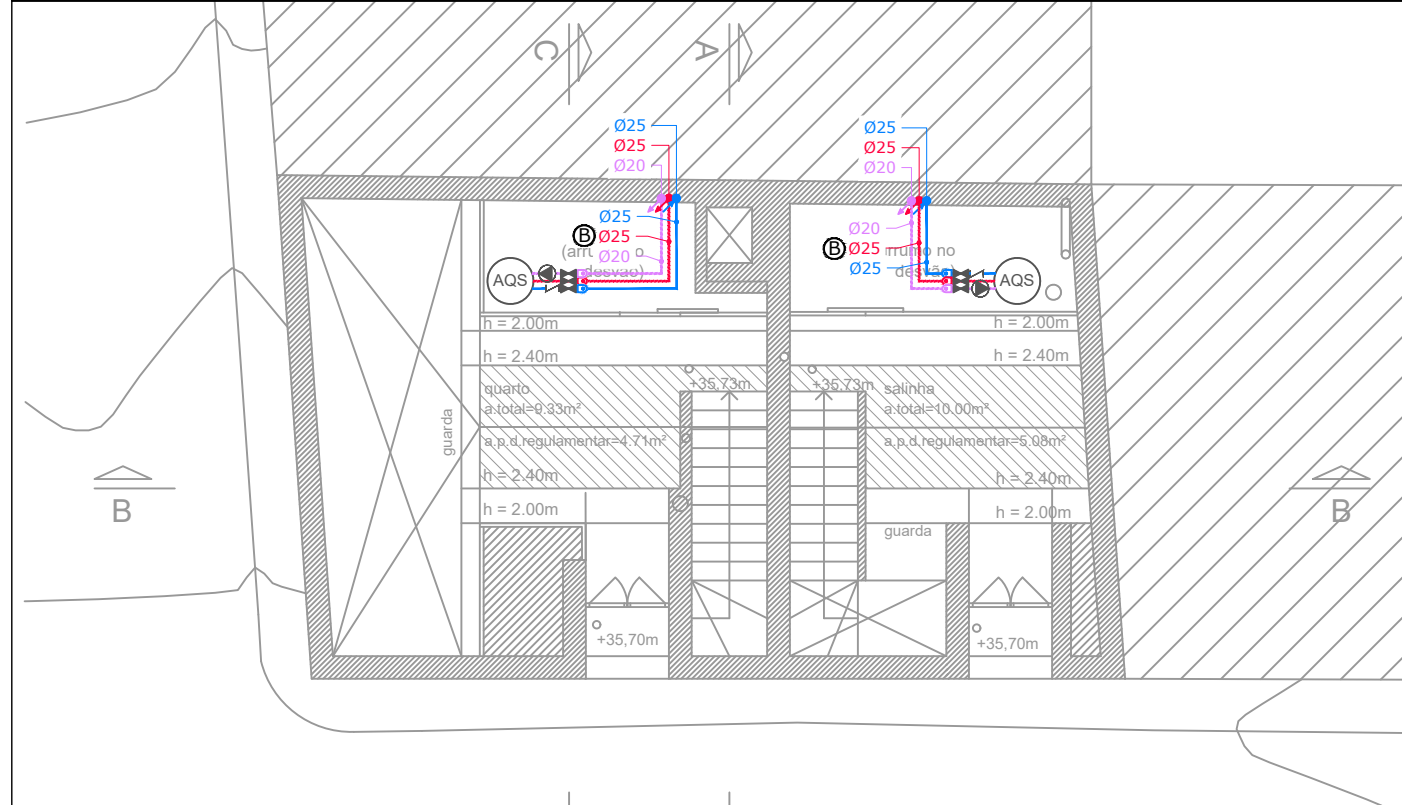
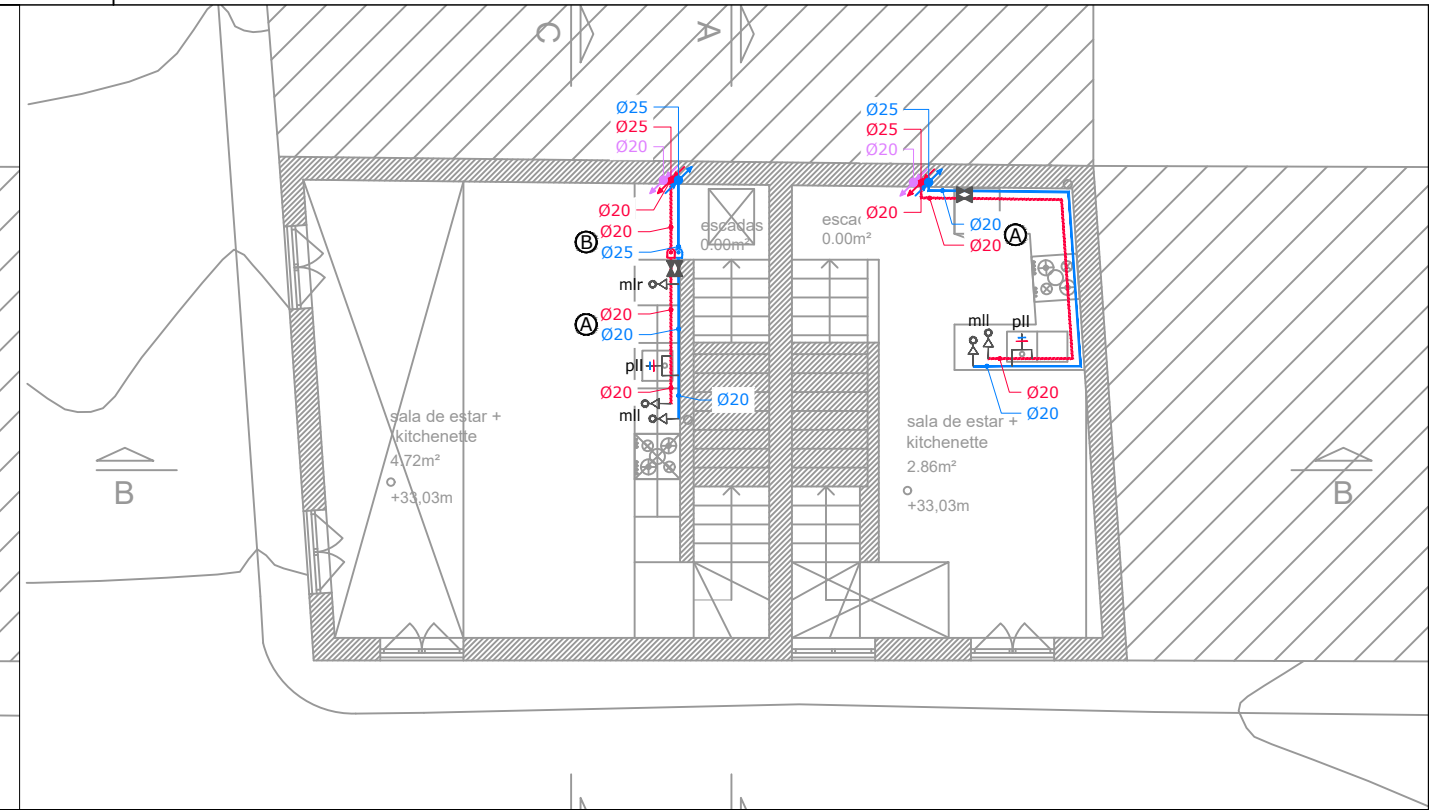
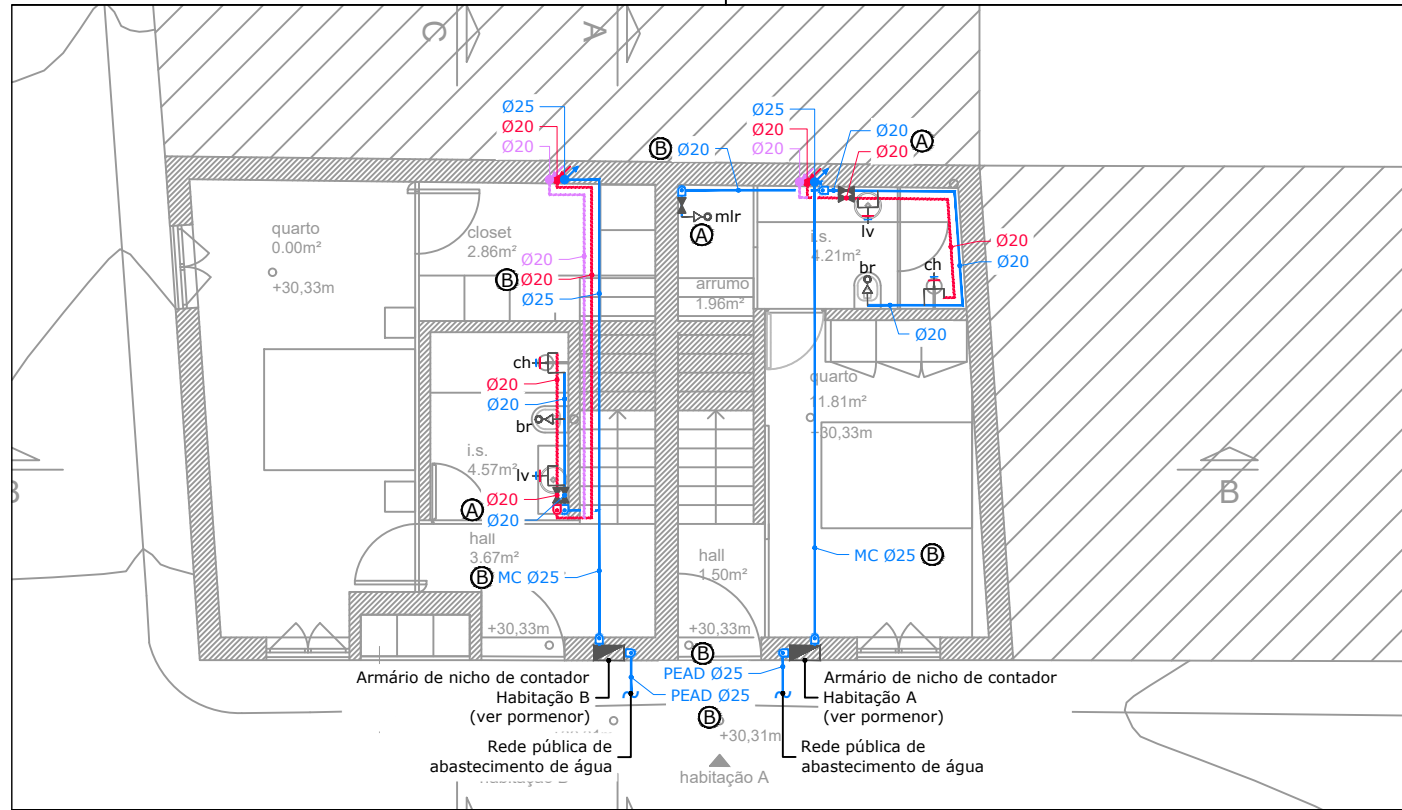


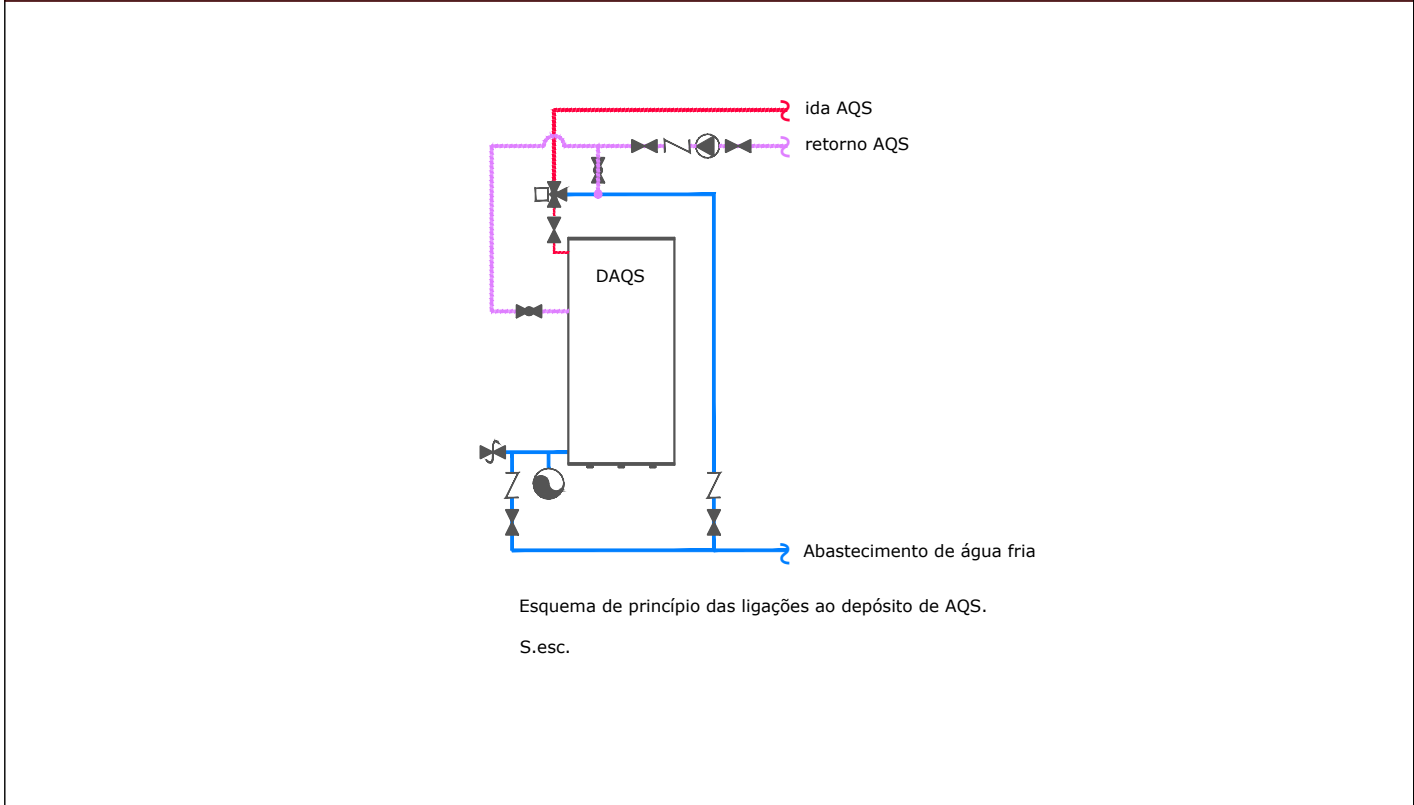
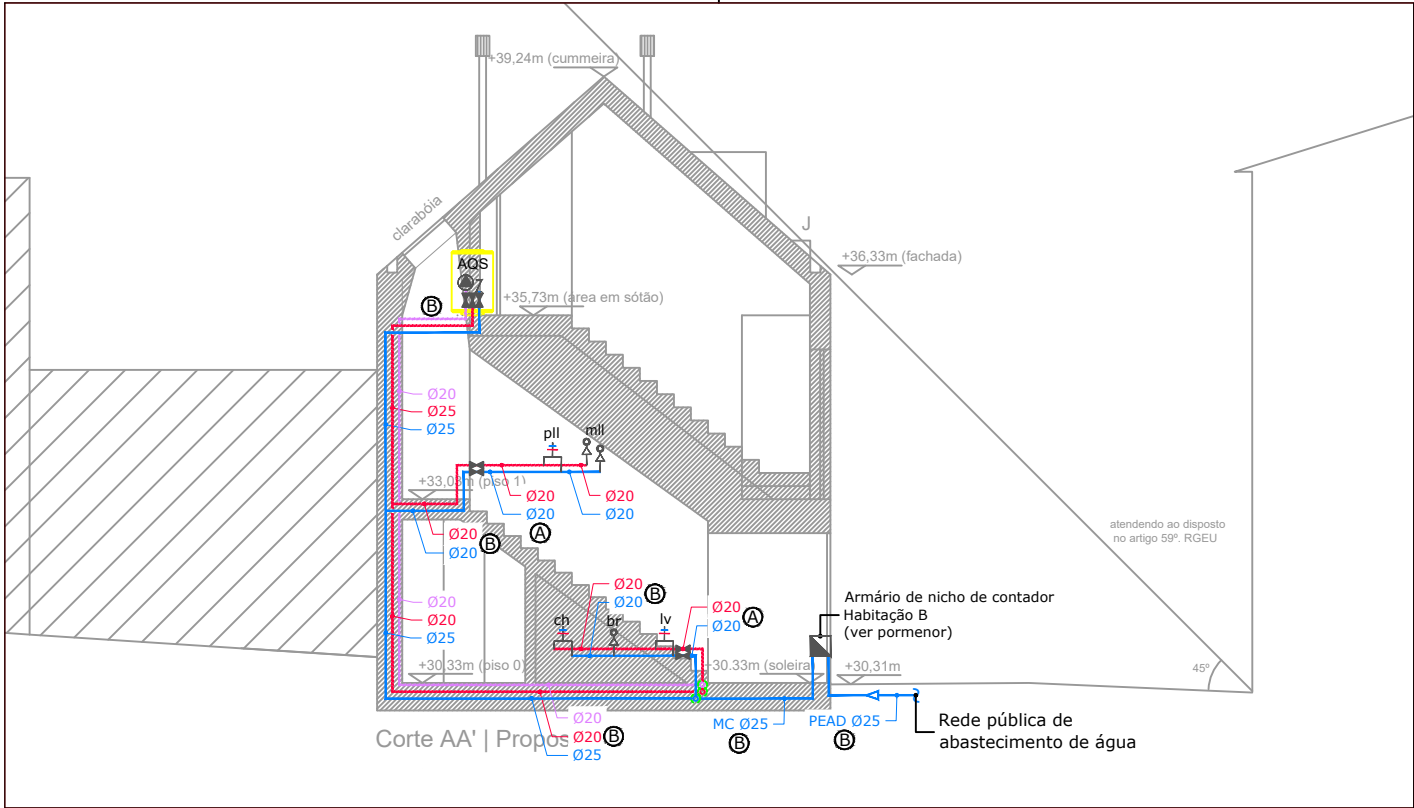
Planta de Fundações



Planta Estrutural do Piso 1







LEGENDA

SIMBOLOGIA

- Limite de intervenção
- Tubagem de água fria
- Tubagem de água quente
- Tubagem de água quente de retorno
- Coluna ascendente para o piso superior
- Coluna descendente para o piso inferior
- Coluna ascendente do piso inferior
- Coluna descendente do piso superior
- Coluna ascendente com passagem pelo piso
- Coluna descendente com passagem pelo piso
- Queda da tubagem da esquerda para direita
- Queda da tubagem da direita para esquerda
- Sentido de escoamento
- Torneira de esquadria
- Torneira de simples
- Torneira misturadora
- Torneira de serviço
- Válvula de seccionamento
- Válvula de retenção
- Válvula de seccionamento com retenção incorporada
- Válvula misturadora termostática
- Eletroválvula
- Válvula redutora de pressão
- Transição de material de tubagem
- Boca de rega
- Bomba de recirculação de AQS
- Depósito de AQS
- Nicho de Contador

- ① - Diâmetro nominal da tubagem
② - Indicação de material
③ - Sentido de escoamento

MATERIAL DA TUBAGEM

- TUBAGEM EXTERIOR
- Tubo PEAD PE100 PN10
- ÁGUA FRIA INTERIOR
- Tubo multicamada (MC) PE-RT / AL / PE-RT
- ÁGUA QUENTE
- Tubo multicamada (MC) PE-RT / AL / PE-RT

RAMAIS INDIVIDUAIS

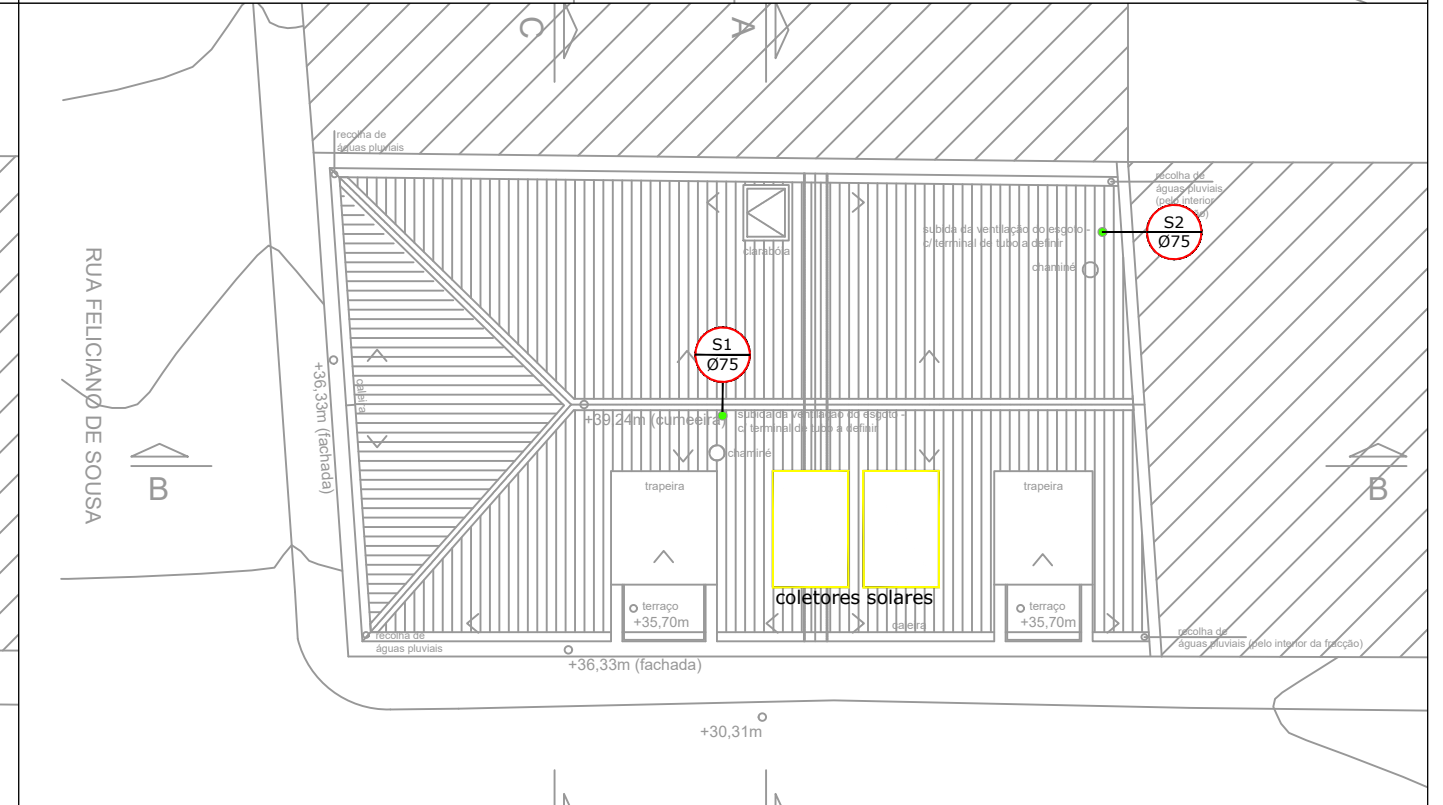
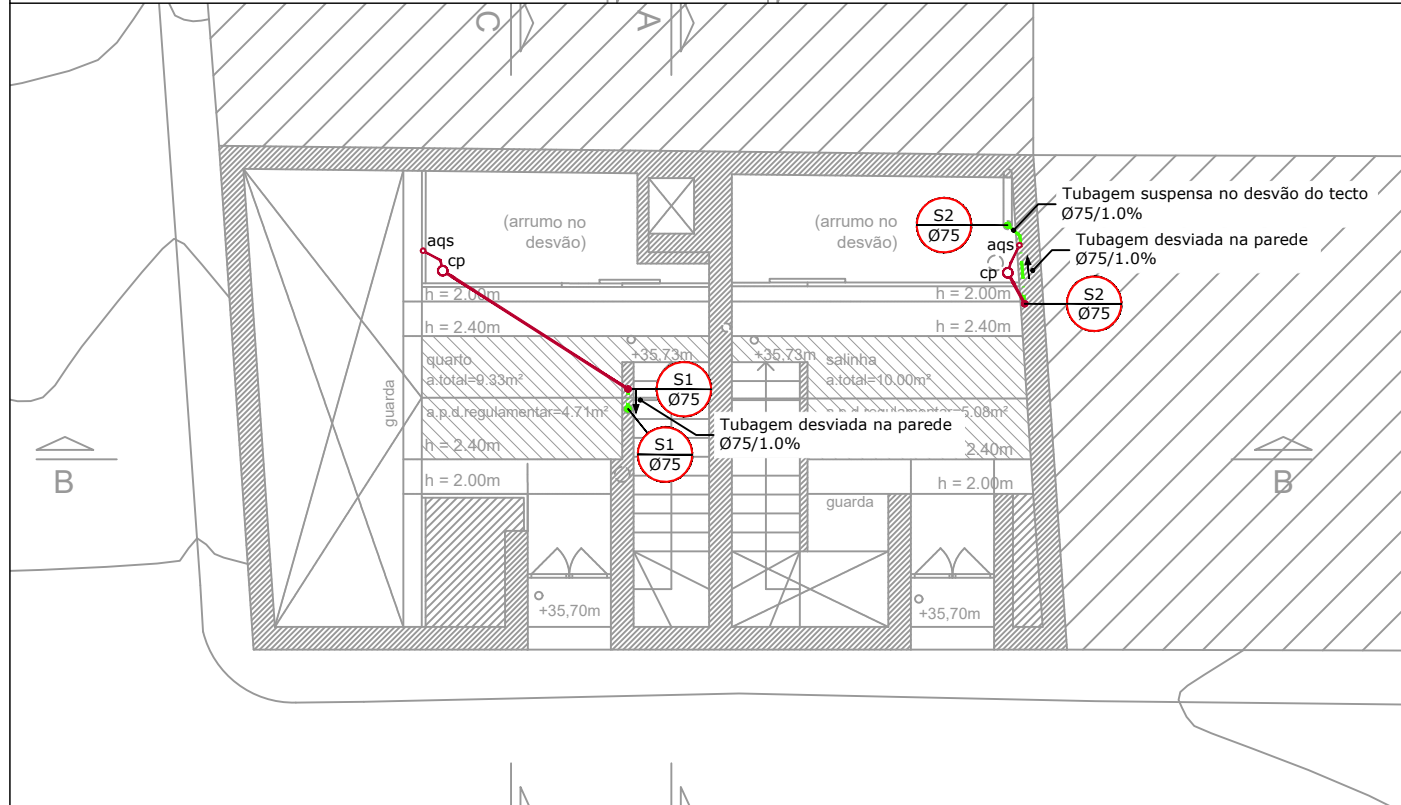
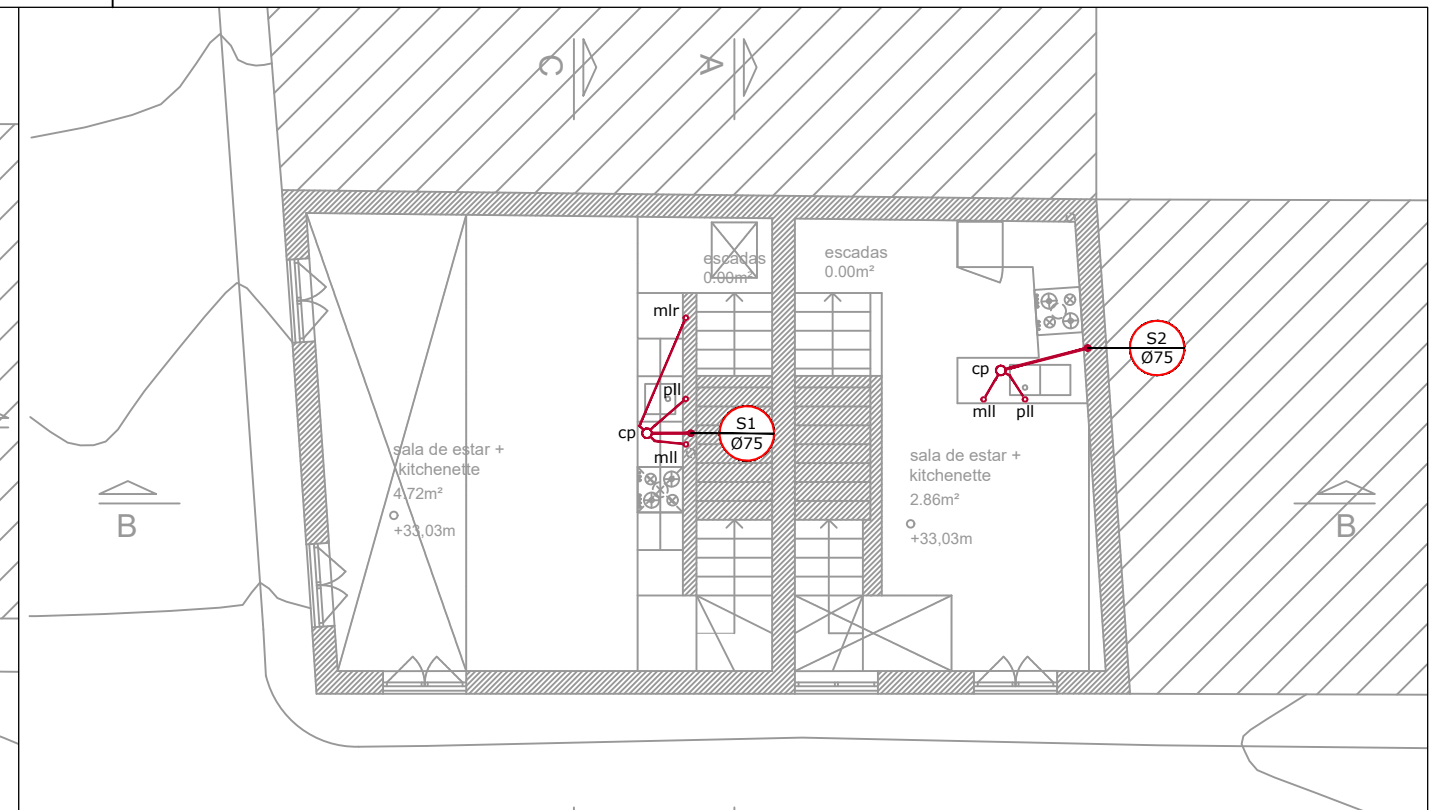
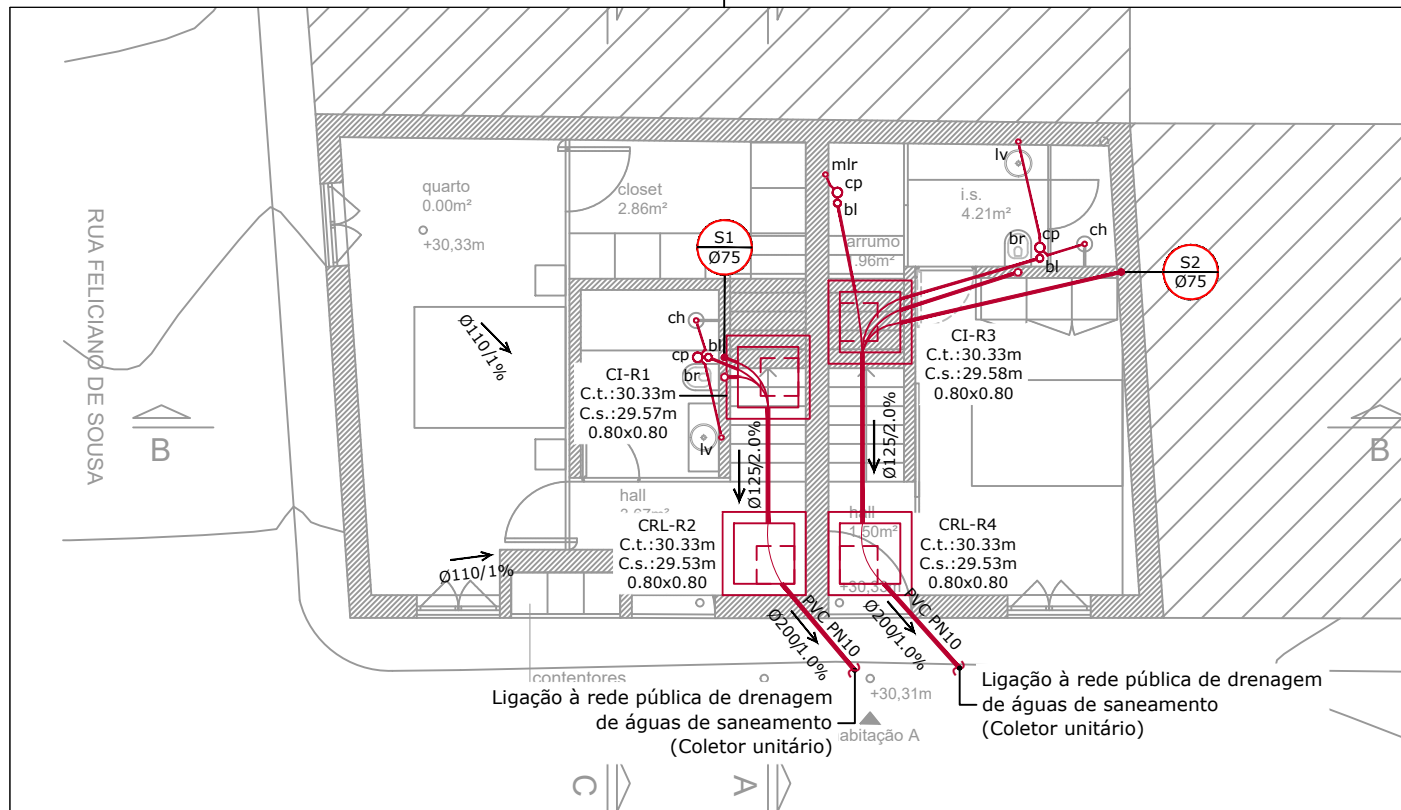
DISPOSITIVO		DN (mm)
pll	pia lava-louça	20
mlr	máquina de lavar roupa	20
mll	máquina de lavar louça	20
tlr	tanque de lavar roupa	20
lv	lavatório	20
br	bacia de retrete	20
ch	chuveiro	20
bd	bidé	20
ba	banheira	20
ts	torneira de serviço	25

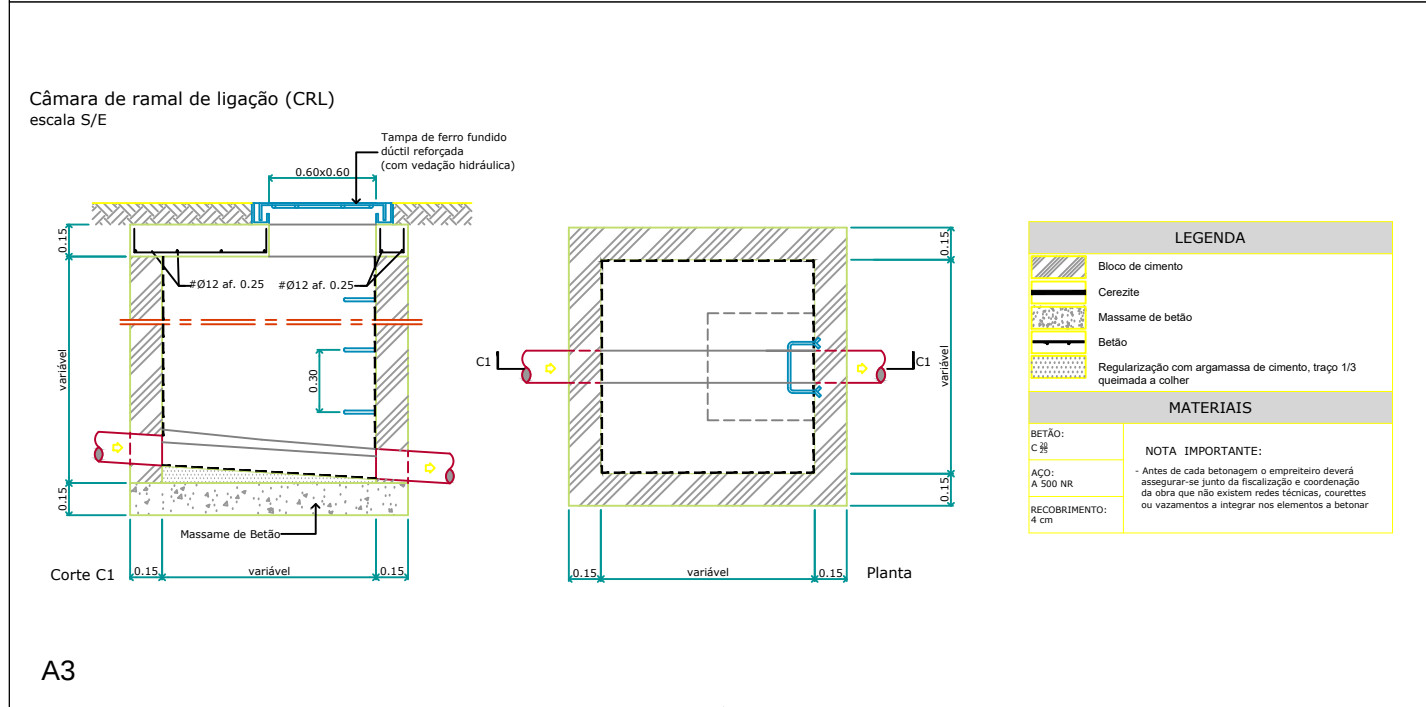
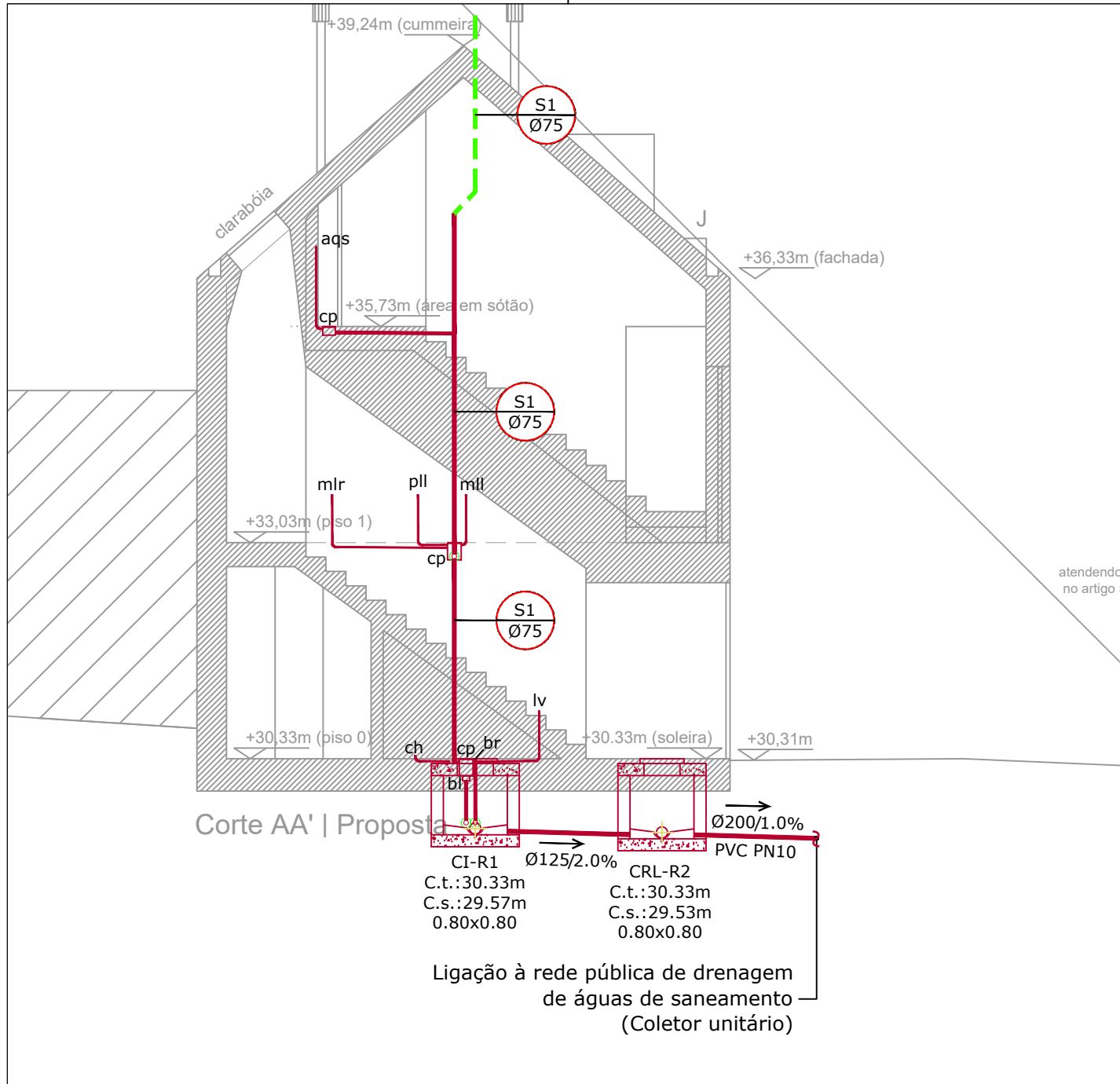
INSTALAÇÃO DA TUBAGEM

- Ⓐ Tubagem embutida na alvenaria (h=0.40)
Ⓑ Tubagem embutida no enchimento da laje
Ⓒ Tubagem instalada à vista
Ⓓ Tubagem suspensa ao nível do tecto falso

NOTAS GERAIS

- 1 - A localização dos pontos de água dos dispositivos é indicativa, devendo ser confirmada em obra pelo adjudicatário, em conformidade com a localização exata de cada dispositivo de utilização.
- 2 - Antes da implantação da rede predial deverão ser consultados os projetos das restantes especialidades para eventual compatibilização.





SIMBOLOGIA

- Limite de intervenção
- Tubagem de águas domésticas embecida/enterrada
- Tubagem de águas domésticas suspensa
- Tubagem de ventilação embecida/enterrada
- Tubagem de ventilação suspensa
- Designação e diâmetro do tubo de queda residuais domésticas
N - águas negras / S - águas de sabão
- Designação e diâmetro de tubo de ventilação
- Caixa de pavimento (cp) / Boca de limpeza (bl)
- Boca de varejamento
- Câmara de inspeção
- Sentido de escoamento
- Ramal de descarga

MATERIAIS DAS TUBAGENS:

COLETORES ENTERRADOS

- Tubo de polipropileno corrugado (PPC), da classe de rigidez circunferencial nominal SN 8, área de aplicação U, de acordo com a norma NP EN 13476-3, para diâmetros iguais ou superiores a Ø125 mm.

RAMAIS DE DESCARGA / TUBOS DE QUEDA

- Tubo de PP da série B, fabricado de acordo com a norma EN 1451.

RAMAIS E COLUNAS DE VENTILAÇÃO

- Tubo de PP da série B, fabricado de acordo com a norma EN 1451.

LIGAÇÃO À REDE PÚBLICA

- Tubo de PVC PN10 da série U de classe SN4, fabricado de acordo com a norma EN 13476-2.

NOTAS GERAIS:

- A localização dos pontos de drenagem dos aparelhos é indicativa, devendo ser confirmada em obra pelo adjudicatário, em conformidade com a localização exata de cada aparelho.
- Antes da implantação da rede predial deverão ser consultados os projetos das restantes especialidades para eventual compatibilização.

TIPOS DE CÂMARAS DE INSPEÇÃO

CI-Rxx: normal
CF-Rxx: fundo roto
CQ-Rxx: queda guiada
CG-Rxx: rede de águas gordurosas
CI-Exxx: existente
CD-Rxx: descompressão
CB-Rxx: bombagem
CRL-Rxx: ramal de ligação
"-R-": câmara da rede de águas residuais domésticas
"xx": numeração da câmara
C.t.: cota de tampa
C.s.: cota de soleira
C.s.e.: cota de soleira da tubagem de entrada
C.s.s.: cota de soleira da tubagem de saída

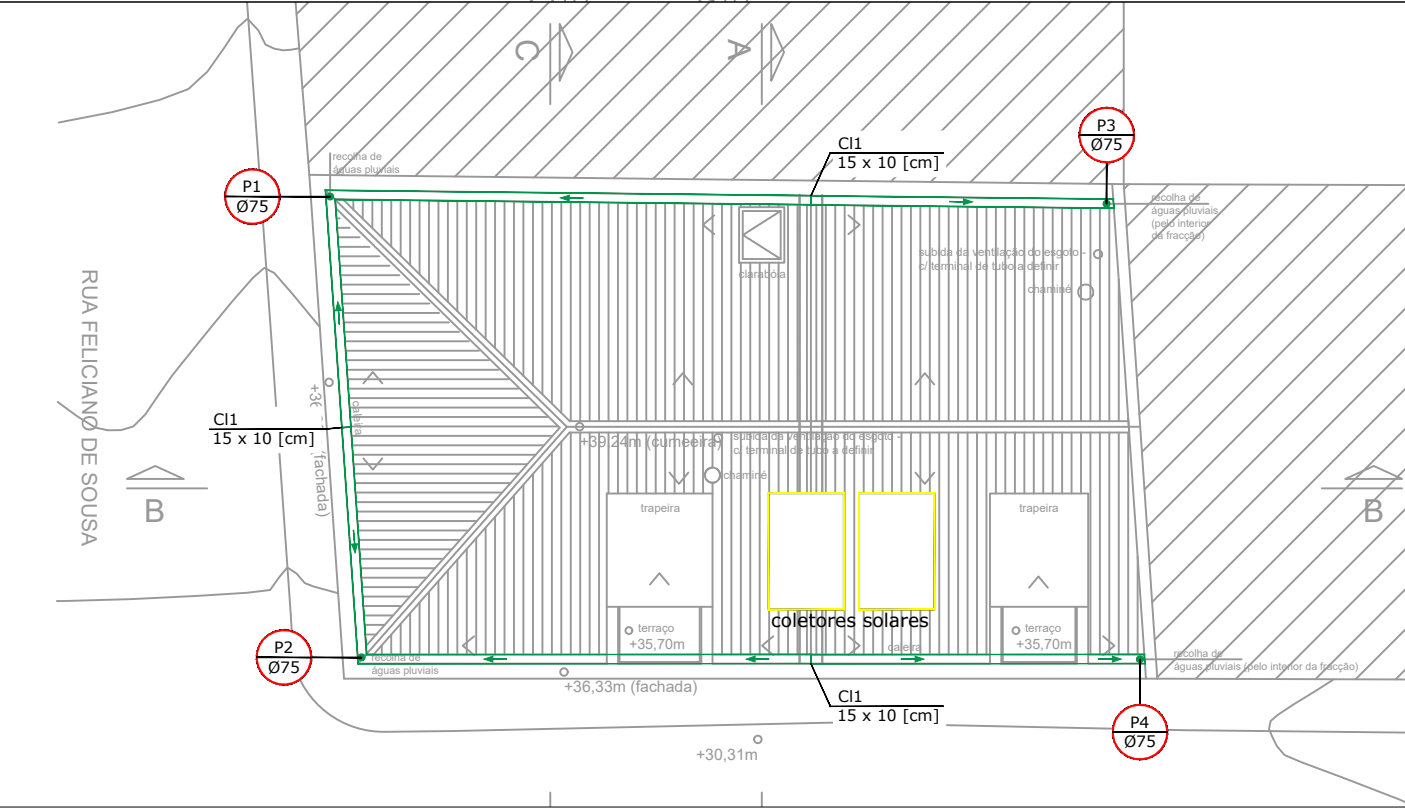
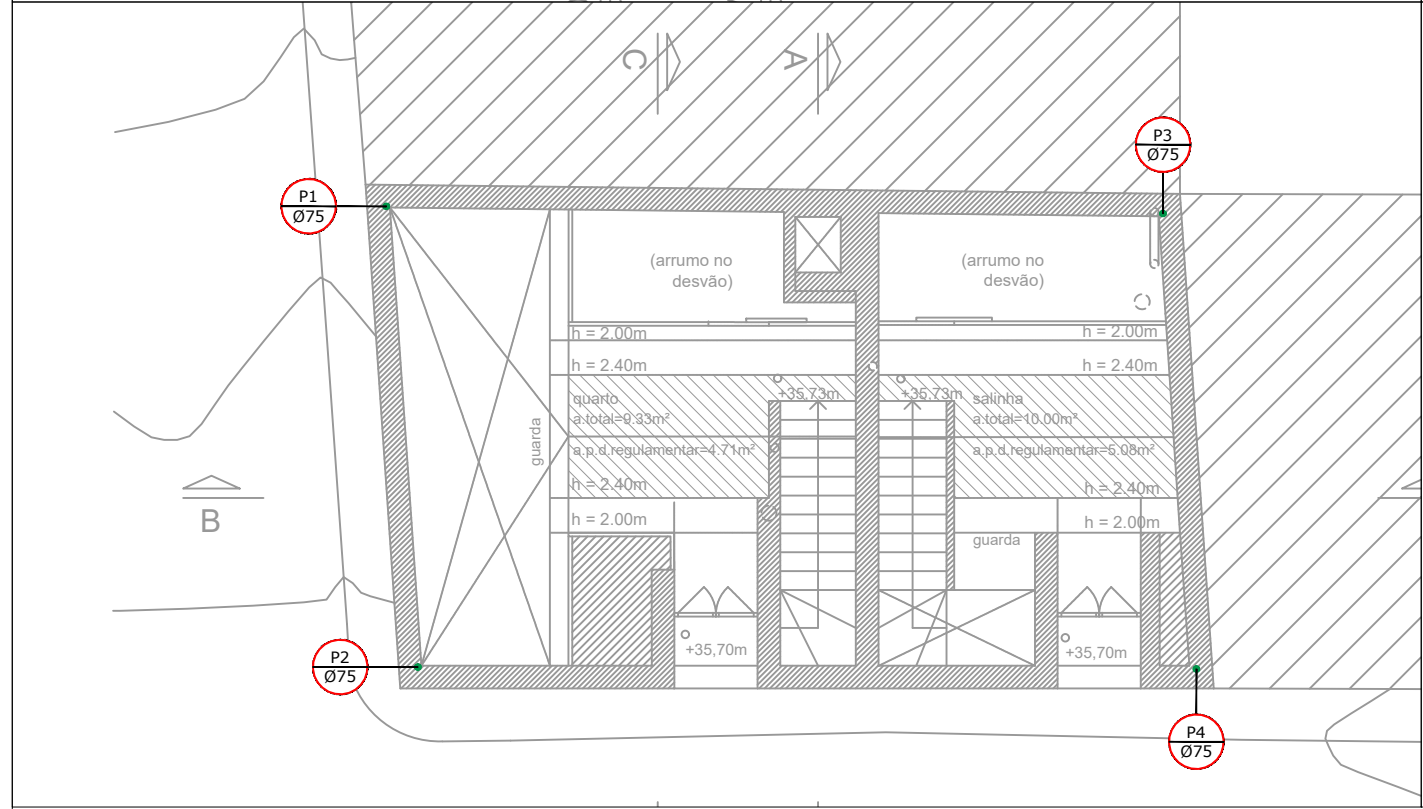
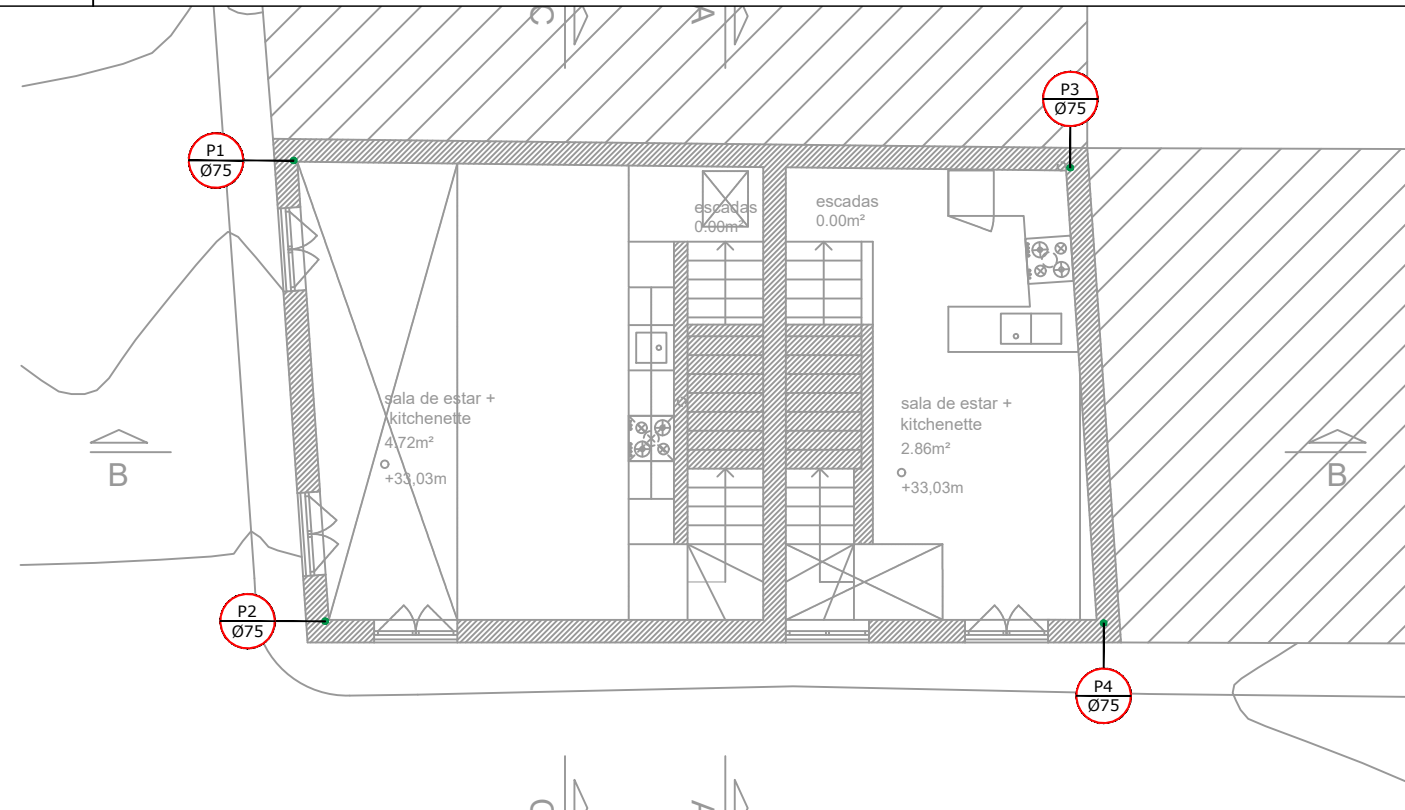
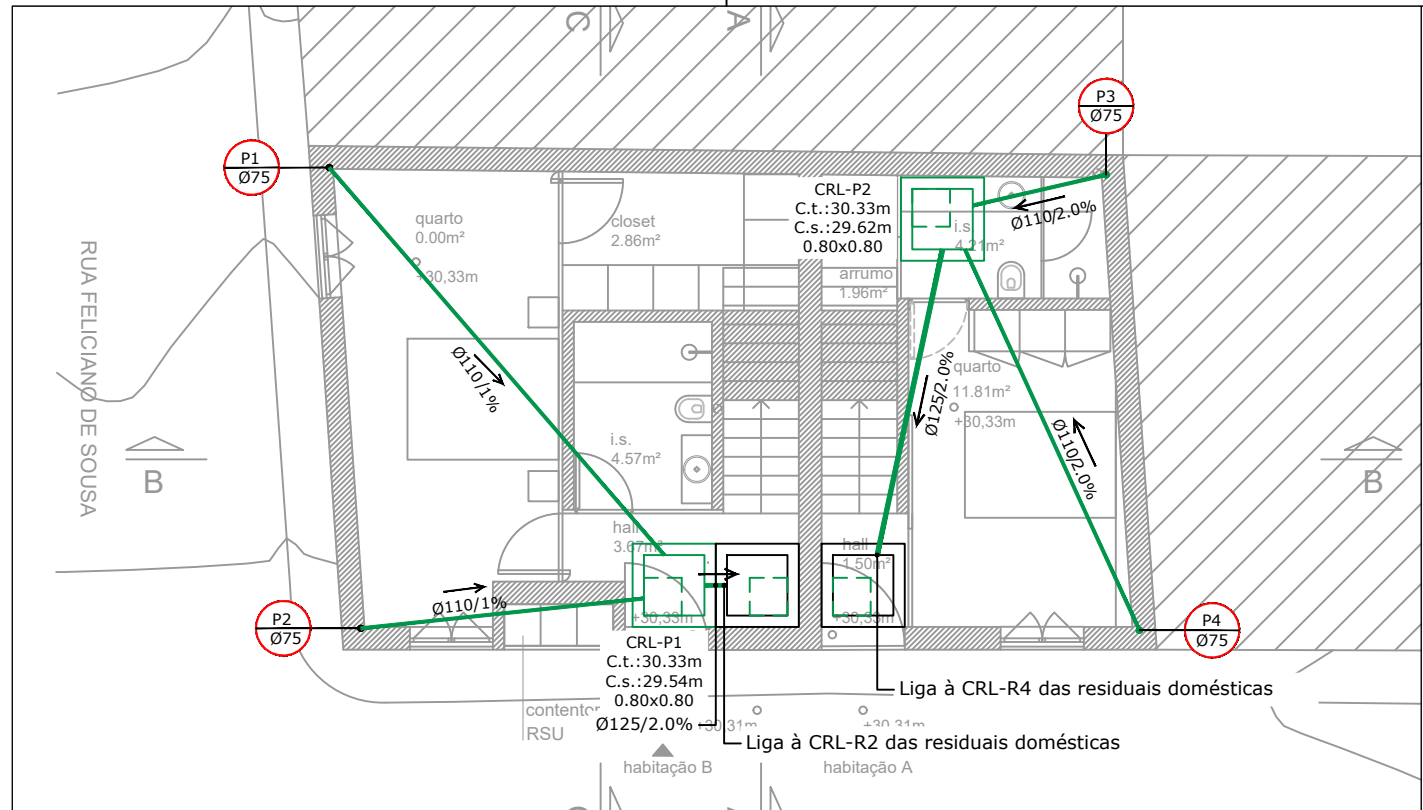
RAMAIS INDIVIDUAIS

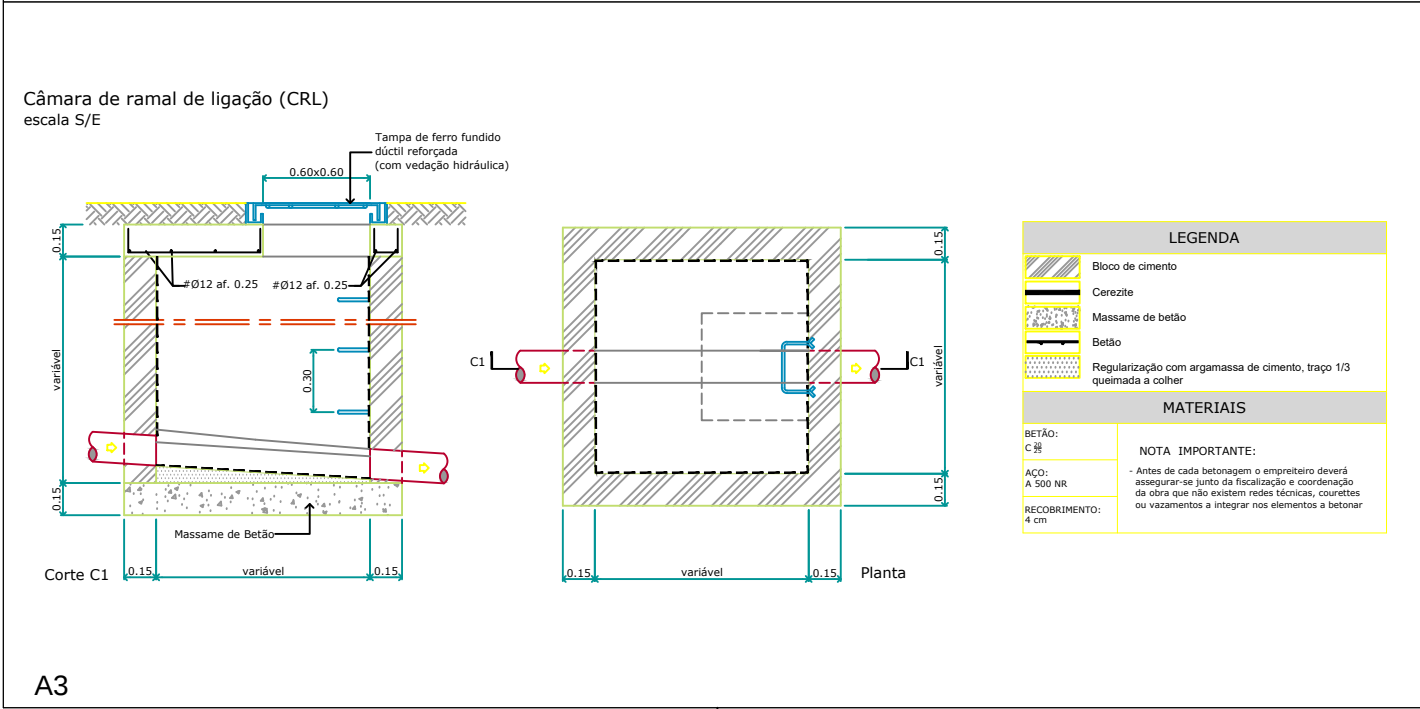
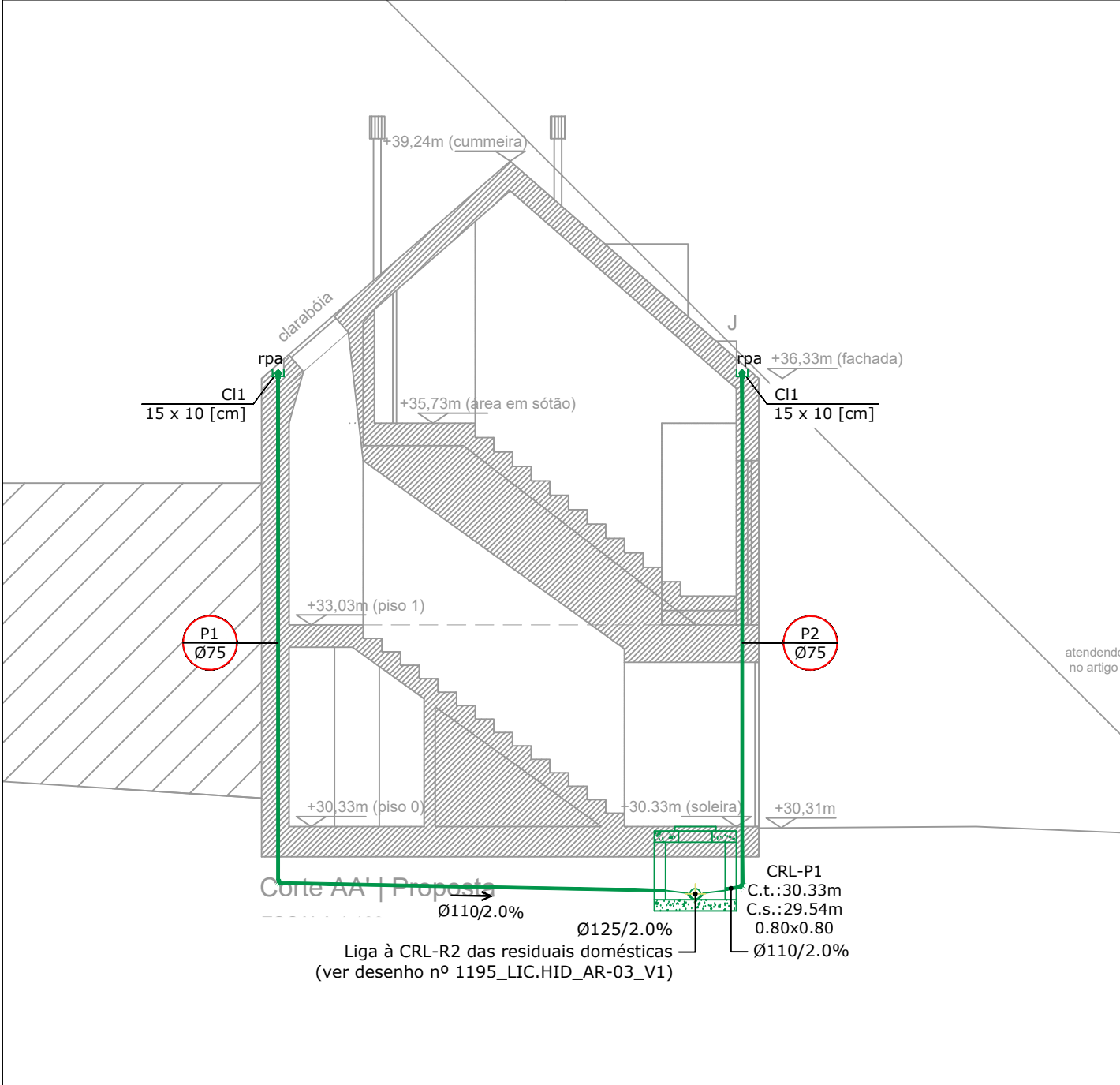
DISPOSITIVO	DN (mm)	i (%)
ba	50	2
bd	50	2
br	90	2
ch	50	2
lv	50	2
ml/mlr	50	2
pll	50	2
tlr	50	2
rp	50/75	2
daqs	50*	1

* Exceto quando indicado outro valor em planta

RAMAIS NÃO INDIVIDUAIS

DISPOSITIVO	DN (mm)
cp	75
bl	90





SIMBOLOGIA

- Limite de intervenção
- Tubagem de águas pluviais embebida/enterrada
- Tubagem de águas pluviais suspensa
- Tubagem de ventilação embebida/enterrada
- Tubagem de ventilação suspensa
- Designação e diâmetro do tubo de queda pluvial
- Câmara de inspeção
- Sentido de escoamento
- Ralo de pinha (rpa)
- Boca de limpeza
- Orifício de descarga
- Caleira (cl)

MATERIAIS DAS TUBAGENS:

COLETORES ENTERRADOS

- Tubo de polipropileno corrugado (PPC), da classe de rigidez circunferencial nominal SN 8, área de aplicação U, de acordo com a norma NP EN 13476-3, para diâmetros iguais ou superiores a Ø125 mm.

RAMAIS DE DESCARGA / TUBOS DE QUEDA

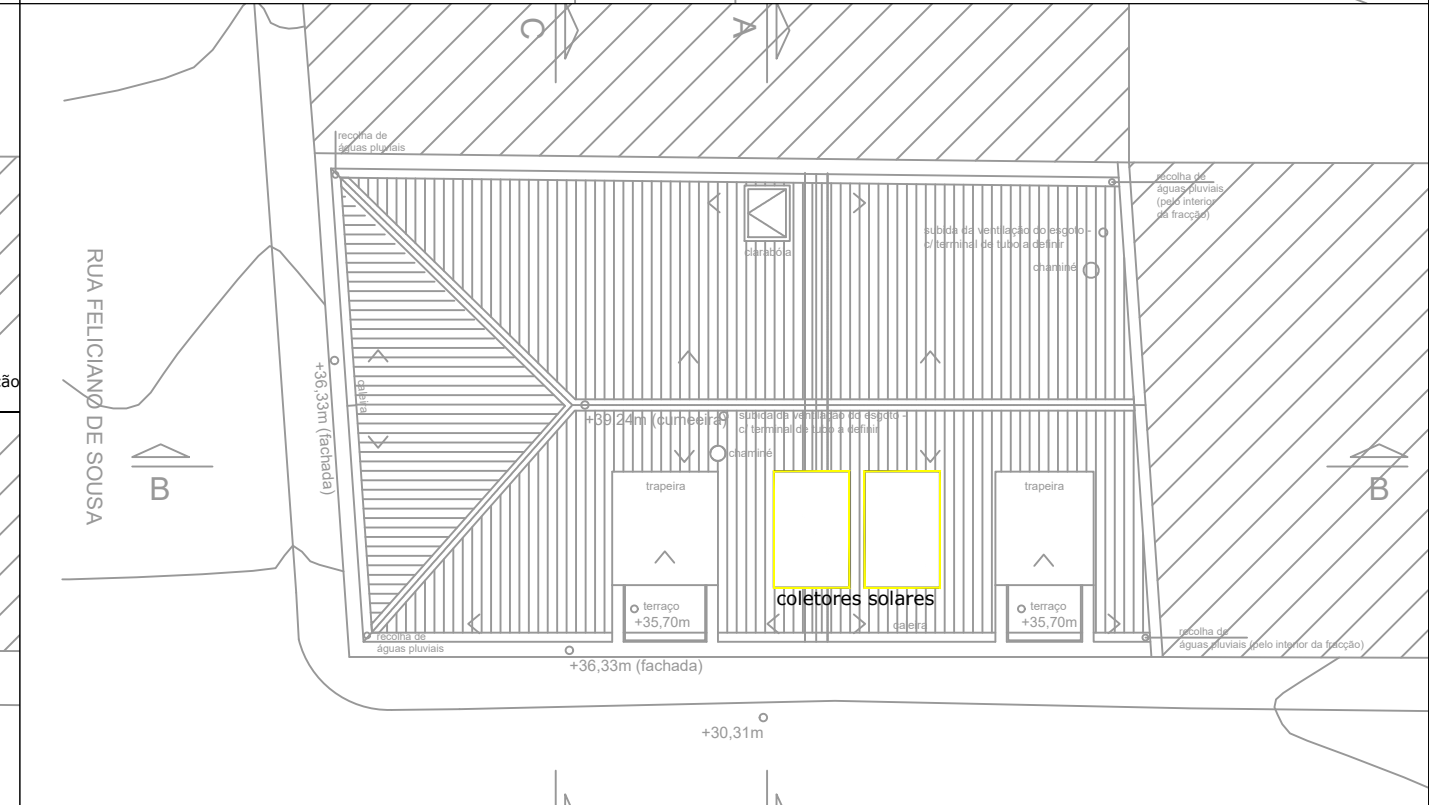
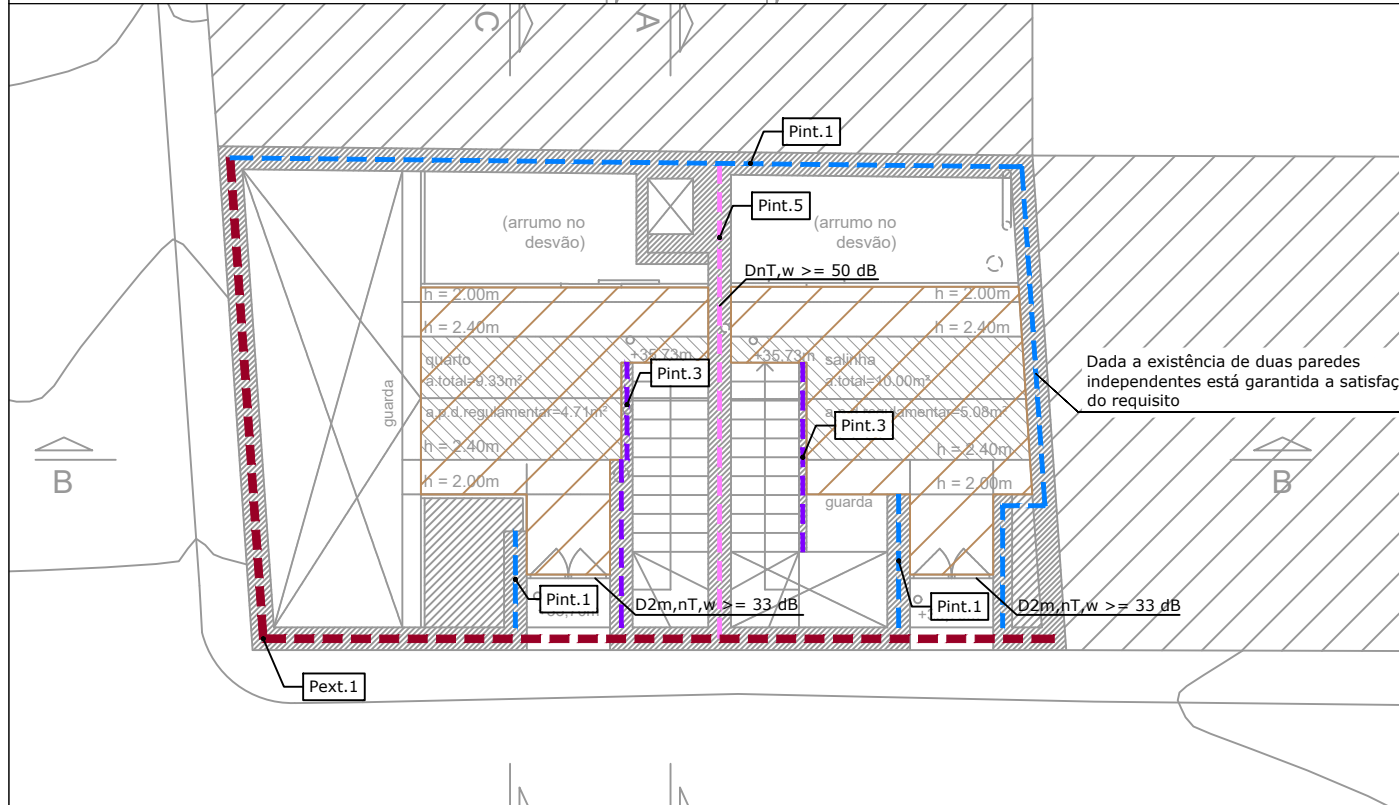
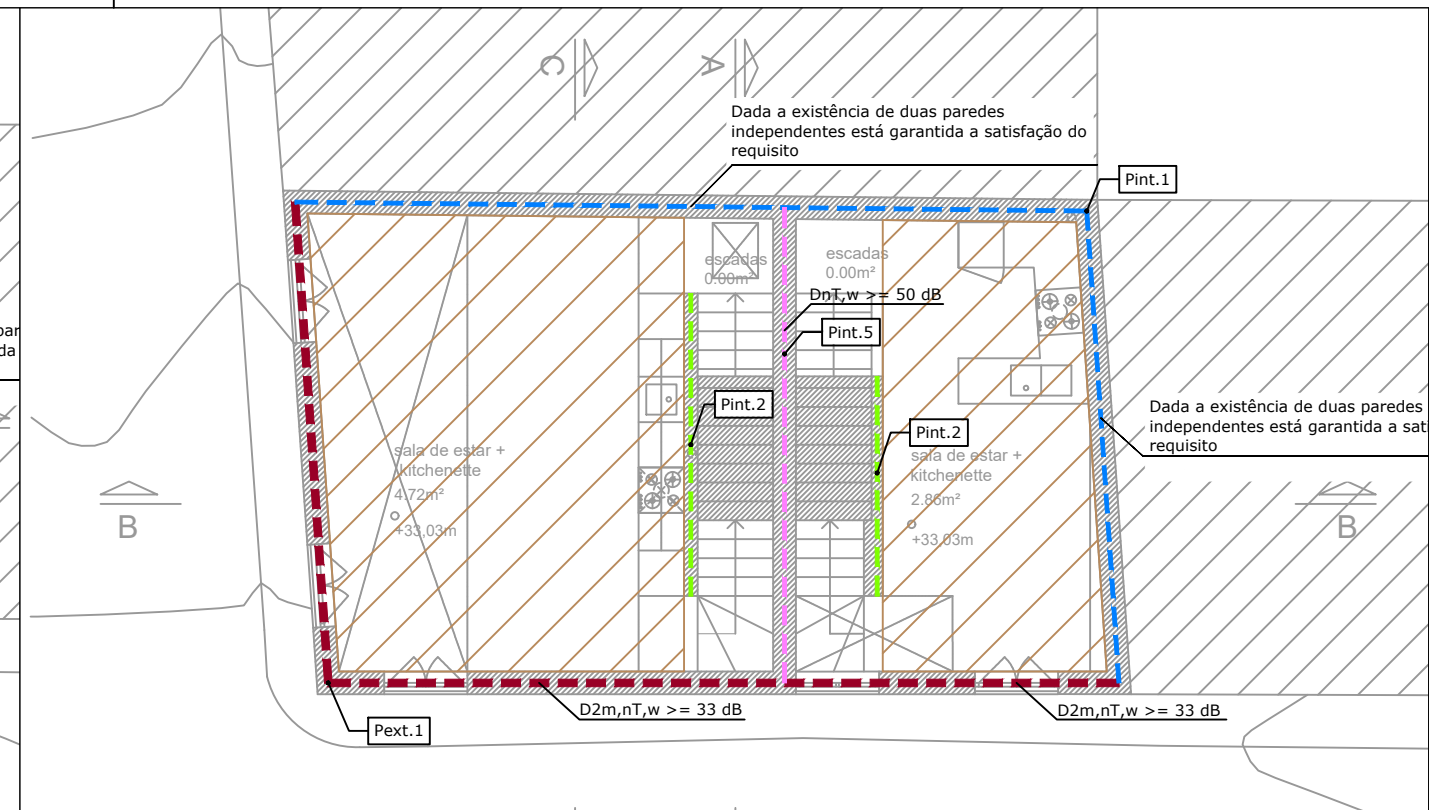
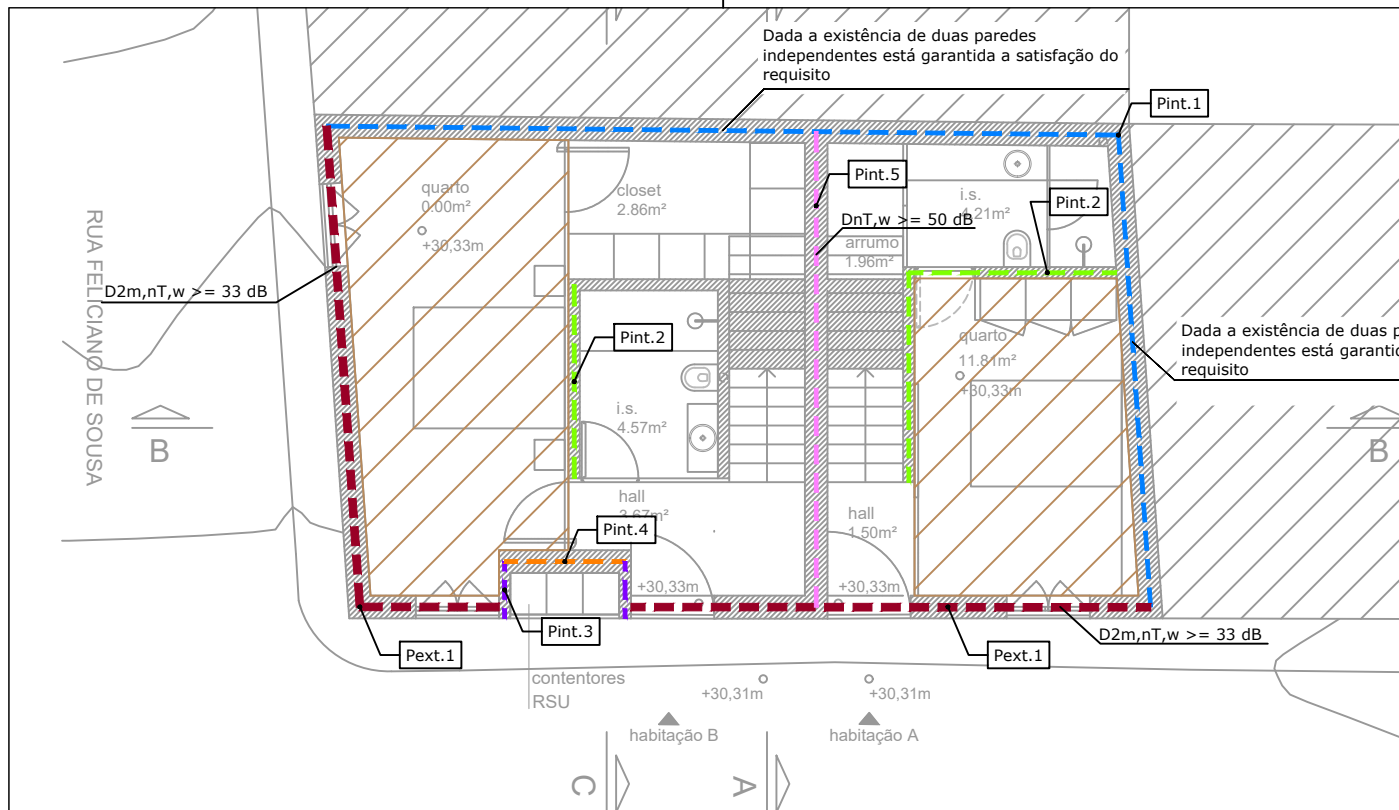
- Tubo de PP da série B, fabricado de acordo com a norma EN 1451.

NOTAS GERAIS:

- 1 - Antes da implantação da rede predial deverão ser consultados os projetos das restantes especialidades para eventual compatibilização.
- 2 - As cotas de tampa das câmaras de inspeção/areias quando representadas são indicativas, devendo ser obrigatoriamente verificadas no projeto de arquitetura antes da obra.

TIPOS DE CÂMARAS DE INSPEÇÃO

CA-Pxx: caixa de areia
CF-Pxx: fundo roto
CQ-Pxx: queda guiada
CG-Pxx: tampa de grelha
CD-Pxx: descompressão
CB-Pxx: bombagem
CRL-Pxx: ramal de ligação
CE-Pxx: existente
PA-Pxx: poço absorvente
"-P": câmara da rede de águas pluviais
"xx": numeração da câmara
C.t.: cota de tampa
C.s.: cota de soleira
C.s.e.: cota de soleira da tubagem de entrada
C.s.s.: cota de soleira da tubagem de saída



LEGENDA	
	Compartimento com requisitos acústicos

PORMENORES CONSTRUTIVOS

Paredes Exteriores Pext.1 reboco armado: 1,5 cm / XPS: 8 cm / bloco térmico: 20 cm / reboco: 1,5 cm [exterior -> interior]

Paredes Interiores

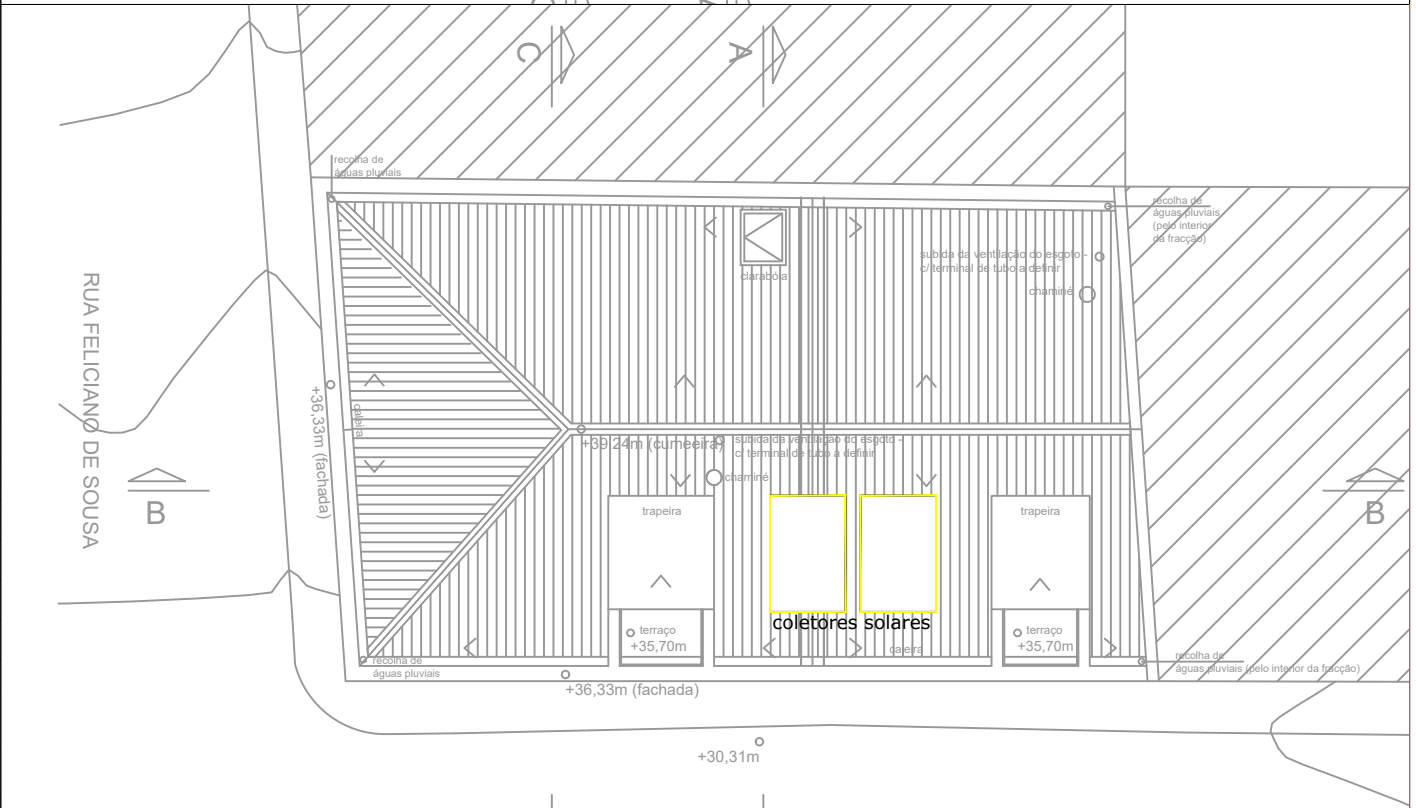
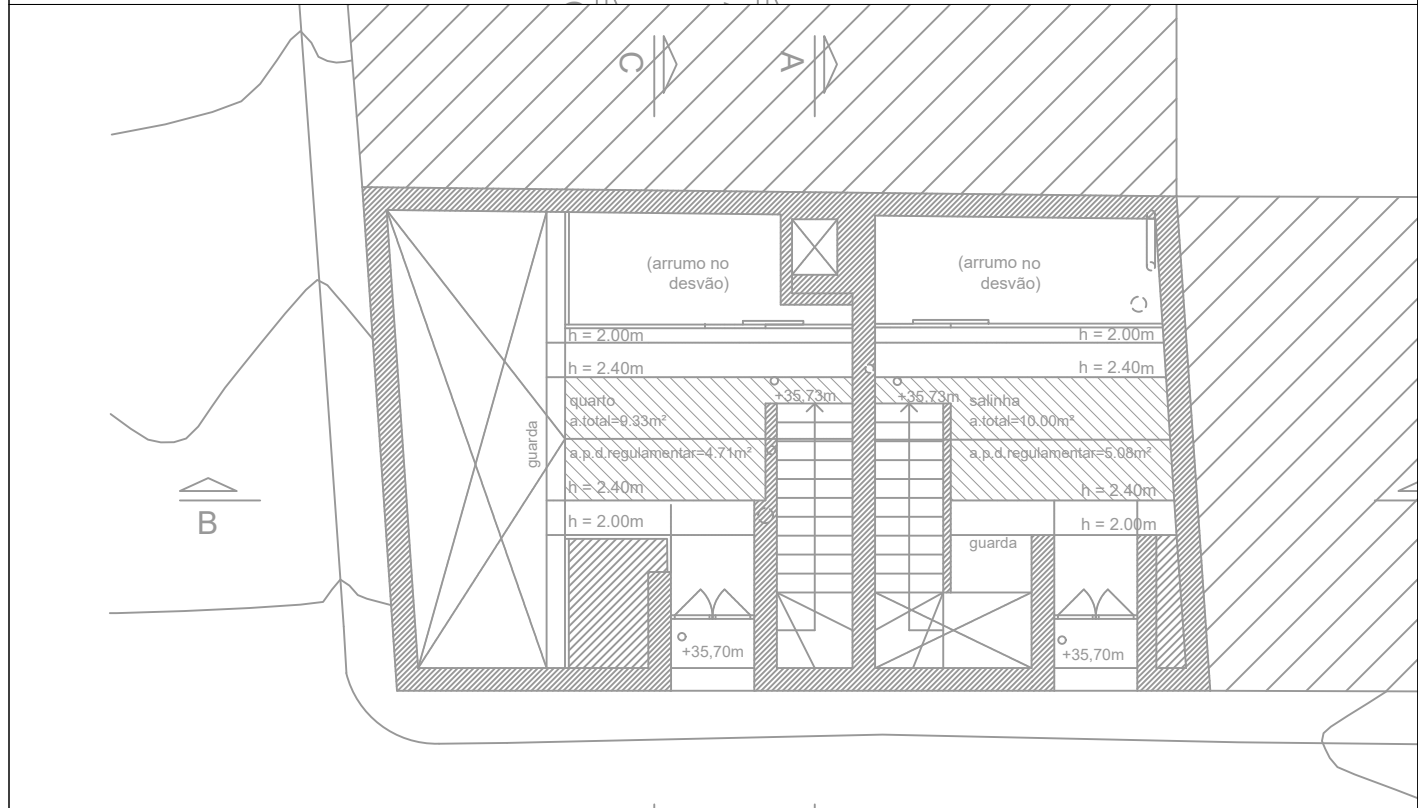
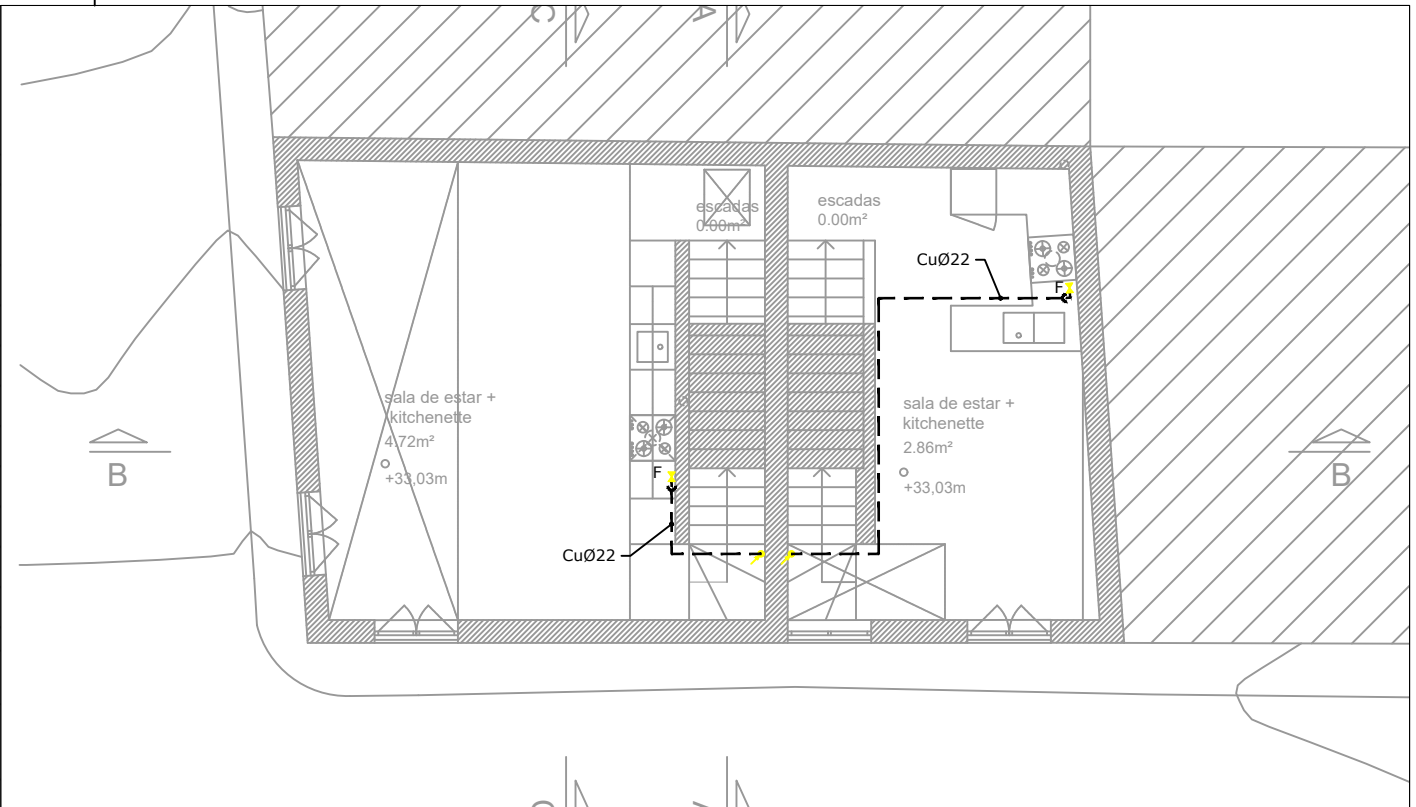
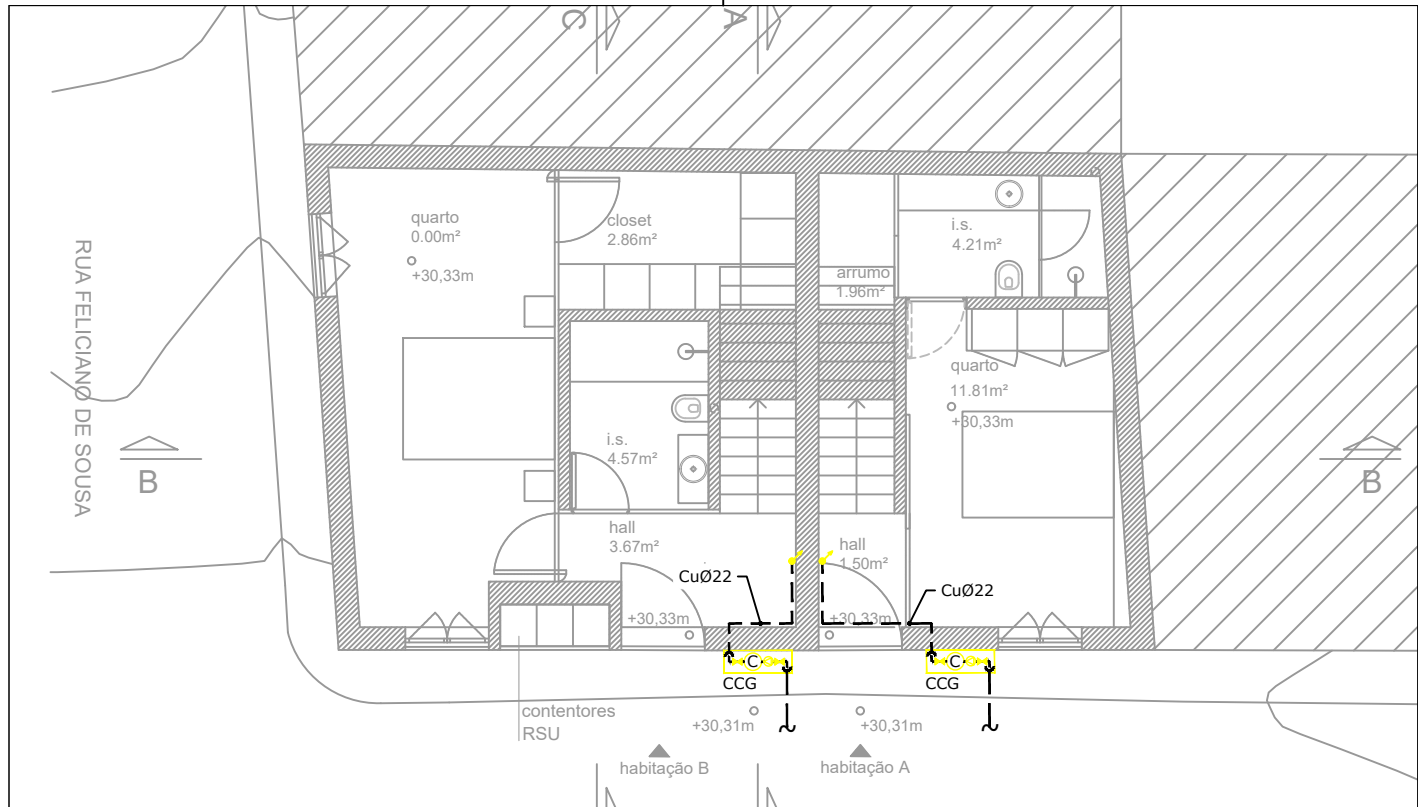
Pint.1 reboco armado: 1,5 cm / XPS: 8 cm / bloco térmico: 20 cm / reboco tradicional: 1,5 cm

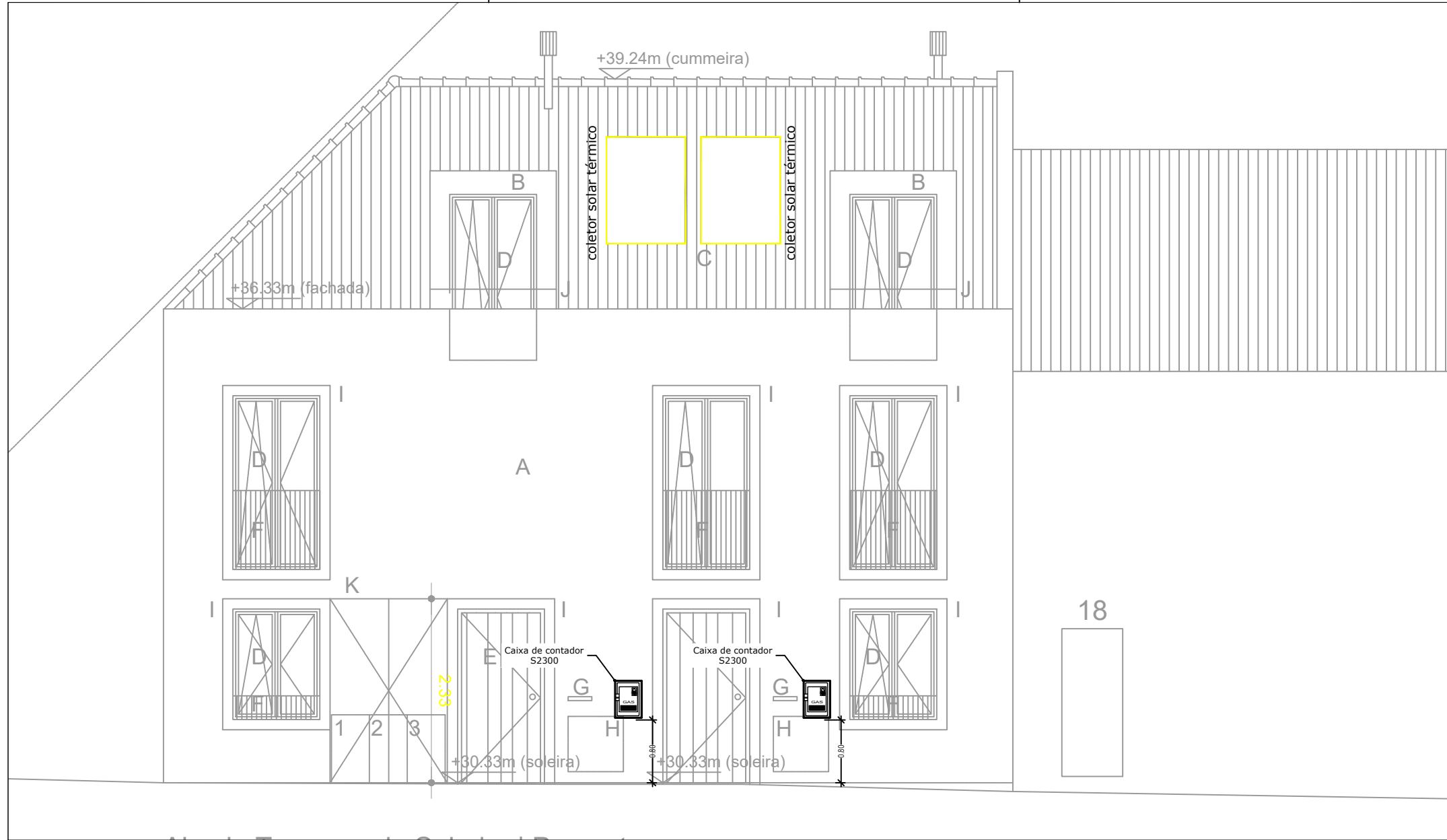
Pint.2 reboco: 2 cm / tijolo cerâmico furado: 11 cm / reboco: 2 cm

Pint.3 dupla placa de gesso cartonado: 2,5 cm / lâ-de-rocha: 6 cm / dupla placa de gesso cartonado: 2,5 cm

Pint.4 reboco: 1,5 cm / bloco térmico: 20 cm / XPS: 6 cm / reboco armado: 1,5 cm

Pint.5 reboco: 1,5 cm / tijolo térmico: 14 cm / reboco: 1 cm / lâ-de-rocha: 5 cm (70 kg/m³) / tijolo cerâmico: 7 cm; reboco: 1,5 cm.





SIMBOLOGIA

TUBAGEM EMBEBIDA

TUBAGEM À VISTA

CAIXA DE CORTE GERAL (CCG)/CAIXA DE CORTE E TRANSIÇÃO (CC)

VÁLVULA DE SECCIONAMENTO DE 1/4 DE VOLTA

CONTADOR

REDUTOR DE PRESSÃO

C

CALDEIRA

F

FOGÃO

TD

TÊ DE DERIVAÇÃO

INDICAÇÃO DE DESCIDA DE TUBAGEM

INDICAÇÃO DE SUBIDA DE TUBAGEM

①

∅...

(...)

②

③

① - DIÂMETRO NOMINAL DA TUBAGEM

② - INDICAÇÃO DO MATERIAL

③ - SENTIDO DE ESCOAMENTO

INSTALAÇÃO DA TUBAGEM

A

TUBAGEM EMBUTIDA NA ALVENARIA

B

TUBAGEM EMBUTIDA NO ENCHIMENTO DA LAJE

C

TUBAGEM INSTALADA À VISTA

D

TUBAGEM SUSPensa AO NÍVEL DO TETO FALSO

PERSPETIVA ISOMÉTRICA DA INSTALAÇÃO HABITAÇÃO A

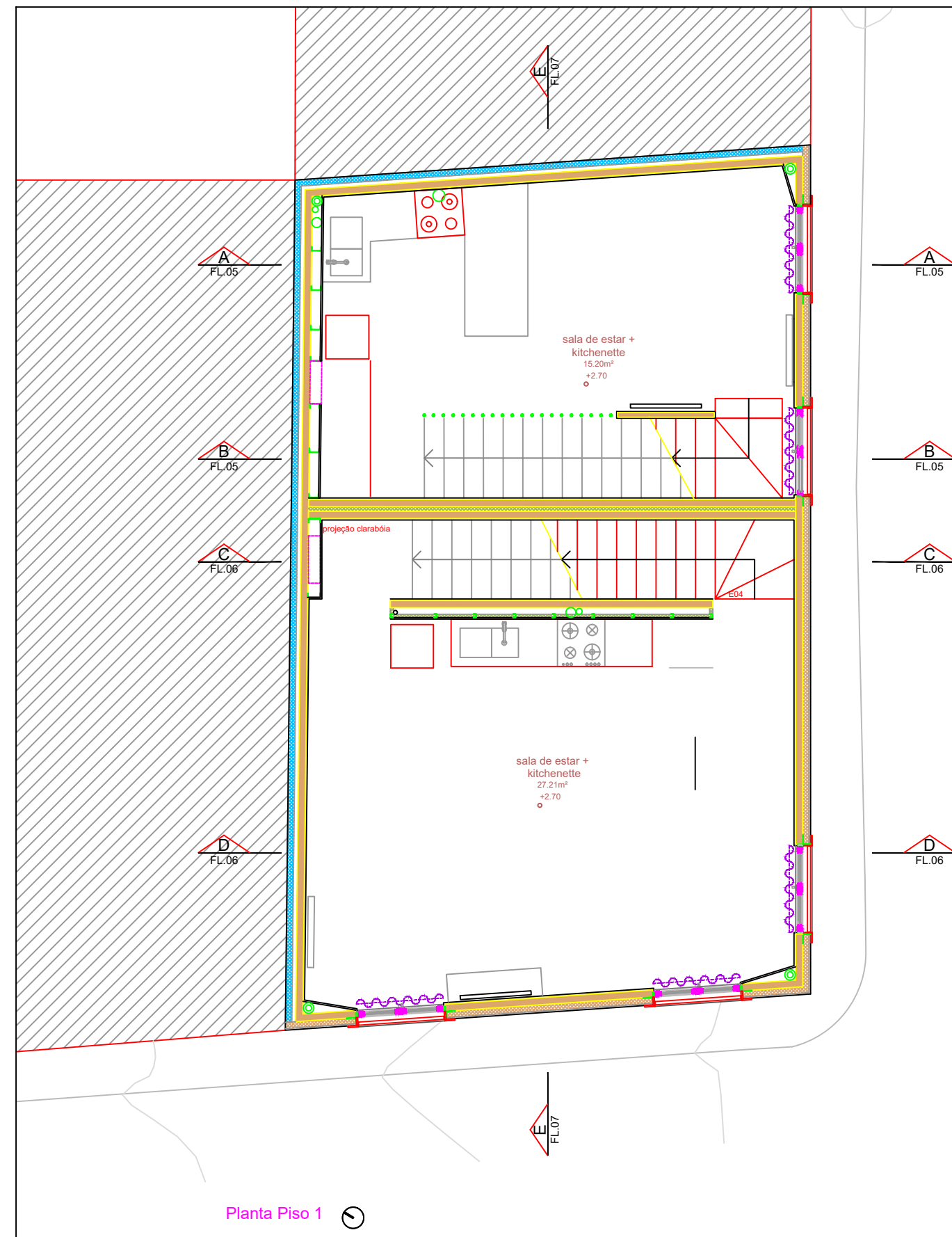
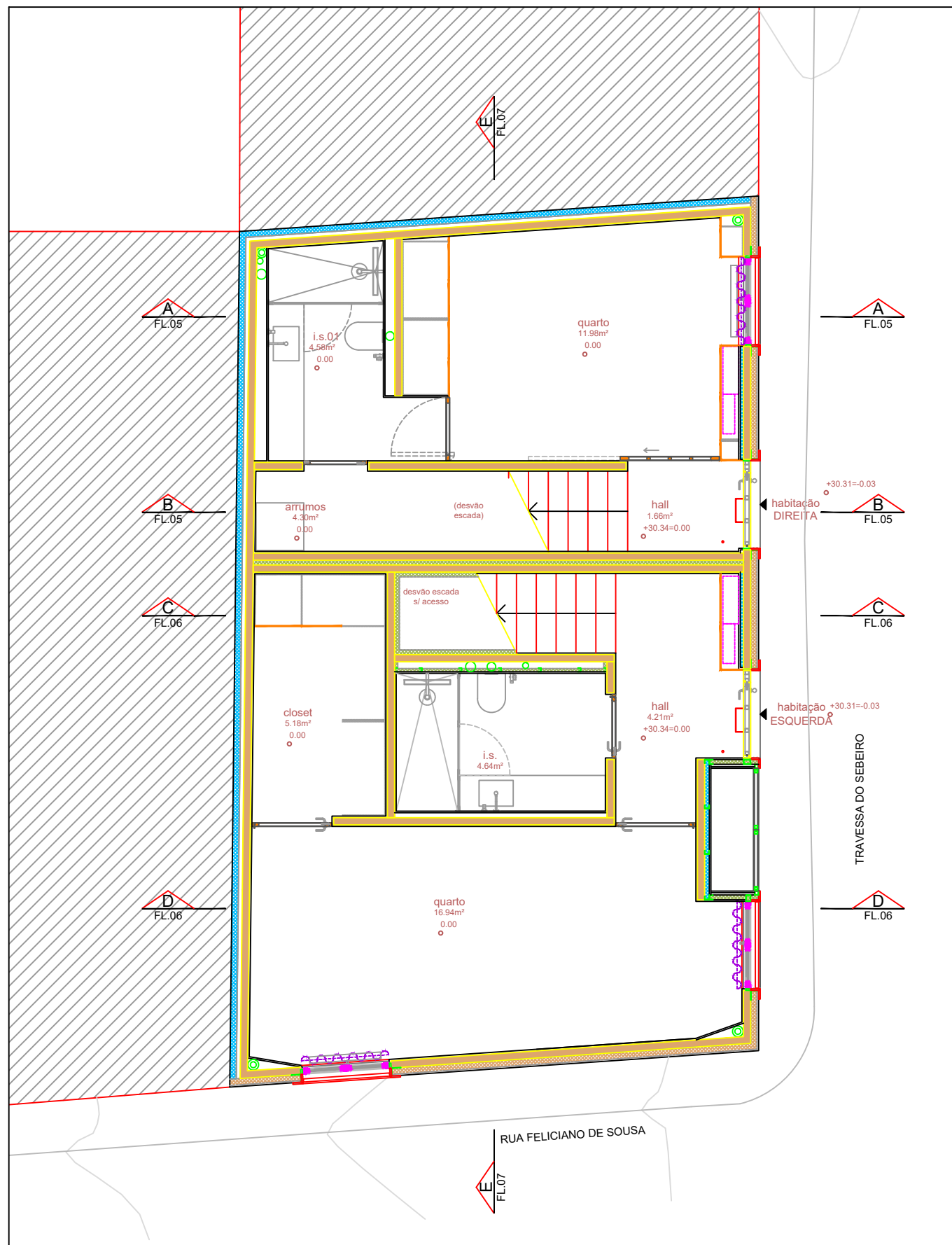
PERSPETIVA ISOMÉTRICA DA INSTALAÇÃO HABITAÇÃO B

A3

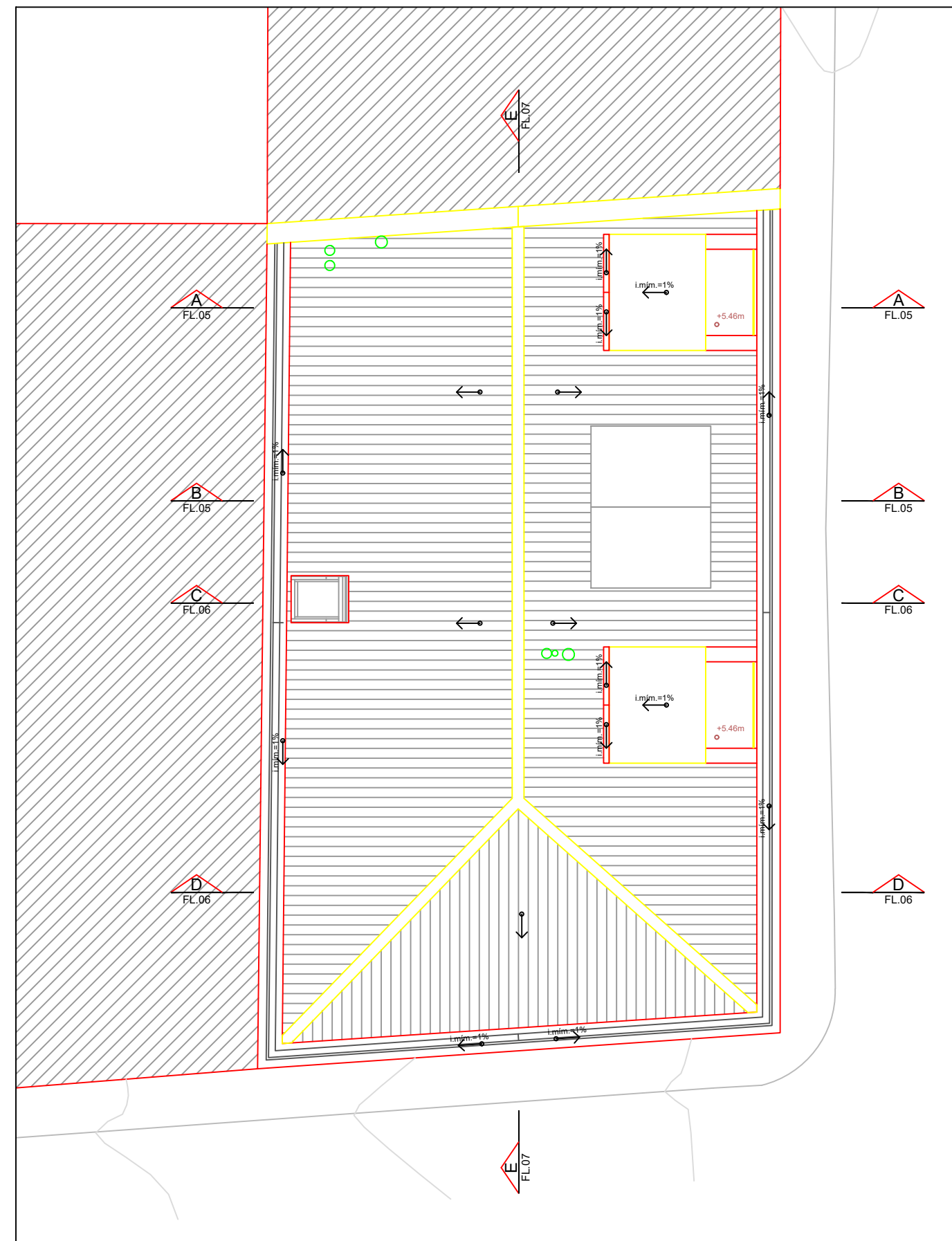
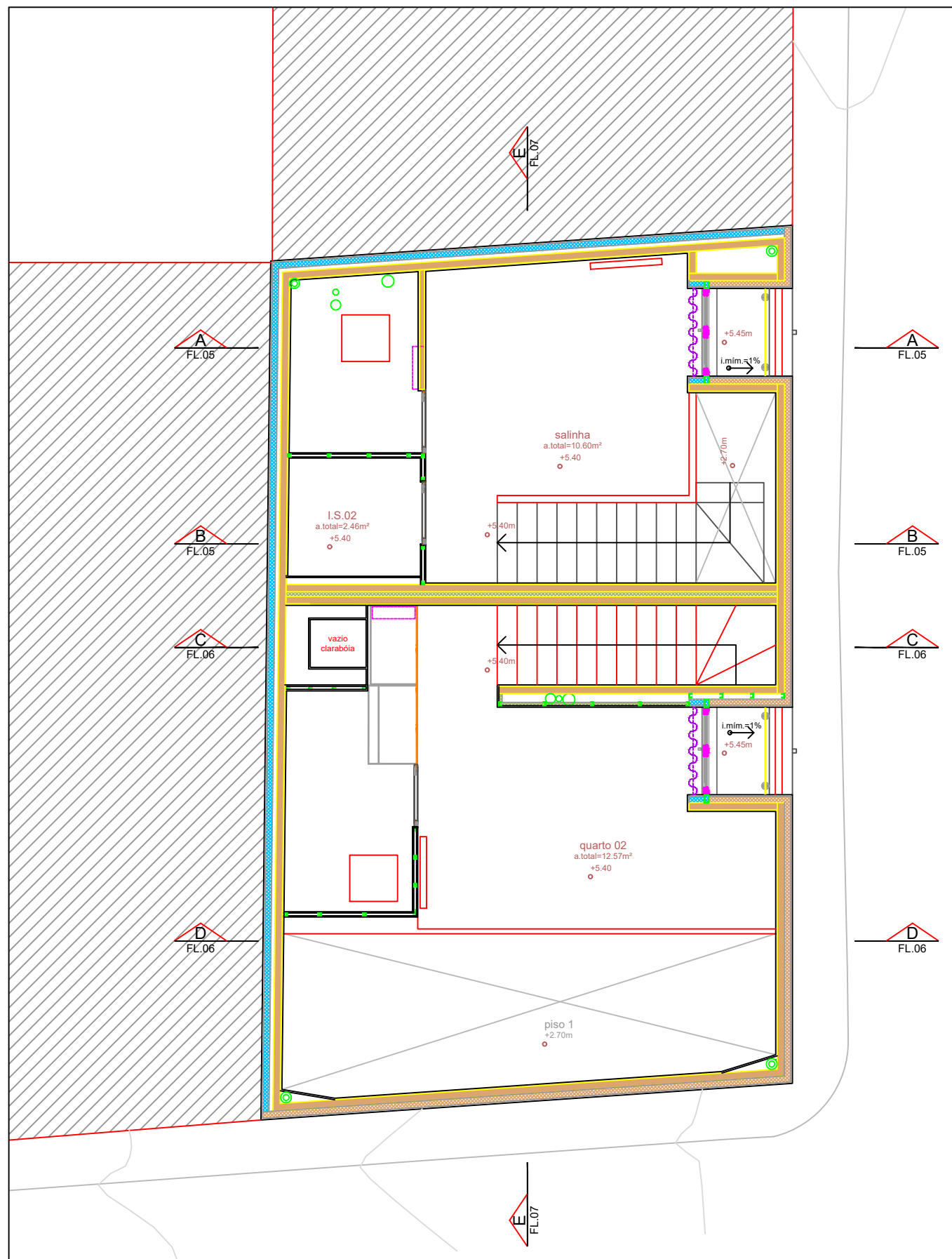
PROJETO DA REDE DE GÁS

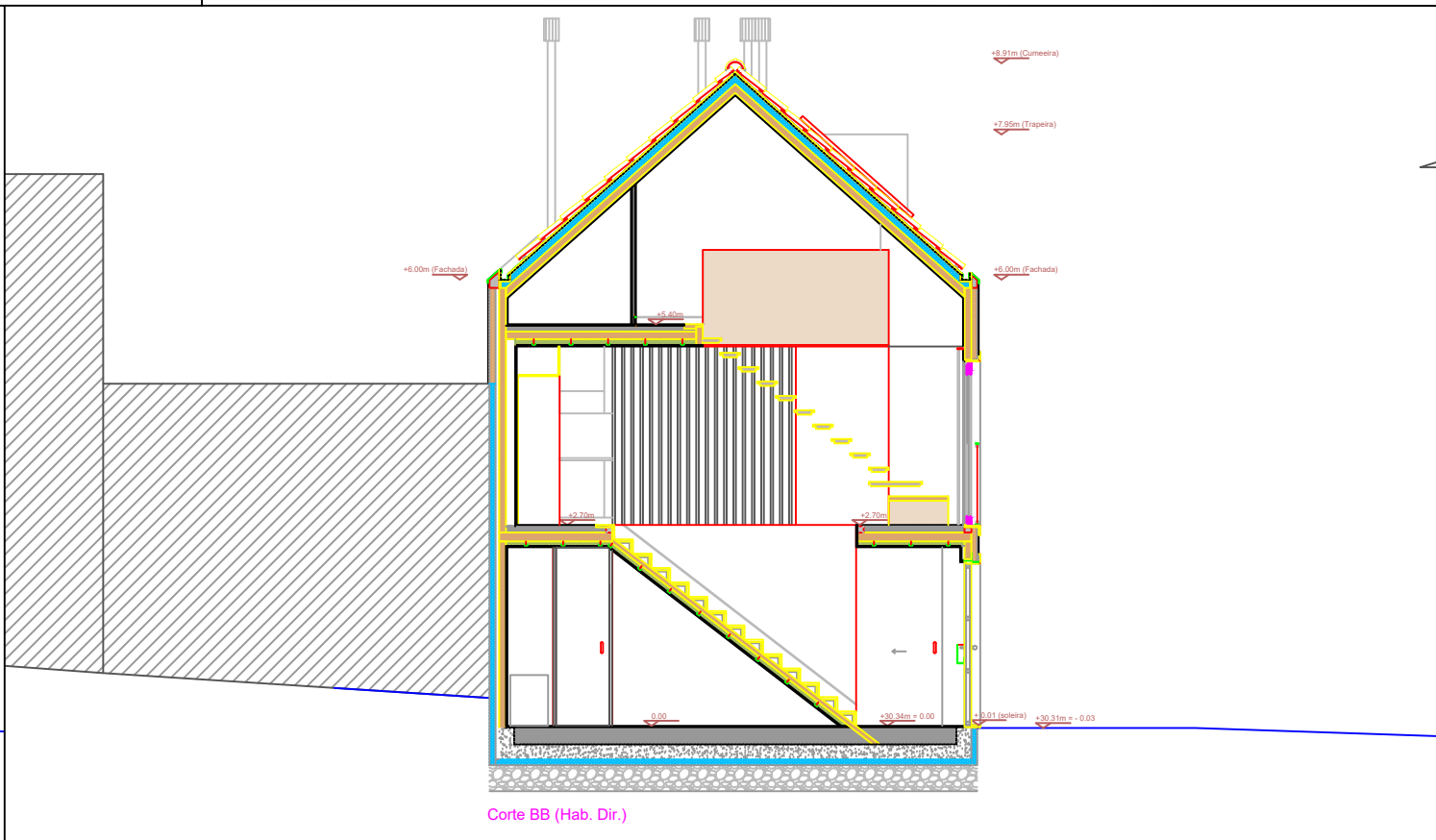
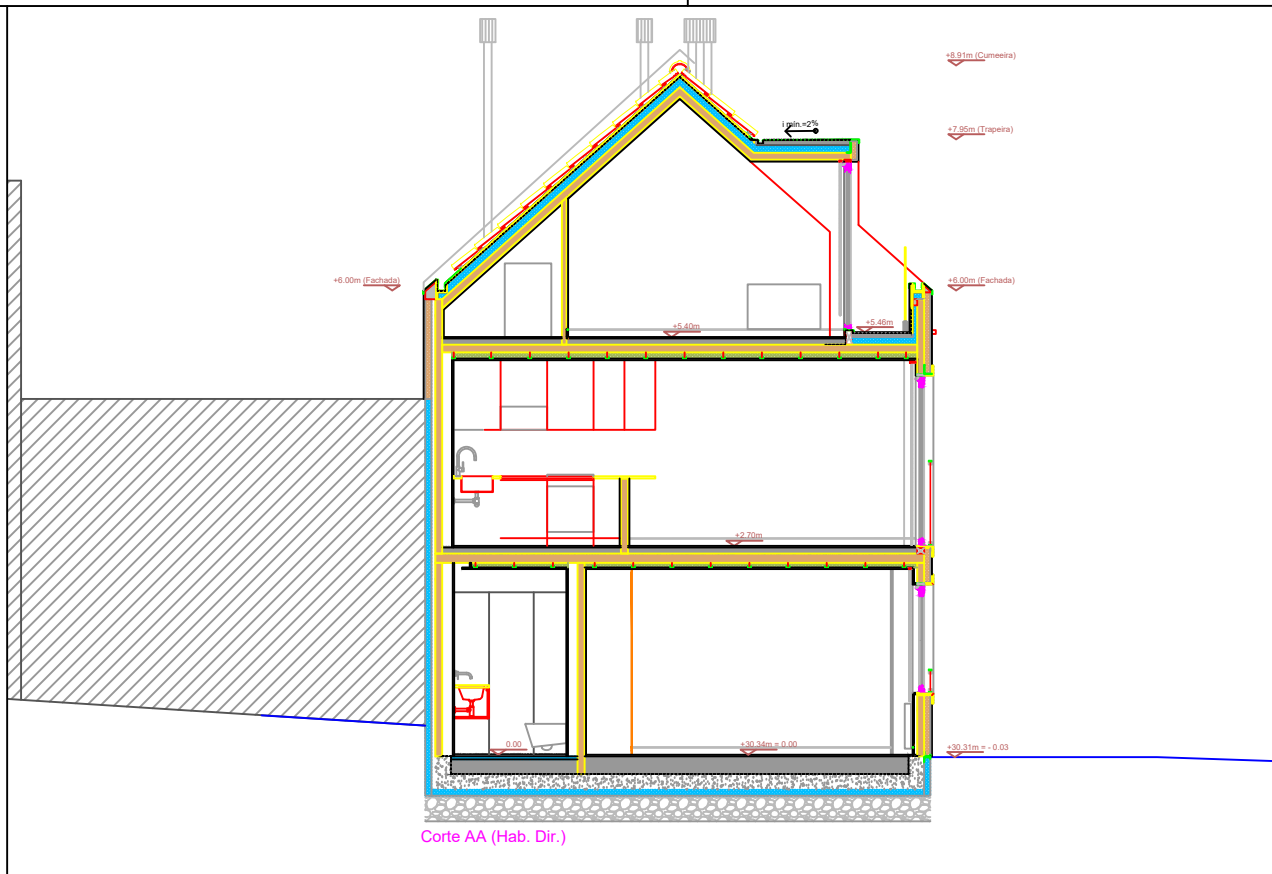
Anexo A2

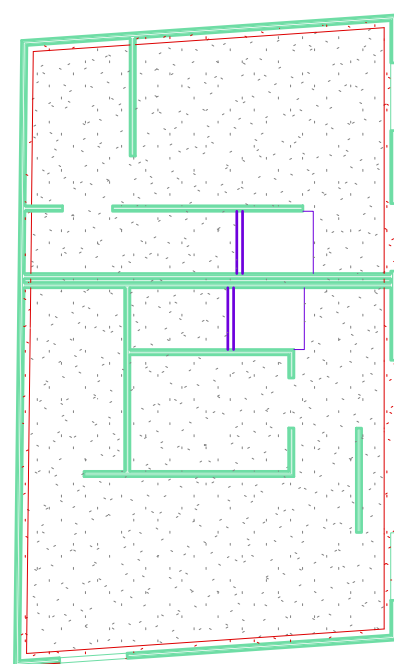
**PROJETOS DE ARQUITETURA E
ESPECIALIDADES DO “PROJETO
VARIANTE”**



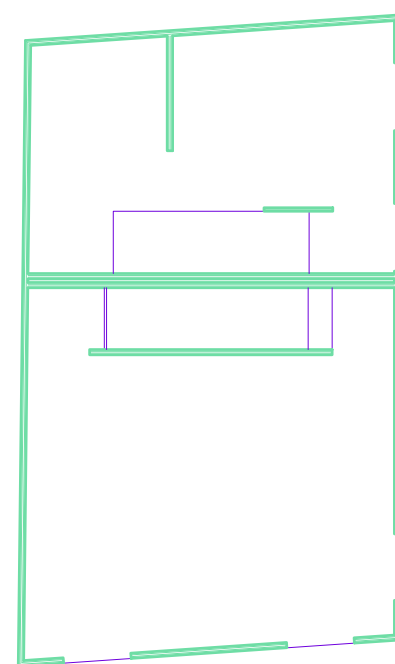
Planta Piso 1



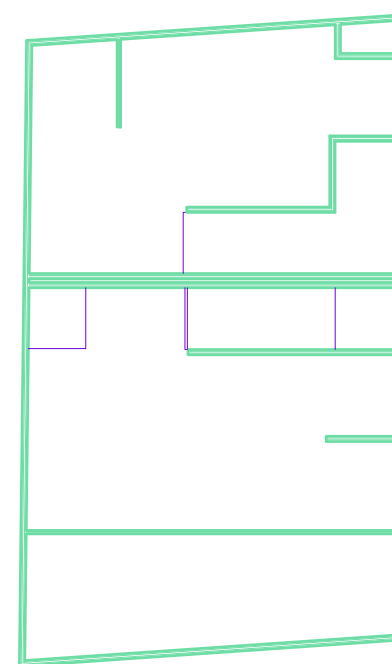




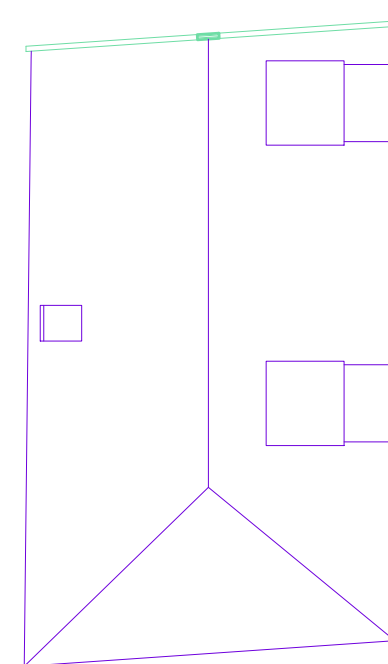
PLANTA PISO 0



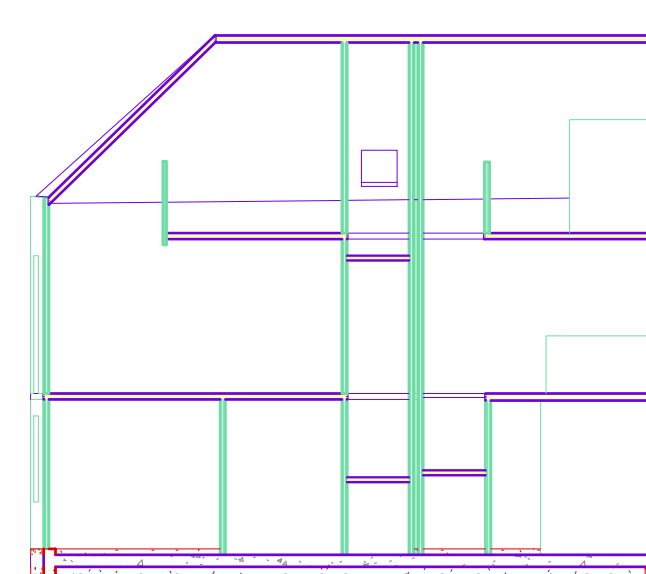
PLANTA PISO 1



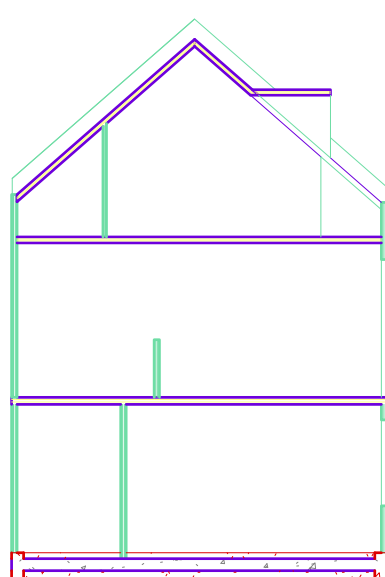
PLANTA PISO 2



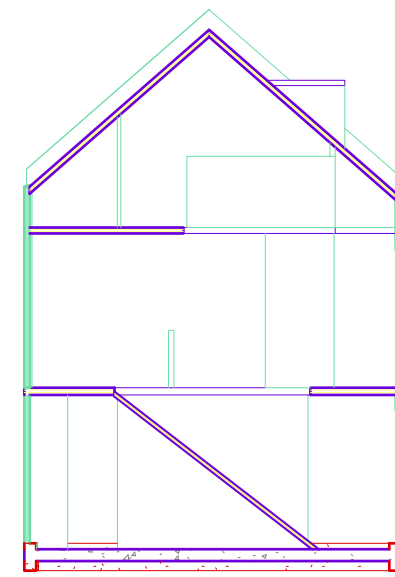
PLANTA COBERTURA



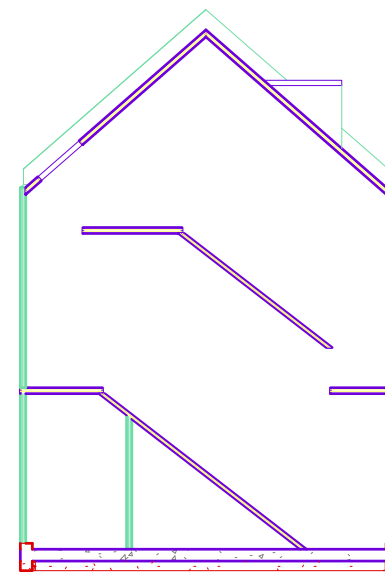
CORTE EE



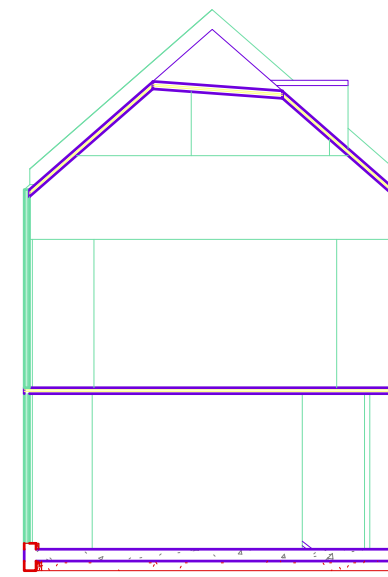
CORTE AA



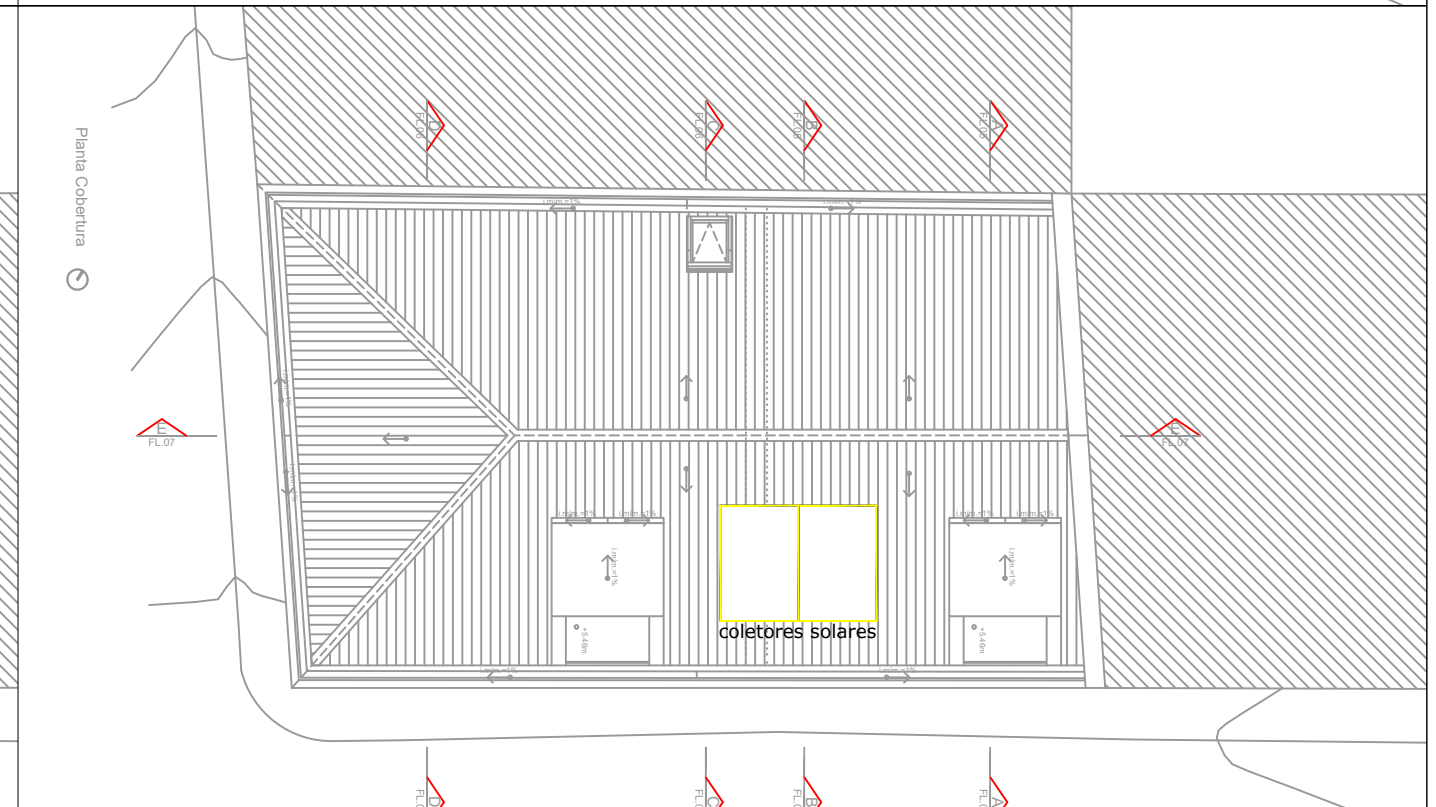
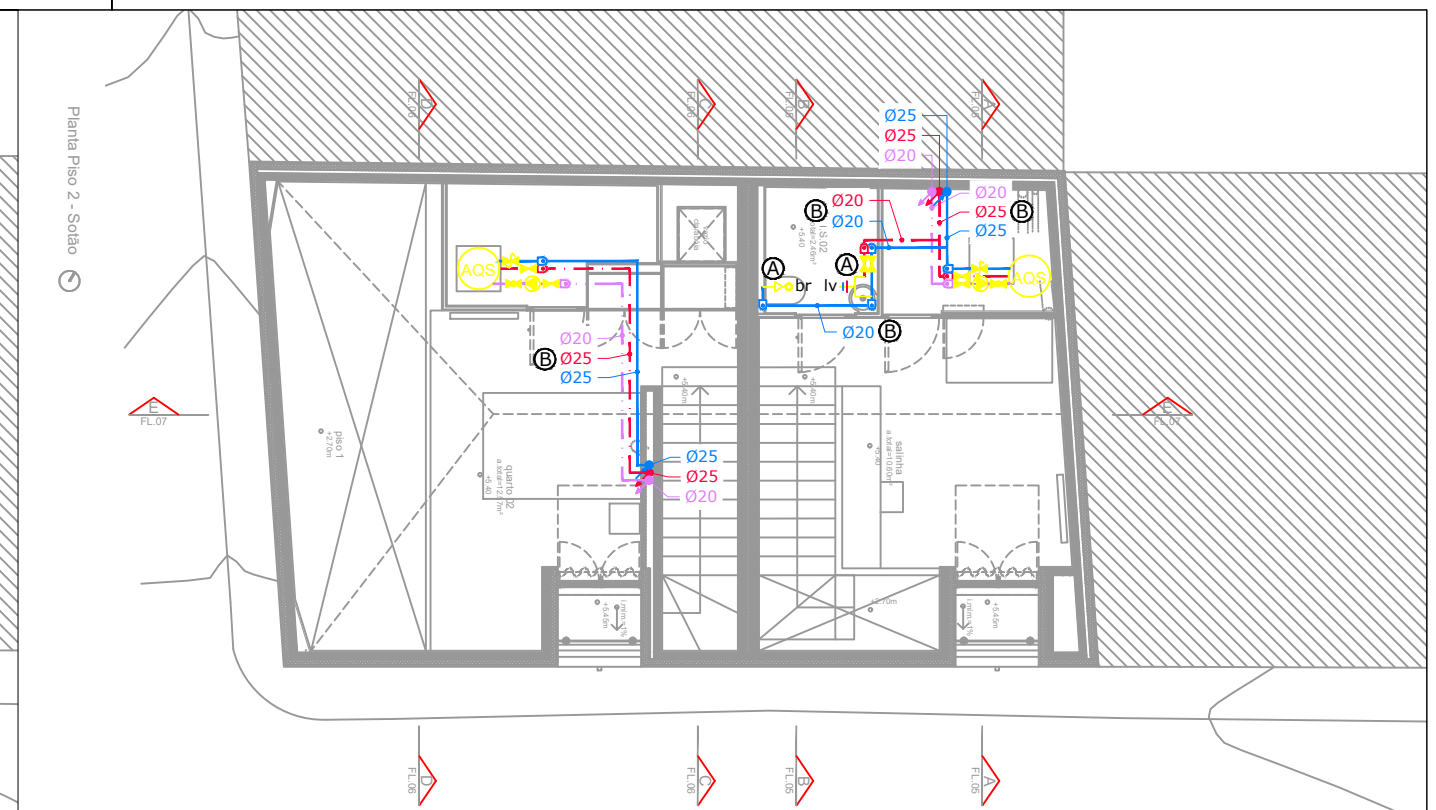
CORTE BB

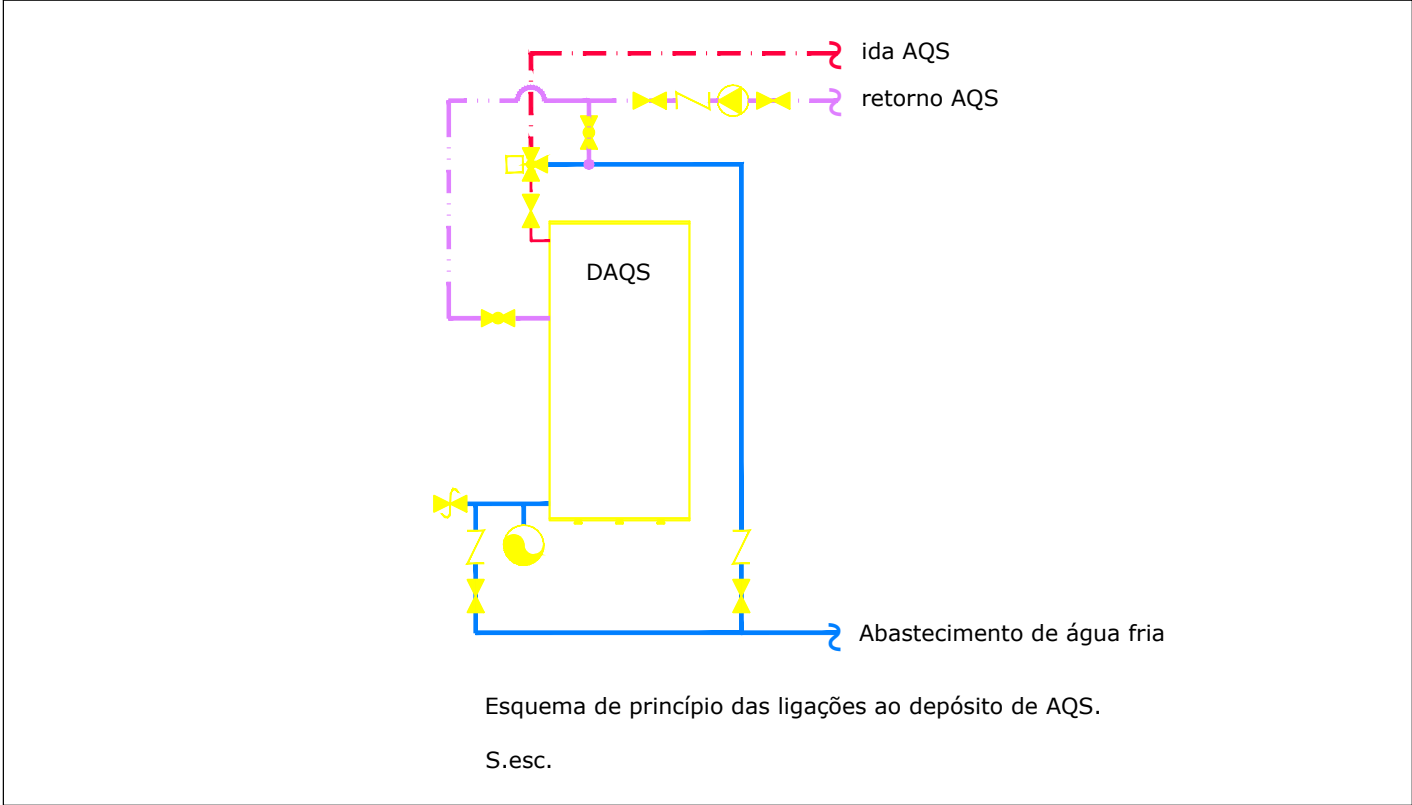
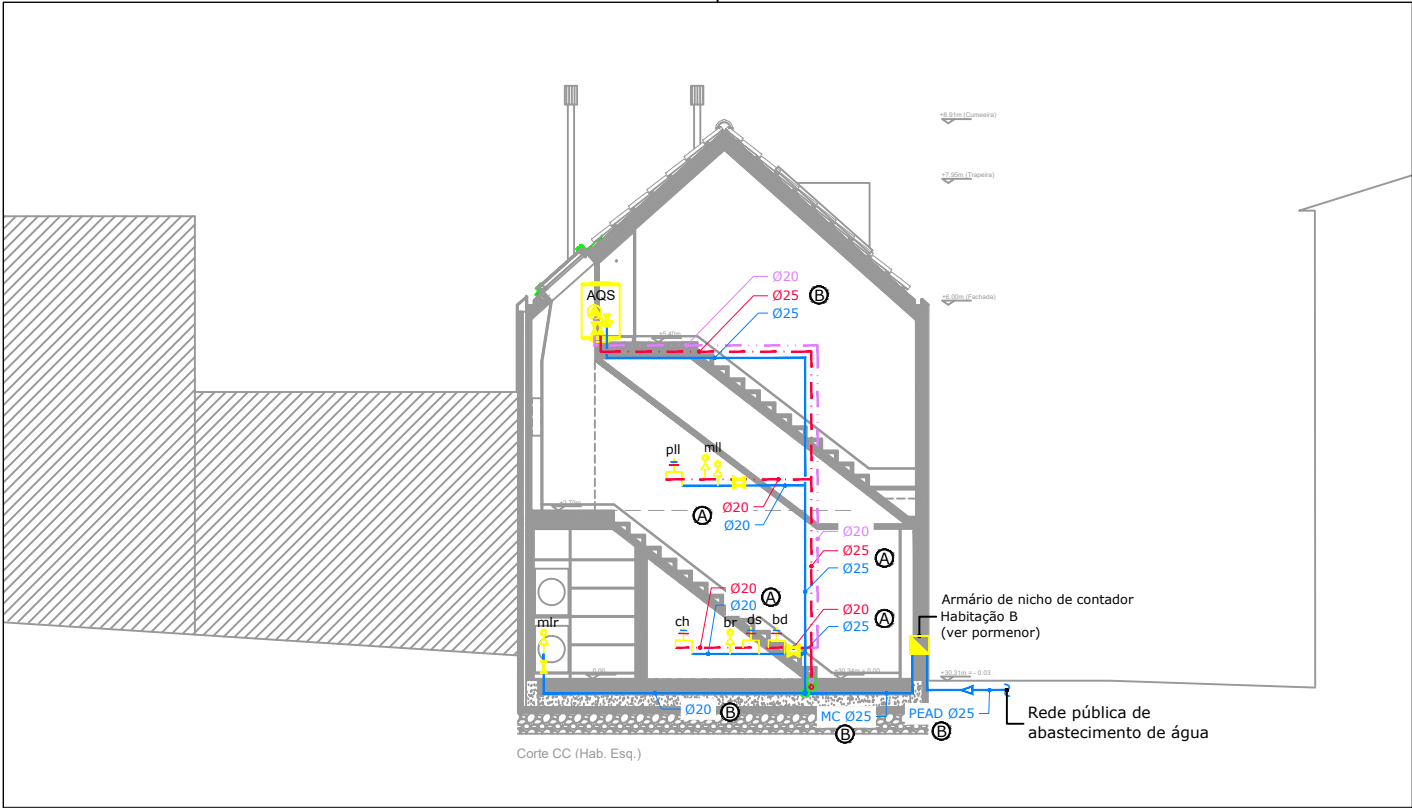


CORTE CC



CORTE DD





LEGENDA

SIMBOLOGIA

- Limite de intervenção
- Tubagem de água fria
- Tubagem de água quente
- Tubagem de água quente de retorno
- Coluna ascendente para o piso superior
- Coluna descendente para o piso inferior
- Coluna ascendente do piso inferior
- Coluna descendente do piso superior
- Coluna ascendente com passagem pelo piso
- Coluna descendente com passagem pelo piso
- Queda da tubagem da esquerda para direita
- Queda da tubagem da direita para esquerda
- Sentido de escoamento
- Torneira de esquadria
- Torneira de simples
- Torneira misturadora
- Torneira de serviço
- Válvula de seccionamento
- Válvula de retenção
- Válvula de seccionamento com retenção incorporada
- Válvula misturadora termostática
- Válvula de segurança
- Bomba de recirculação de AQS
- Depósito de AQS
- Nicho de Contador

- ① - Diâmetro nominal da tubagem
② - Indicação de material
③ - Sentido de escoamento

MATERIAL DA TUBAGEM

- TUBAGEM EXTERIOR
- Tubo PEAD PE100 PN10
- ÁGUA FRIA INTERIOR
- Tubo multicamada (MC) PE-RT / AL / PE-RT
- ÁGUA QUENTE
- Tubo multicamada (MC) PE-RT / AL / PE-RT

RAMAIS INDIVIDUAIS

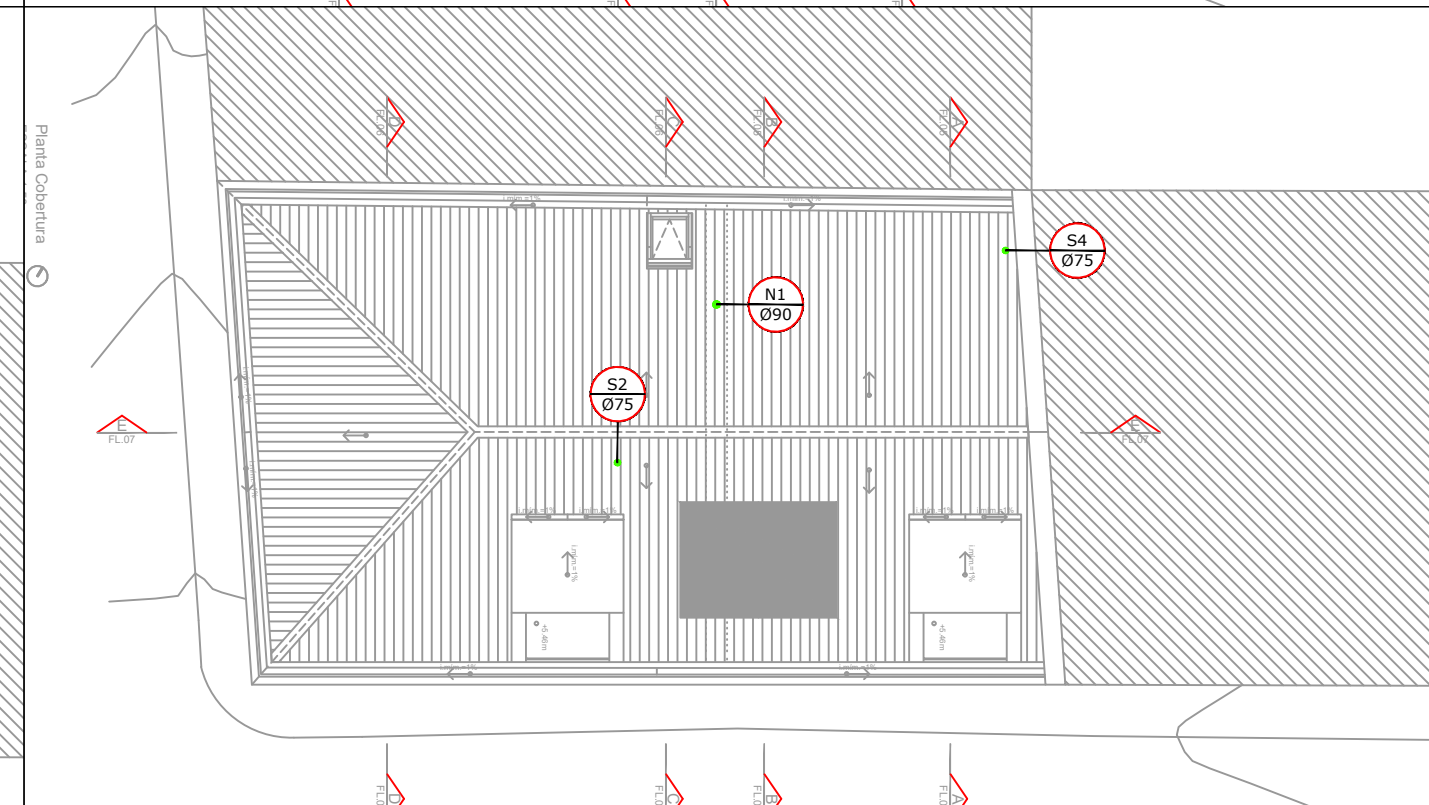
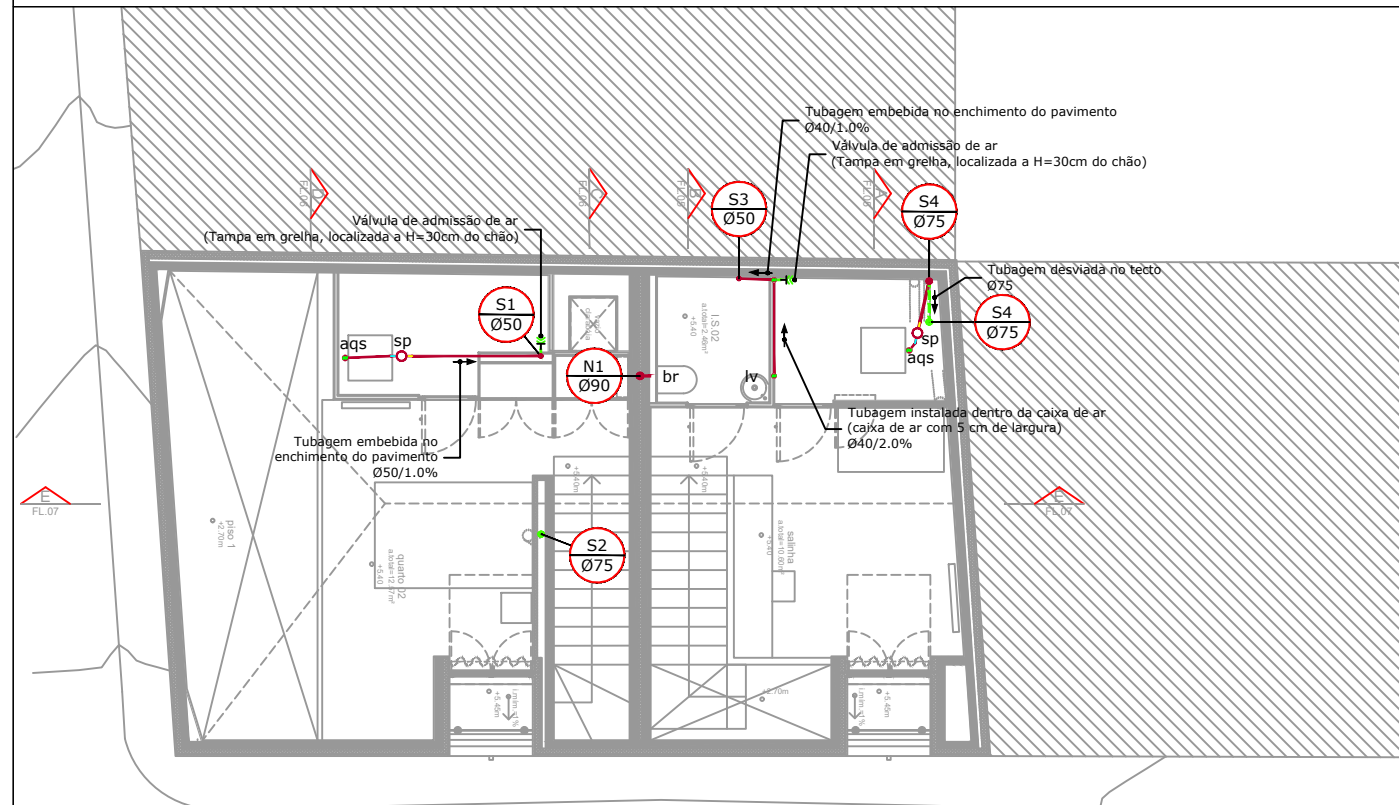
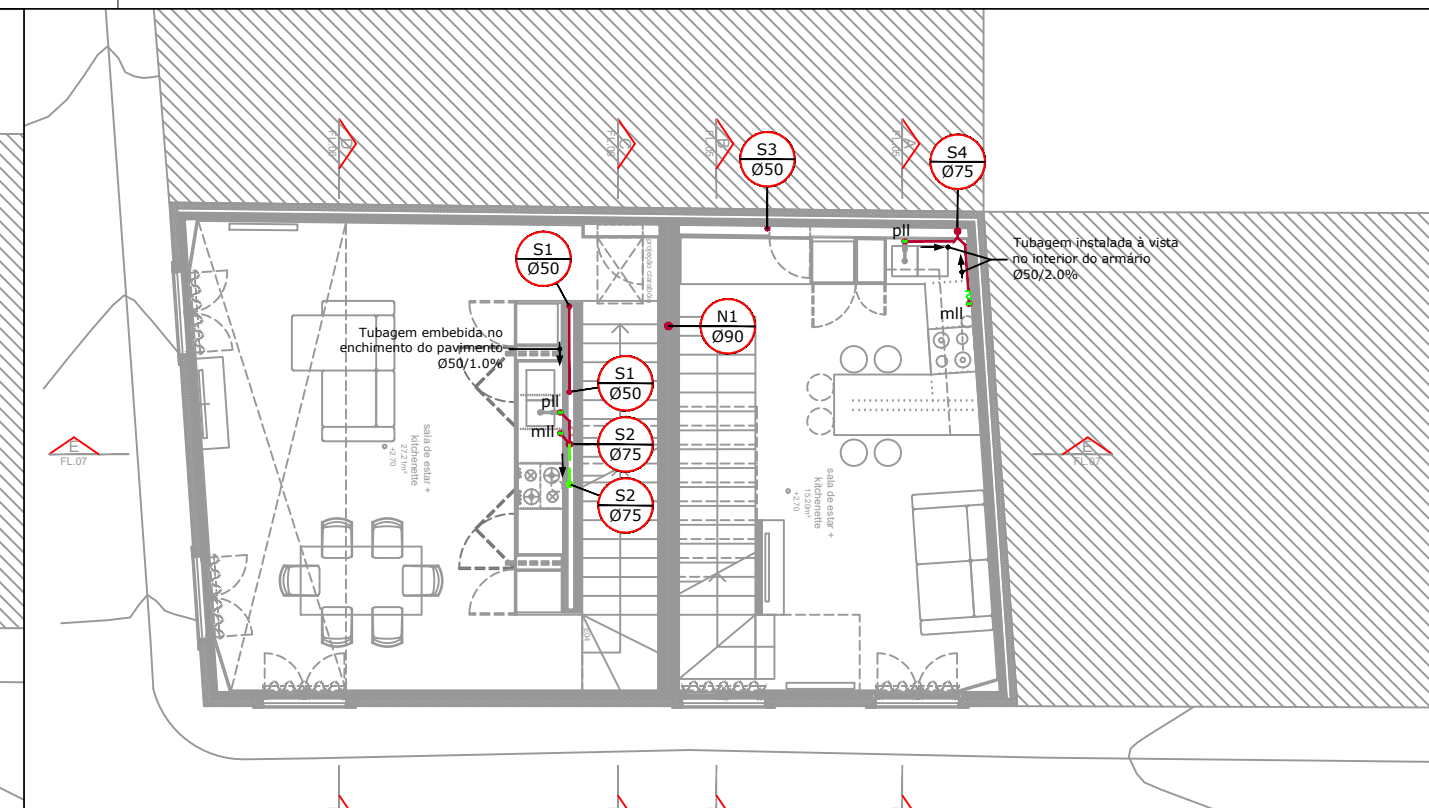
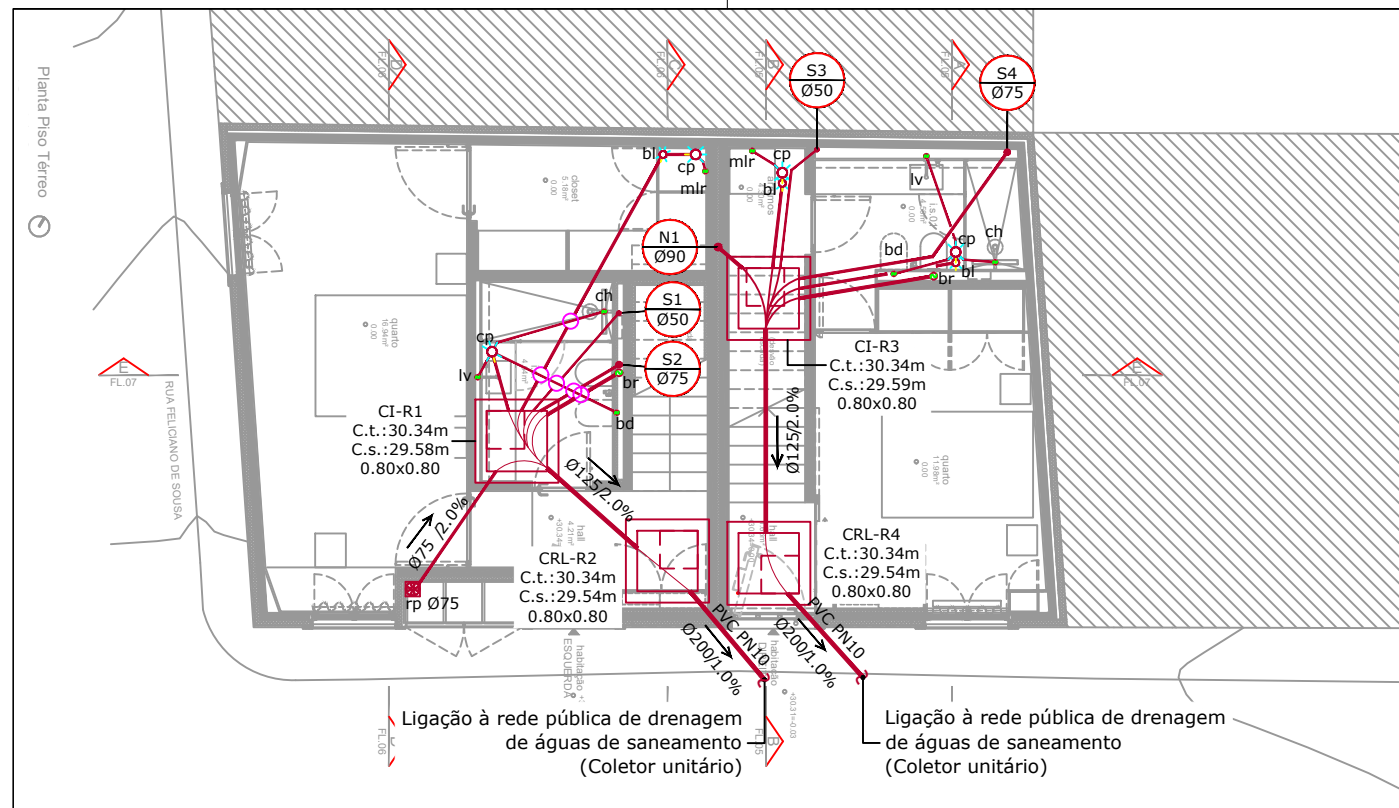
DISPOSITIVO	DN (mm)
pili	20
mlr	20
mll	20
tlr	20
lv	20
br	20
ch	20
bd	20
ba	20
ds	20
ts	25

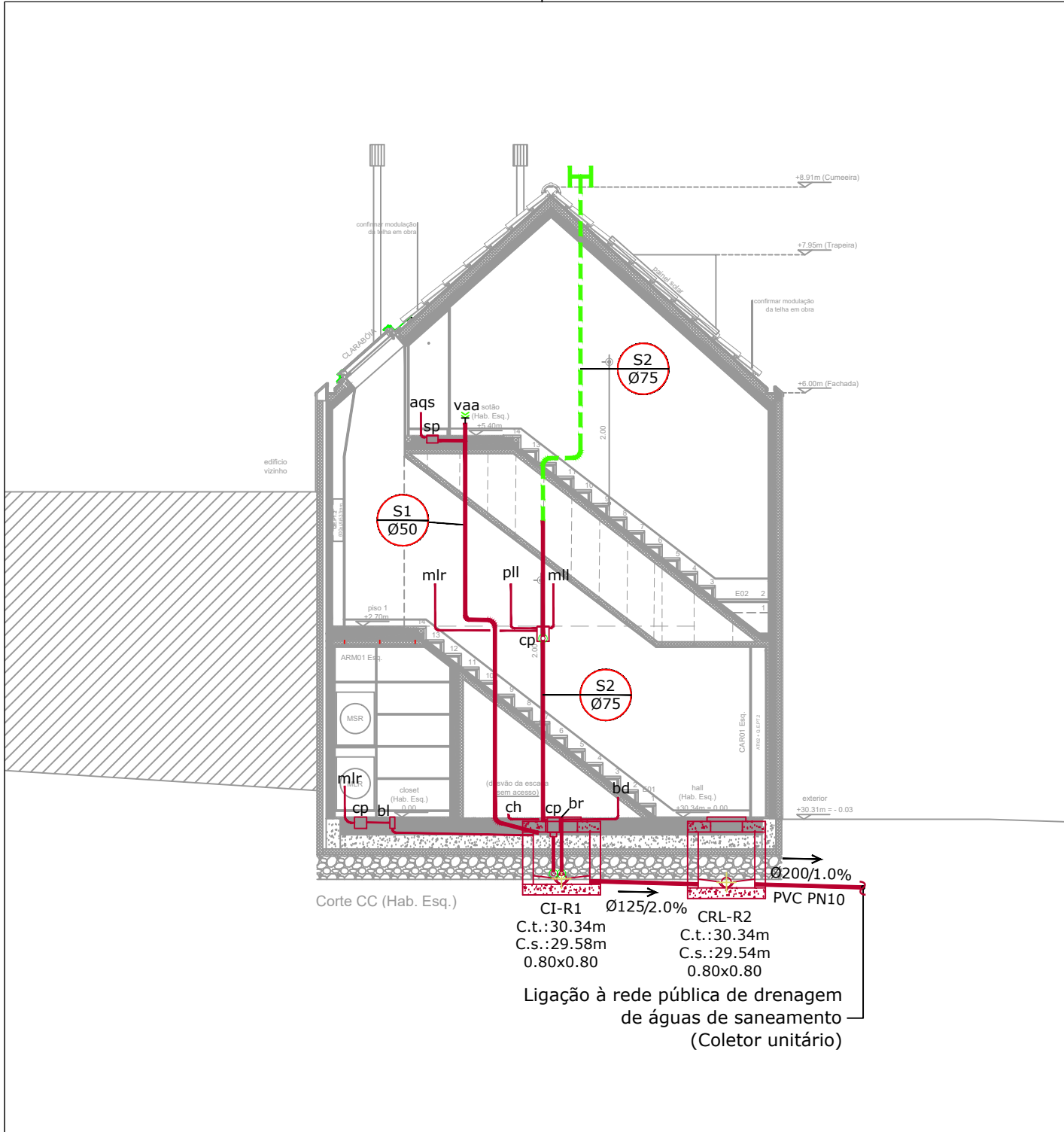
INSTALAÇÃO DA TUBAGEM

- Ⓐ Tubagem embutida na estrutura (h=0.40)
Ⓑ Tubagem embutida no enchimento da laje
Ⓒ Tubagem instalada à vista (interior dos armários baixos)
Ⓓ Tubagem suspensa ao nível do tecto falso

NOTAS GERAIS

- 1 - A localização dos pontos de água dos dispositivos é indicativa, devendo ser confirmada em obra pelo adjudicatário, em conformidade com a localização exata de cada dispositivo de utilização.
- 2 - Antes da implantação da rede predial deverão ser consultados os projetos das restantes especialidades para eventual compatibilização.





SIMBOLOGIA

- Limite de intervenção
- Tubagem de águas domésticas embecida/enterrada
- Tubagem de águas domésticas suspensa
- Tubagem de ventilação
- Designação e diâmetro do tubo de queda residuais domésticas
N - águas negras / S - águas de sabão
- Designação e diâmetro de tubo de ventilação
- Caixa de pavimento (cp) / Boca de limpeza (bl)
- Sifão de pavimento (sp)
- Boca de varejamento
- Câmara de inspeção
- Sentido de escoamento
- Ramal de descarga
- Sifão
- Válvula de admissão de ar

MATERIAIS DAS TUBAGENS:

COLETORES ENTERRADOS

- Tubo de polipropileno corrugado (PPC), da classe de rigidez circunferencial nominal SN 4, área de aplicação U, de acordo com a norma NP EN 13476-3, para diâmetros iguais ou superiores a Ø125 mm.

RAMAIS DE DESCARGA / TUBOS DE QUEDA

- Tubo de PP da série B, fabricado de acordo com a norma EN 1451.

RAMAIS E COLUNAS DE VENTILAÇÃO

- Tubo de PP da série B, fabricado de acordo com a norma EN 1451.

LIGAÇÃO À REDE PÚBLICA

- Tubo de PVC PN10, fabricado segundo a norma EN ISO 1452.

NOTAS GERAIS:

- A localização dos pontos de drenagem dos aparelhos é indicativa, devendo ser confirmada em obra pelo adjudicatário, em conformidade com a localização exata de cada aparelho.
- Antes da implantação da rede predial deverão ser consultados os projetos das restantes especialidades para eventual compatibilização.

TIPOS DE CÂMARAS DE INSPEÇÃO

- CI-Rxx: normal
- CF-Rxx: fundo roto
- CQ-Rxx: queda guiada
- CG-Rxx: rede de águas gordurosas
- CI-Exx: existente
- CD-Rxx: descompressão
- CB-Rxx: bombagem
- CRL-Rxx: ramal de ligação
- "-R": câmara da rede de águas residuais domésticas
- "xx": numeração da câmara
- C.t.: cota de tampa
- C.s.: cota de soleira
- C.s.e.: cota de soleira da tubagem de entrada
- C.s.s.: cota de soleira da tubagem de saída

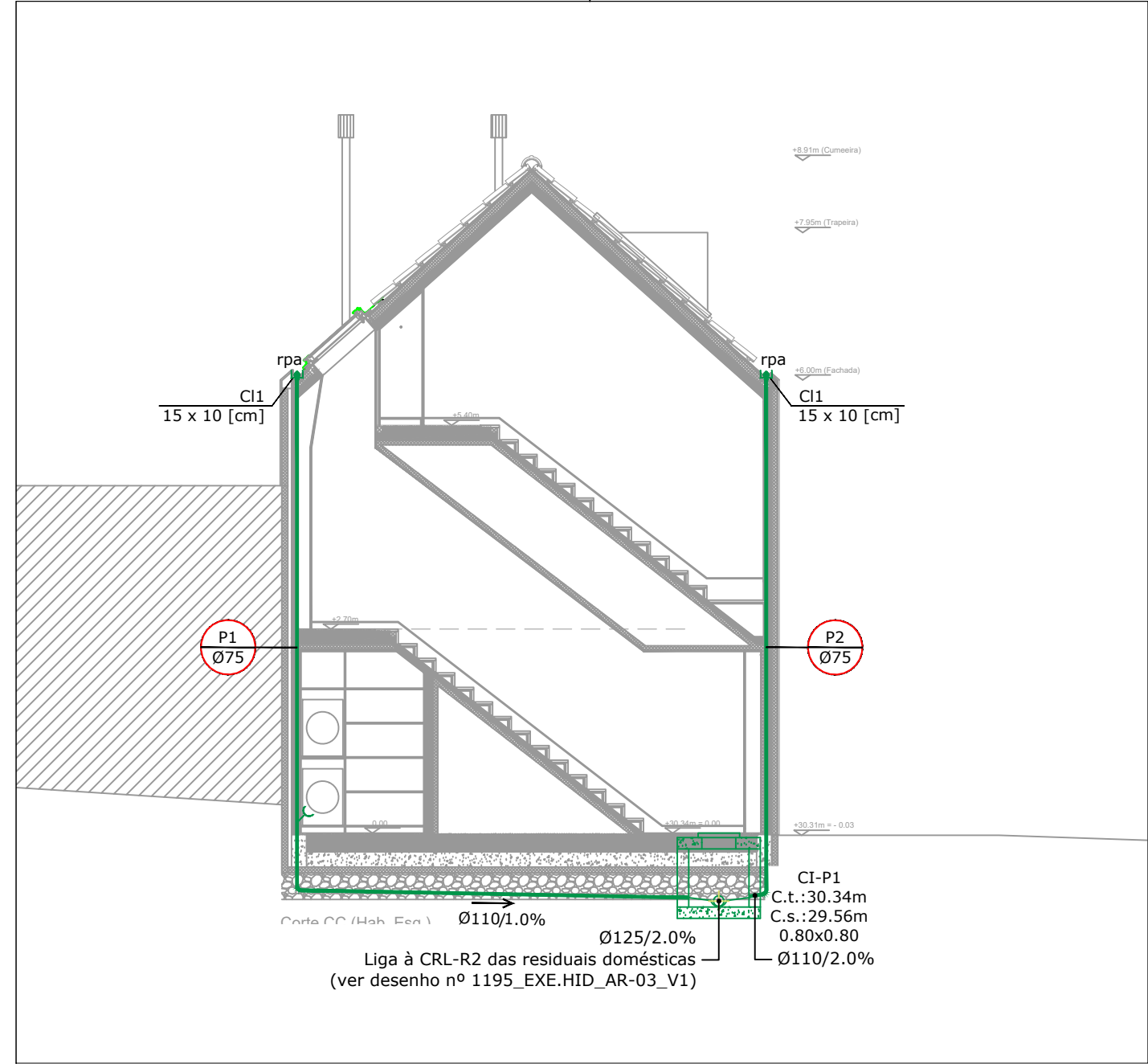
RAMAIS INDIVIDUAIS

DISPOSITIVO	DN (mm)	i (%)
ba banheira	50	2
bd bidé	50	2
br bacia de retrete	90	2
ch base de chuveiro	50	2
lv lavatório	50	2
ml/mlr máquinas de lavar	50	2
pll pia lava-louça	50	2
tlr tanque lava-roupa	50	2
rp ralo de pavimento sifonado	50/75	2
daqs depósito de água quente sanitária	50*	1

* Exceto quando indicado outro valor em planta

RAMAIS NÃO INDIVIDUAIS

DISPOSITIVO	DN (mm)
cp caixa de pavimento	75
bl boca de limpeza	90



SIMBOLOGIA

- Limite de intervenção
- Tubagem de águas pluviais embebida/enterrada
- Tubagem de águas pluviais suspensa
- Tubagem de ventilação embebida/enterrada
- Tubagem de ventilação suspensa
- Designação e diâmetro do tubo de queda pluvial
- Câmara de inspeção
- Sentido de escoamento
- Ralo de pinha (rpa)
- Boca de limpeza
- Orifício de descarga
- Caleira (cl)

MATERIAIS DAS TUBAGENS:

COLETORES ENTERRADOS

- Tubo de polipropileno corrugado (PPC), da classe de rigidez circunferencial nominal SN 4, área de aplicação U, de acordo com a norma NP EN 13476-3, para diâmetros iguais ou superiores a Ø125 mm.

RAMAIS DE DESCARGA / TUBOS DE QUEDA

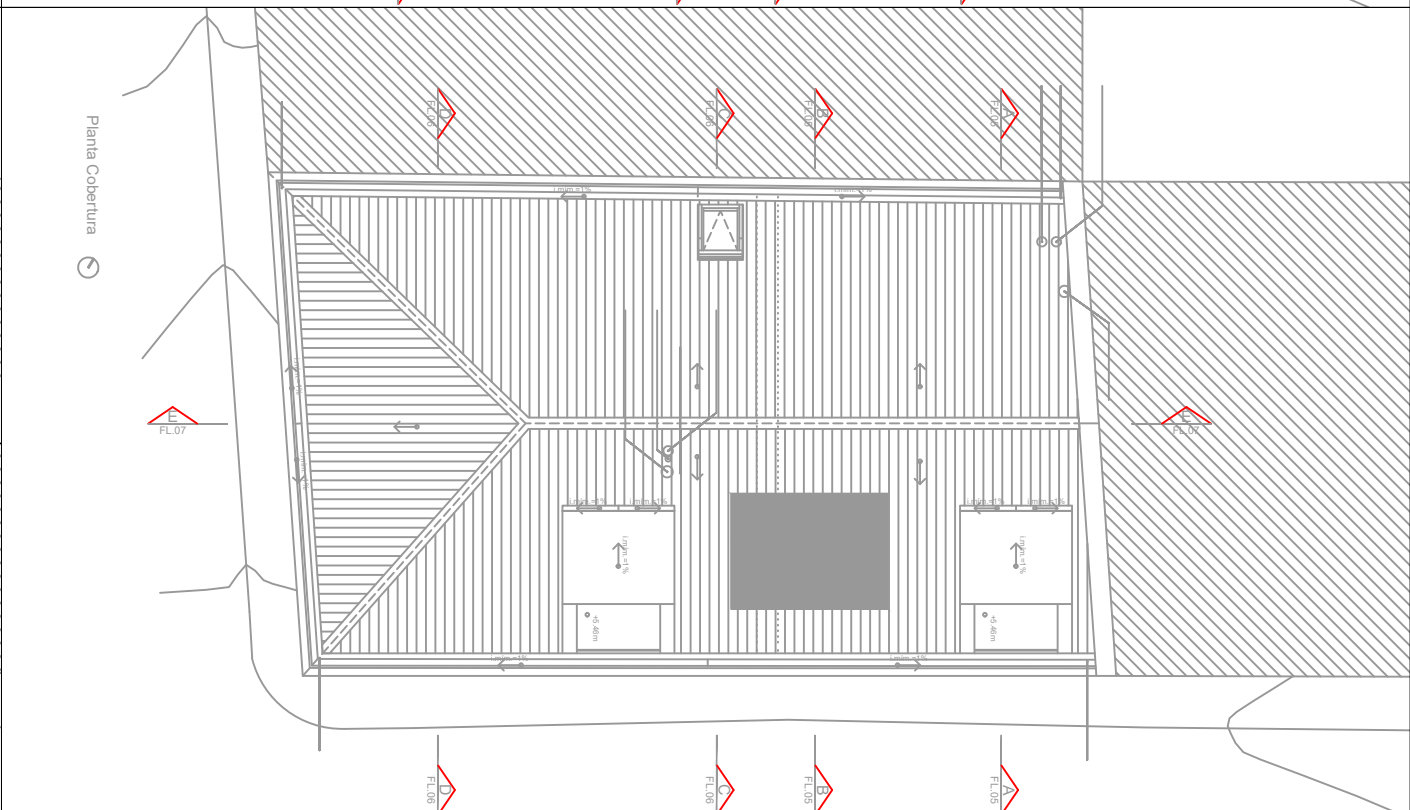
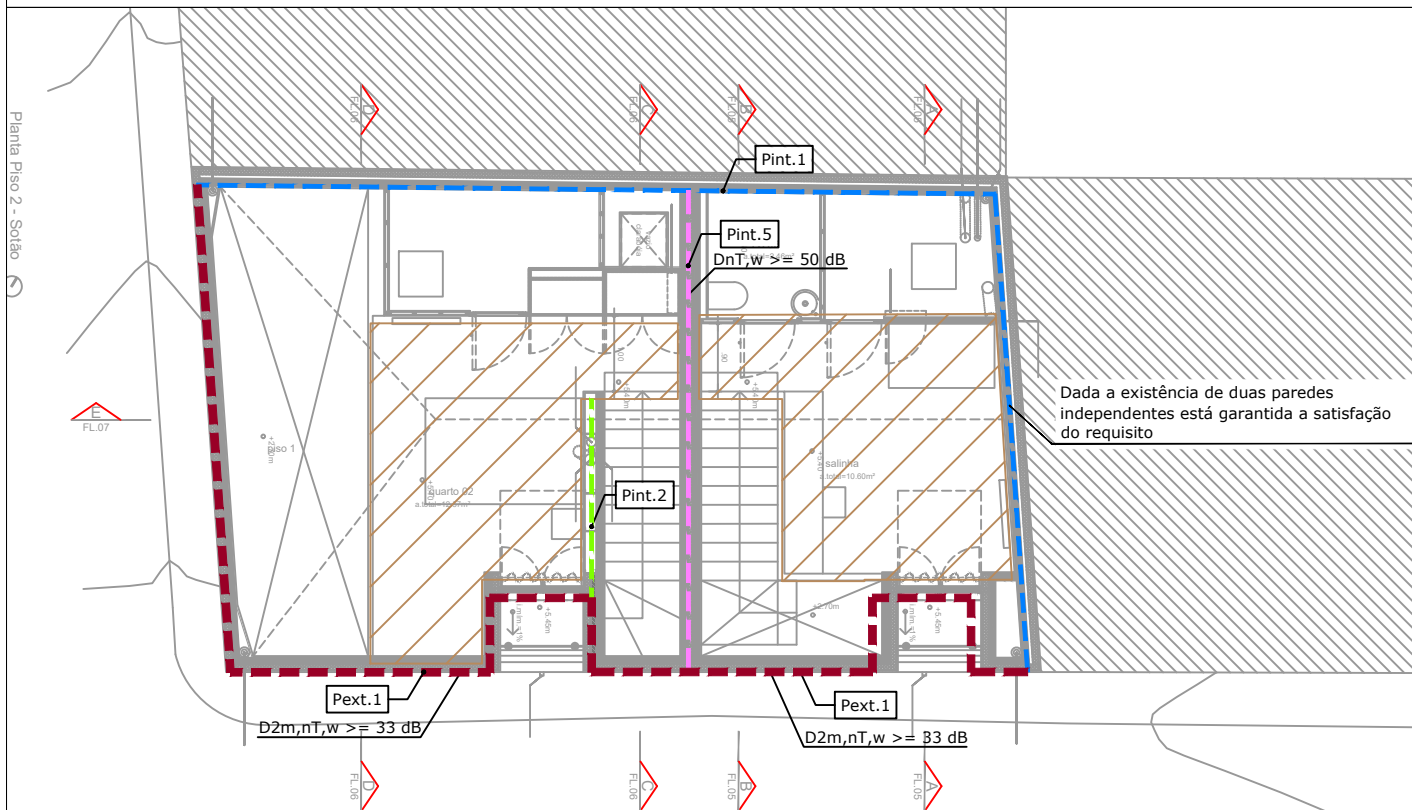
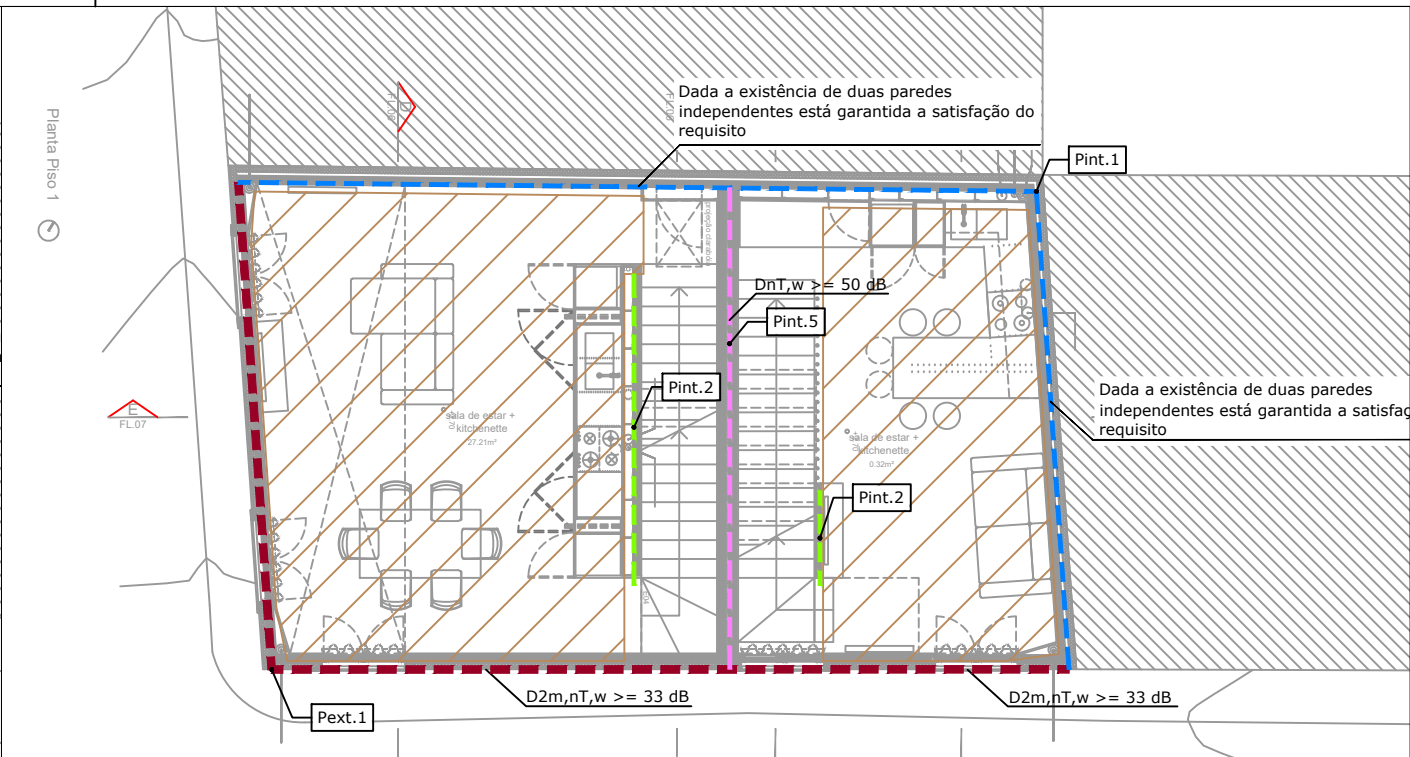
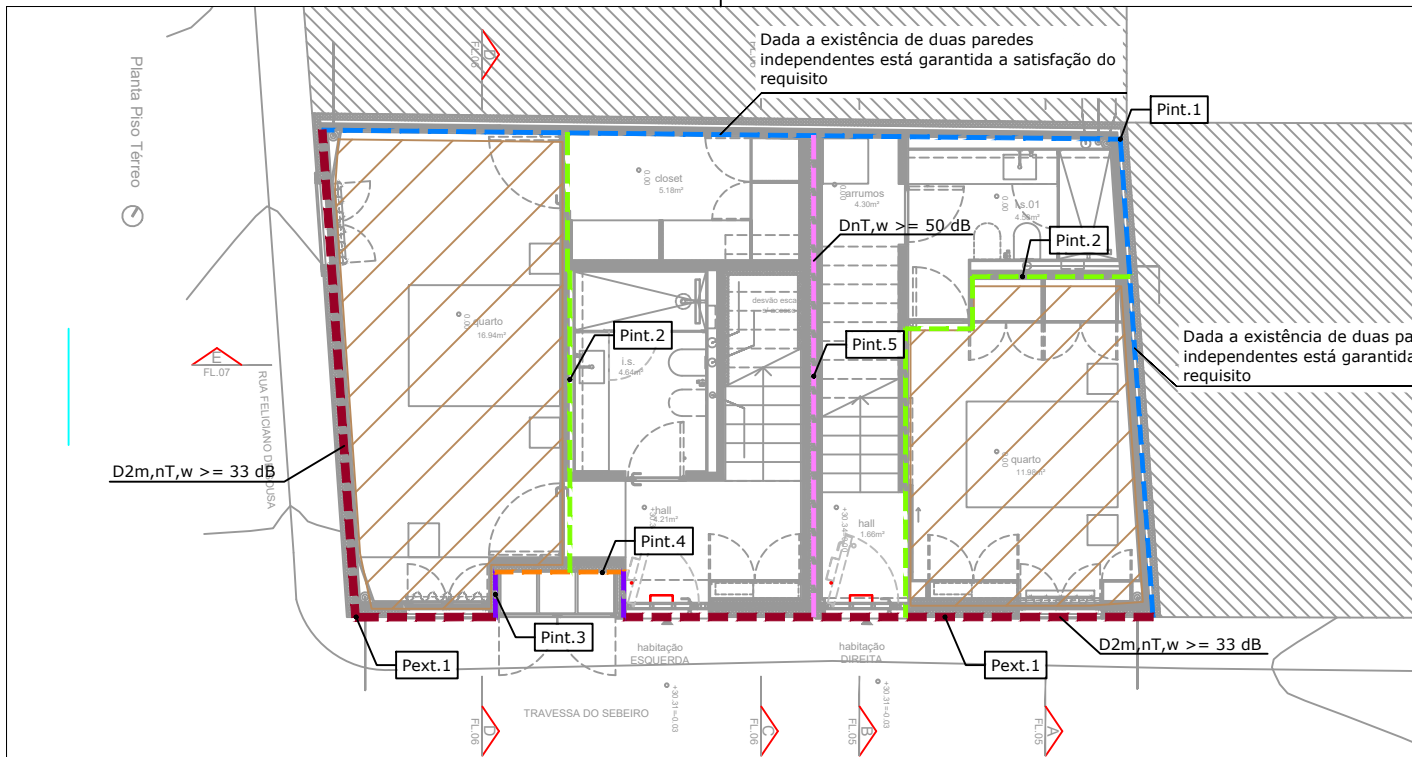
- Tubo de PP da série B, fabricado de acordo com a norma EN 1451.

NOTAS GERAIS:

- 1 - Antes da implantação da rede predial deverão ser consultados os projetos das restantes especialidades para eventual compatibilização.
- 2 - As cotas de tampa das câmaras de inspeção/areias quando representadas são indicativas, devendo ser obrigatoriamente verificadas no projeto de arquitetura antes da obra.

TIPOS DE CÂMARAS DE INSPEÇÃO

- CI-Pxx: normal
- CA-Pxx: caixa de areia
- CF-Pxx: fundo roto
- CQ-Pxx: queda guiada
- CG-Pxx: tampa de grelha
- CD-Pxx: descompressão
- CB-Pxx: bombagem
- CRL-Pxx: ramal de ligação
- CE-Pxx: existente
- PA-Pxx: poço absorvente
- "-P": câmara da rede de águas pluviais
- "xx": numeração da câmara
- C.t.: cota de tampa
- C.s.: cota de soleira
- C.s.e.: cota de soleira da tubagem de entrada
- C.s.s.: cota de soleira da tubagem de saída



LEGENDA

Compartimento com requisitos acústicos

PORMENORES CONSTRUTIVOS

Paredes Exteriores Pext.1

reboco: 2,0 cm / XPS: 8,0 cm / painel CLT: 9,0 cm / placa de gesso cartonado: 2,0 cm [exterior -> interior]

Paredes Interiores Pint.1

placa de gesso cartonado: 2,0 cm / painel CLT: 9,0 cm / caixa de ar: 5,0 cm / XPS: 8,0 cm [interior -> exterior]

Pint.2

placa de gesso cartonado: 2,0 cm / painel CLT: 9,0 cm / placa de gesso cartonado: 2,0 cm

Pint.3

placa de gesso cartonado: 3,0 cm / XPS: 6,0 cm / reboco: 2,0 cm

Pint.4

placa de gesso cartonado: 2,0 cm / painel CLT: 9,0 cm / XPS: 6,0 cm / reboco: 2,0 cm

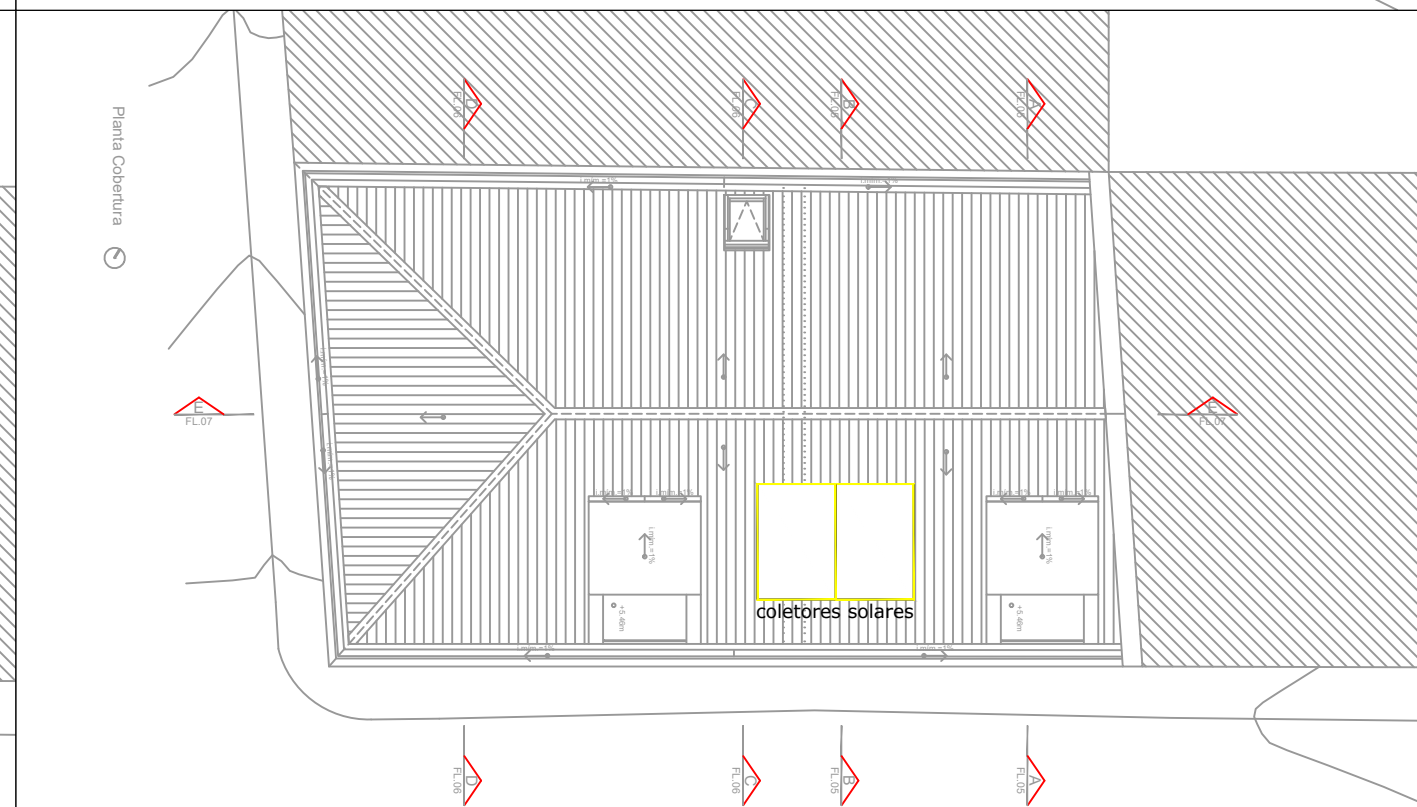
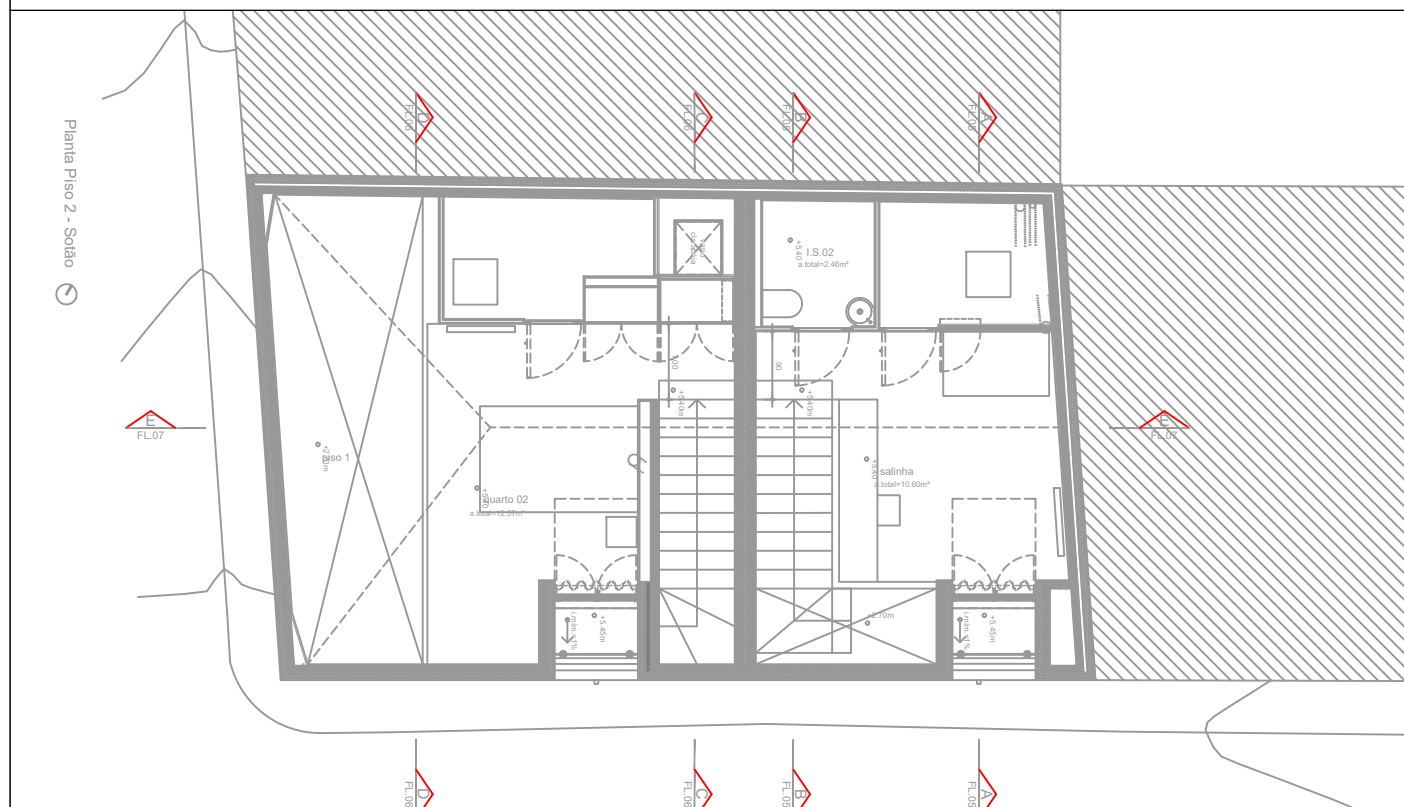
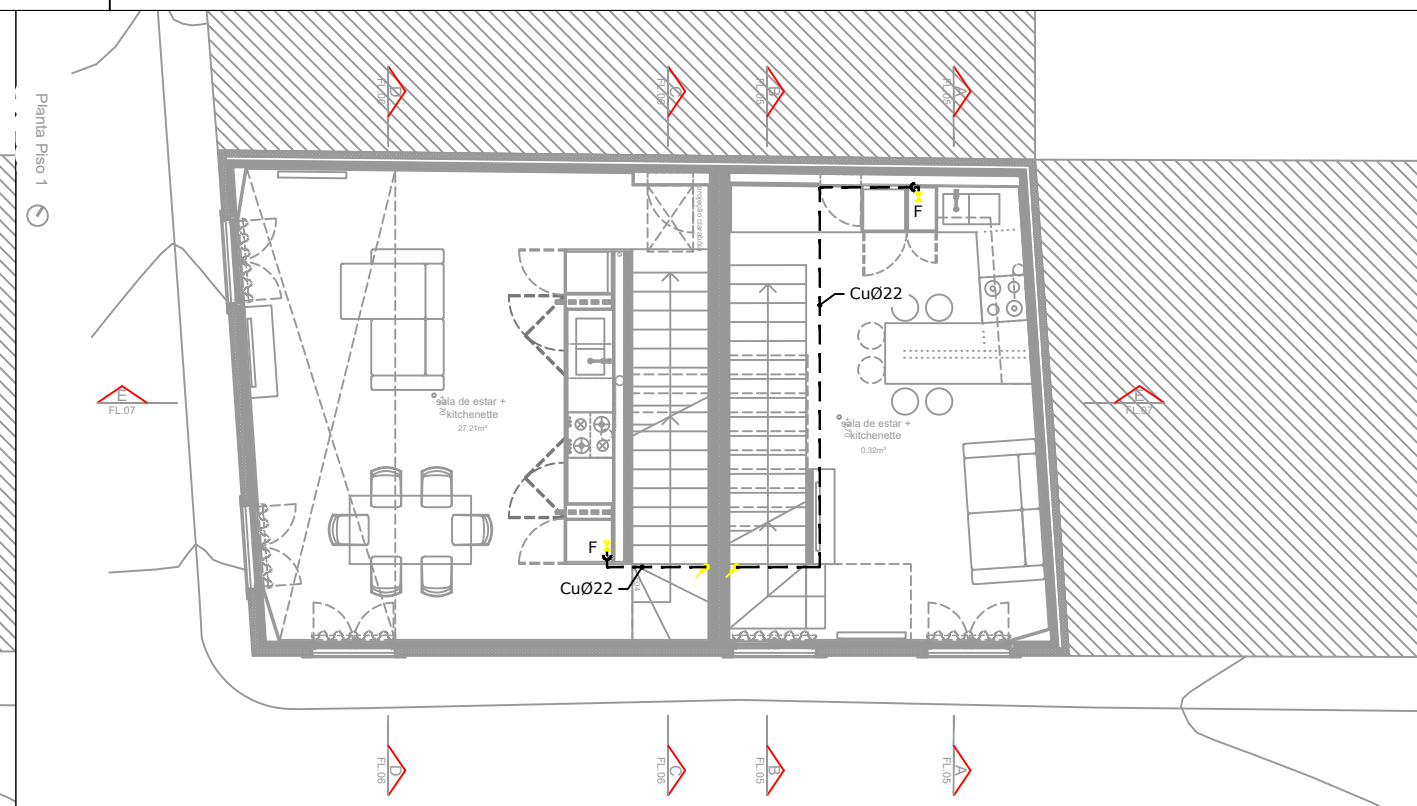
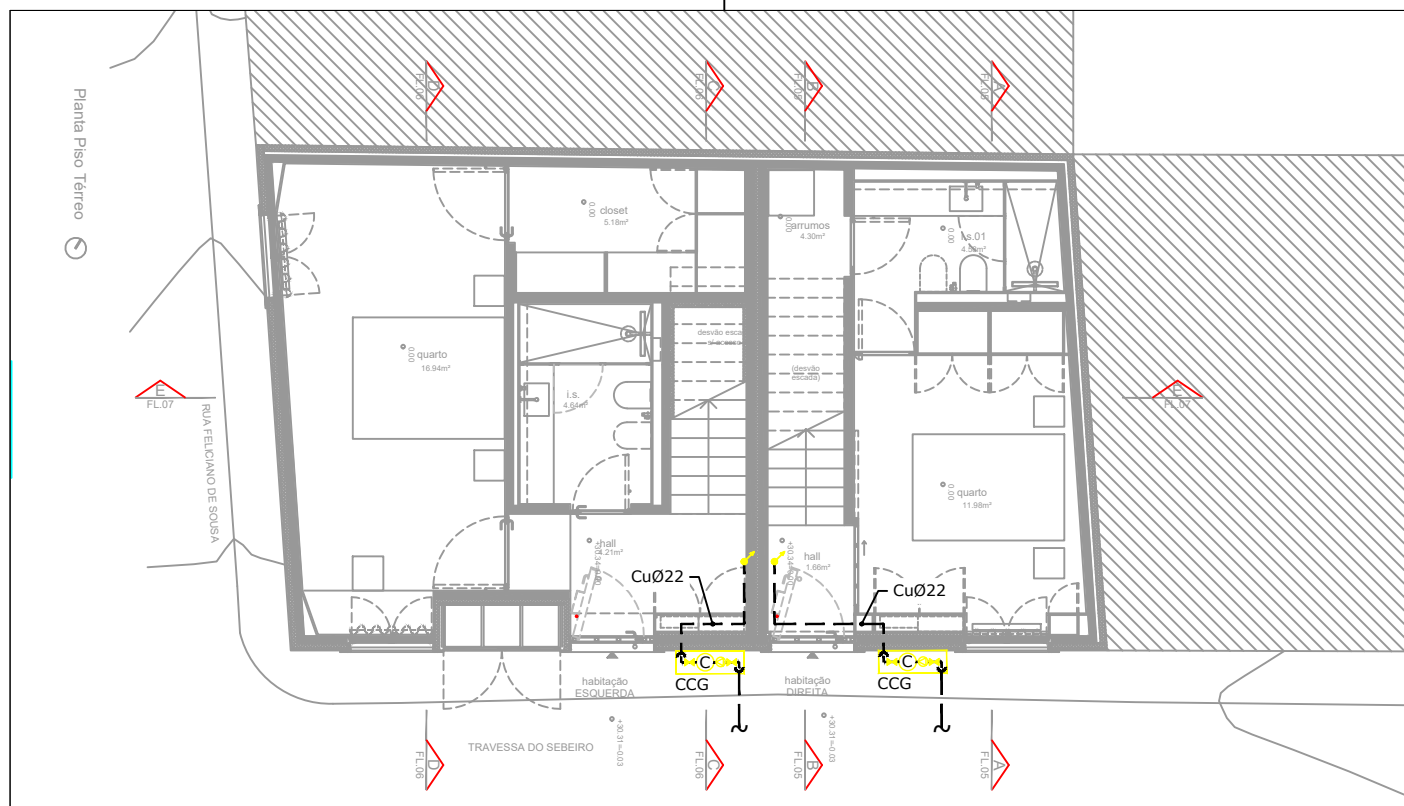
Pint.5

reboco: 2,0 cm / XPS: 8,0 cm / painel CLT: 9,0 cm / placa de gesso cartonado: 2,0 cm [exterior -> interior]

A3

ESCALA:1:100
PROJETO DE ACÚSTICA







SIMBOLOGIA

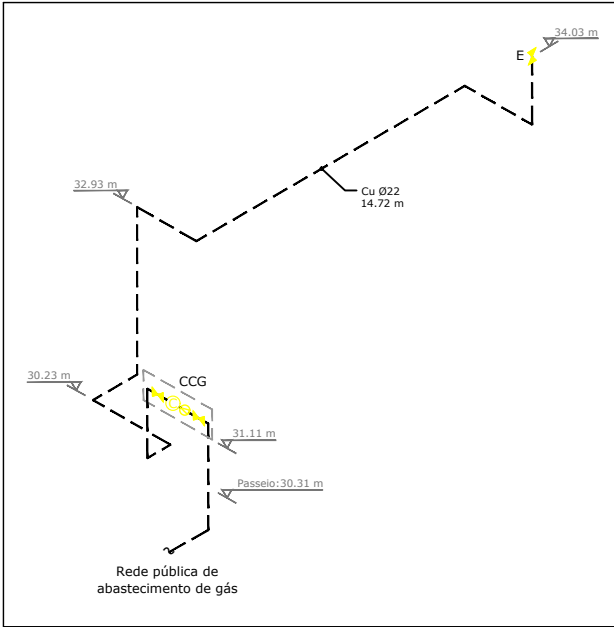
- TUBAGEM EMBEBIDA
- TUBAGEM À VISTA
- CAIXA DE CORTE GERAL (CCG) / CAIXA DE CORTE E TRANSIÇÃO (CC)
- VÁLVULA DE SECCIONAMENTO DE 1/4 DE VOLTA
- CONTADOR
- REDUTOR DE PRESSÃO
- ESQUENTADOR
- TÊ DE DERIVAÇÃO
- INDICAÇÃO DE DESCIDA DE TUBAGEM
- INDICAÇÃO DE SUBIDA DE TUBAGEM

- 1 - DIÂMETRO NOMINAL DA TUBAGEM
- 2 - INDICAÇÃO DO MATERIAL
- 3 - SENTIDO DE ESCOAMENTO

INSTALAÇÃO DA TUBAGEM

- A TUBAGEM EMBUTIDA NA ALVENARIA
- B TUBAGEM EMBUTIDA NO ENCHIMENTO DA LAJE
- C TUBAGEM INSTALADA À VISTA
- D TUBAGEM SUSPensa AO NÍVEL DO TETO FALSO

PERSPETIVA ISOMÉTRICA DA INSTALAÇÃO
HABITAÇÃO A (DIREITA)



PERSPETIVA ISOMÉTRICA DA INSTALAÇÃO
HABITAÇÃO B (ESQUERDA)

