

Caderno final

Análise multicritério
de paredes exteriores

Escola de Surf de Sines

Davide Trevisan

ISCTE - IUL Instituto Universitário de Lisboa

Novembro 2016



**ESCOLA DE TECNOLOGIAS E ARQUITETURA
DEPARTAMENTO DE ARQUITETURA E URBANISMO
MESTRADO INTEGRADO EM ARQUITETURA**

Projeto Final de Arquitetura 2015|2016
Davide Trevisan - 68450

Trabalho de projeto submetido como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em
Arquitetura

I. VERTENTE TEÓRICA
“Análise multicritério de paredes exteriores pesadas”
Orientador
Prof. Doutor Vasco Nunes da Ponte Moreira Rato

II. VERTENTE PRÁTICA
“Escola de Surf de Sines”
Tutor
Arquiteto Pedro da Luz Pinto

Lisboa 2016

RINGRAZIAMENTI

Alla mia famiglia, che è per me un appoggio solido e costante. Ringrazio mio padre e mia madre per aver avuto la pazienza di darmi un'istruzione e per aver costruito una famiglia indistruttibile.

Un grazie a Fabio e a Silvia per essermi stati sempre vicini ed essere sempre pronti ad ascoltarmi.

Un grazie a Larissa e a mia sorella Yuliia per aver dato una nuova luce alla nostra famiglia.

A Filipa. Per l'amore e tutto l'aiuto ed il sostegno che mi ha sempre dato. Per essere stata una colonna portante della mia vita in questi anni.

Ringrazio anche la sua meravigliosa famiglia. Grazie a Teresa, Jorge, Rita, Henrique e Ana, capaci di donare affetto, allegria e di condividere con me la cultura con leggerezza e passione. Grazie a loro ho conosciuto il Portogallo e i Portoghesi. A loro devo molto.

Agli amici di Avis e di Aveiro, per le serate in buona compagnia.

Agli amici dell'università che mi hanno accompagnato in questi due anni, in particolare Diogo, Hugo e Joaquim. Ai compagni del gruppo di progetto e a tutti i colleghi di studio dell'ISCTE.

Al Departamento de Arquitectura do ISCTE-IUL, per l'attenzione e la dedizione degli insegnanti verso gli studenti. Un grazie in particolare al Professor Vasco Moreira Rato, docente entusiasta che ha sempre creduto in me. Ed infine ringrazio il Professor Pedro da luz Pinto per l'appoggio costante nella parte progettuale.

Grazie

AGRADECIMENTOS

Para a minha família, que é para mim um suporte sólido e constante. Agradeço ao meu pai e à minha mãe por terem tido a paciência de me dar uma educação, e por terem construído uma família indestrutível.

Agradeço ao Fabio e à Silvia por estarem sempre por perto, e por estarem sempre dispostos a ouvir-me.

Agradeço também à Larissa e à minha irmã Yuliia, por terem dado uma nova luz à nossa família.

À Filipa. Pelo amor, por toda a ajuda e apoio que sempre me deu. Por ter sido um dos pilares da minha vida ao longo destes anos.

Deixo também um agradecimento para a sua maravilhosa família: para a Teresa, o Jorge, a Rita, o Henrique e a Ana, por terem sido capazes de dar afeição, alegria e por compartilharem comigo a cultura com leveza e paixão. Graças a eles, conheci Portugal e os Portugueses. Devo-lhes muito.

Aos amigos de Avis e de Aveiro, pelas noites em boa companhia.

Aos amigos da faculdade que me acompanharam nestes dois anos, especialmente ao Diogo, ao Hugo e ao Joaquim. Aos companheiros do grupo do projeto e a todos os colegas do ISCTE.

Ao Departamento de Arquitectura do ISCTE-IUL, pela atenção e a dedicação dos professores aos alunos. Agradeço particularmente ao Professor Doutor Vasco Moreira Rato, professor entusiasta que acreditou sempre em mim. Agradeço, por fim, ao Professor Doutor Pedro Pinto da Luz pelo apoio constante durante toda a execução do projeto.

Obrigado

ÍNDICE GERAL

PARTE I - VERTENTE TEÓRICA

1 - Introdução	20
2 - Estado da arte	22
3 - Descrição da Metodologia	38
4 - Resultados preliminares	54
5 - Resultados obtidos com o ajuste aos cenários de projeto	64
6 - Bibliografia	74

PARTE II - VERTENTE PRÁTICA

1 - Introdução	80
2 - Análise da cidade de sines	82
3 - Proposta de intervenção: Habitar o percurso	92
4 - Projeto individual	98

Parte I - VERTENTE TEÓRICA

Análise multicritério de paredes exteriores pesadas

Davide Trevisan - 68450

Trabalho Teórico submetido como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em
Arquitectura

Orientador:

Doutor Vasco Moreira Rato, Professor Auxiliar

ISCTE – Instituto Universitário de Lisboa

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	13
ÍNDICE DE TABELAS	14
GLOSSÁRIO DE SIGLAS	15
ABSTRACT	17
RESUMO	18
1 - INTRODUÇÃO	20
2 - ESTADO DA ARTE	22
2.1 - Seleção de soluções construtivas	22
2.2 - Métodos e modelos de análise de seleção	28
2.3 - Modelo de análise multicritério	31
2.3.1 – Historia da análise multicritério	35
3 - DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA	38
3.1 - Modelo de análise M-MACBETH	38
3.2 - Critérios utilizados	40
3.3 - Apresentação das opções e da sua caracterização em cada critério	44
3.4 - Cenários-base de projeto	49

3.5 - Tradução dos cenários de projeto no modelo MACBETH	50
4 - RESULTADOS PRELIMINARES	54
4.1 - Cenário 1.1	55
4.2 - Cenário 1.2	58
4.3 - Cenário 2.1	59
4.4 - Cenário 2.2	62
4.5 - Discussão de resultados	63
5 - RESULTADOS OBTIDOS COM O AJUSTE AOS CENÁRIOS DE PROJETO	64
5.1 - Novos cenários	64
5.2 - Cenário 1.1.1	65
5.3 - Cenário 1.2.1	68
5.4 - Cenário 2.1.1	69
5.5 - Cenário 2.2.1	70
5.6 - Discussão de resultados ajustados	71
5.7 - Conclusões	72
BIBLIOGRAFIA	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama das fases do LCA.	26
Figura 2 - Tipologias de paredes simples.	46
Figura 3 - Tipologias de paredes duplas tijolo-tijolo.	47
Figura 4 - Tipologias de paredes duplas tijolo-betão.	48
Figura 5 - Matriz de julgamento nos critérios e escala de ponderação do cenário 1.1.	51
Figura 6 - Matriz de julgamento nos critérios e escala de ponderação do cenário 2.1.	52
Figura 7 - Escala de ponderação do cenários 1.2 e 2.2.	53
Figura 8 - Representação gráfica das opções selecionadas do cenário 1.1.	55
Figuras 9 e 10 - Análise de sensibilidade relativa aos critérios It e EC do cenário 1.1.	57
Figura 11 - Representação gráfica das opções selecionadas do cenário 1.2.	58
Figura 12 - Representação gráfica das opções selecionadas do cenário 2.1.	59
Figuras 13 e 14 - Análise de sensibilidade relativa aos critérios EffEn e EC do cenário 2.1.	61
Figura 15 - Representação gráfica das opções selecionadas do cenário 2.2.	62
Figura 16 - Representação gráfica das opções selecionadas do cenário 1.1.1.	65
Figuras 17 e 18 - Análise de sensibilidade relativa aos critérios It e EC do cenário 1.1.1.	67
Figura 19 - Representação gráfica das opções selecionadas do cenário 1.2.1.	68
Figura 20 - Representação gráfica das opções selecionadas do cenário 2.1.1.	69
Figura 21 - Representação gráfica das opções selecionadas do cenário 2.2.1.	70

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Lista das 28 opções selecionadas.	45
Tabela 2 - Lista das opções selecionadas do cenário 1.1.	55
Tabela 3 - Lista das opções selecionadas do cenário 1.2.	58
Tabela 4 - Lista das opções selecionadas do cenário 2.1.	59
Tabela 5 - Lista das opções selecionadas do cenário 2.2.	62
Tabela 6 - Lista das opções selecionadas do cenário 1.1.1.	65
Tabela 7 - Lista das opções selecionadas do cenário 1.2.1.	68
Tabela 8 - Lista das opções selecionadas do cenário 2.1.1.	69
Tabela 9 - Lista das opções selecionadas do cenário 2.2.1.	70

GLOSSÁRIO DE SIGLAS

AHP - Analytical Hierarchy Process

AIRM - Aggregated Indices Randomization Method

BREEAM - Building Research Establishment Environmental Assessment Method

EC - Carbono incorporado

ELECTRE - ELimination Et Choix Traduisant la REalité

DA - Decision Analysis

DRSA - Dominance-based Rough Set Approach

EffEn - Eficiência energética

It - Inércia térmica

ITACA - Istituto per l'innovazione e Trasparenza degli Appalti e la Compatibilità Ambientale

LCA - Life-Cycle Assesment

LEED - Leadership in Energy and Environmental Design

MACBETH - Measuring Attractiveness by a Category Based Evaluation TecHnique

MAGIQ - Multi-Attribute Global Inference of Quality

MCDA - Multi-Criteria Decision Analysis

Mtfu - Massa Térmica Superficial Útil

PROMETÉE - Preference Ranking Organisation METHod for Enrichment Evaluations

U - Transmissão térmica unidirecional em regime permanente

ABSTRACT

The selection of materials and construction technologies in the field of architecture is a complex process which is influenced by numerous factors. Especially, the choice of the exterior walls highly affects the environmental comfort inside the building.

The wide possibility of choice between construction technologies, also due to the continuous innovation in the field of materials science, and the many criteria to consider, sometimes contradictory, interferes in the identification of the target solution that is best adapted to the project.

The aim of this study is to contribute to a more informed and integrated selection of building solutions for facades and to create a valuable support for professionals in choosing the building system that best meets the needs of the project.

Using a complex and consolidated method of decision support called MACBETH, 28 solutions of heavy walls facades have been evaluated, according to different design scenarios related to the climate and to the functional building program (residential). This evaluation was based on criteria of environmental impact and functional performance.

The results show that a simple wall facade solution composed of vertically perforated dense hollow brick with a high thickness is a balanced choice between functional performance and environmental impact, both for warm climates and for cold climates.

In particular for the projects included in a warm climate, it is preferable to select a wall facade with double inner layer consisting of concrete or massive brick. However, in warm climates, it was found that there is a conflict between the need for thermal inertia and the objective of reducing the environmental impact of construction solutions.

Keywords: facade selection; functional performance; environmental impact; MACBETH.

RESUMO

A selecção dos materiais e das tecnologias construtivas no âmbito da arquitectura é um processo complexo, que é influenciado por inúmeras variáveis. Em particular, a escolha das paredes exteriores afeta grandemente na obtenção do conforto ambiental no interior do edifício.

A ampla possibilidade de escolha entre as tecnologias construtivas, devida em parte à contínua inovação no campo da ciência dos materiais, e os muitos critérios a ter em consideração, por vezes contraditórios, dificultam a identificação de uma solução que se adapte melhor ao projeto.

O objetivo geral deste estudo é o de contribuir para uma selecção mais informada e integrada de soluções construtivas de fachada e criar um apoio valioso para os profissionais na escolha do sistema construtivo que melhor responde às necessidades do projeto.

Com recurso a um método complexo e consolidado de apoio à decisão denominado MACBETH, foram avaliadas 28 soluções de paredes pesadas de fachada, em função de diferentes cenários de projeto relacionados com o clima e o programa funcional do edifício (habitação). Esta avaliação baseou-se em critérios de impacte ambiental e de desempenho funcional.

Os resultados mostram que uma solução de fachada de parede simples composta por tijolo furado de firação vertical (tijolo térmico) e com uma espessura elevada representa uma escolha equilibrada entre desempenho funcional e impacte ambiental, tanto para climas quentes, como para climas frios.

Em particular nos projetos incluídos num clima quente é preferível realizar uma parede de fachada dupla com a camada interior constituída por betão ou tijolo maciço. Todavia, neste tipo

de clima, verifica-se existir um conflito entre a necessidade de inércia térmica e o objetivo de reduzir o impacto ambiental das soluções construtivas.

Palavras chave: seleção de fachadas; desempenho funcional; impacto ambiental; análise multi-critério; MACBETH.

1 - INTRODUÇÃO

Enquadramento

No processo de projeto de um edifício a mediação entre o arquiteto e o cliente é sempre um processo muito delicado. O diálogo que é criado tem como objectivo encontrar uma solução tecnológica a ser incluída no projeto que satisfaça as exigências do cliente e, ao mesmo tempo, esteja dentro dos parâmetros estabelecidos pelas necessidades funcionais e ambientais que o projeto exige. A concepção de um edifício requer, portanto, decisões que têm de lidar com inúmeros desafios que, para além das questões arquitetónicas relacionadas com o programa e o sítio, podem incluir, entre tantos outros, a eficiência energética, o ciclo de vida dos materiais, os custos e o controle ambiental para salvaguardar a saúde humana. Poderá ser muito difícil encontrar a solução certa, tendo em conta todas estas variáveis que são frequentemente contraditórias.

Objetivos

O objetivo geral deste estudo é o de contribuir para uma seleção mais informada e integrada de soluções construtivas de fachada. Para cumprir esta intenção, foi definido como objetivo específico a análise integrada, com recurso a um método consolidado de apoio à decisão, de 28 soluções de paredes pesadas de fachada, em função de diferentes cenários de projeto relacionados com o clima e o programa funcional do edifício (neste caso, habitação). O principal pressuposto associado a este objetivo é o de que a utilização de métodos complexos de apoio à decisão permite obter resultados significativamente mais detalhados e abrangentes quando comparados com o tradicional processo de seleção de soluções construtivas baseado na experiência acu-

mulada do projetista. O apoio à decisão utilizado no desenvolvimento deste trabalho constitui um método de análise multicritério desenvolvido por Carlos Bana e Costa e Jean-Claude Vansnick em 1990 denominado de MACBETH (Carlos A. Bana e Costa, Jean-Marie De Corte, Jean-Claude Vansnick, 2003).

Os 28 exemplos de paredes exteriores pesadas foram analisadas através do uso do *software* M-MACBETH aplicação informática associada ao método MACBETH. Estas 28 opções são então avaliadas, incluindo-as nos cenários de cálculo formulados para representar casos de projeto reais. Os exemplos construtivos em análise são comparados tendo em conta o seu impacto ambiental e seu impacto funcional. Pretende-se assim identificar, através da interpretação cuidadosa dos resultados, qual a solução construtiva que responde de forma mais eficaz às necessidades do projeto.

Estrutura da dissertação

Esta dissertação está dividida em cinco capítulos. Os capítulos 1 e 2 compreendem, respectivamente, esta introdução e um resumo do estado da arte sobre a descrição dos métodos de escolha de sistema de construção, o valor que a escolha do sistema de construção tem no âmbito da arquitectura, uma introdução aos métodos multi-critérios e um resumo da sua história.

O capítulo 3 é dedicado à apresentação da metodologia utilizada neste estudo. Esta secção descreve as ferramentas escolhidas para análise, os parâmetros tidos em conta, os sistemas constructivos objeto de estudo, os cenários de projecto em que estão inseridos e, finalmente, a tradução destes dados pelo modelo MACBETH.

No capítulo 4 e 5 são apresentados e analisados os resultados deste trabalho.

2 - ESTADO DA ARTE

2.1 - Seleção de soluções construtivas

As paredes de fachada tem como função principal criar uma barreira entre o espaço exterior e o espaço interior limitando as trocas de energia entre os dois ambientes. Esta contenção permite um controlo do ambiente interior, mantendo-o dentro certas condições. É através das paredes exteriores que ocorre a troca de energia mais significativa com o ambiente exterior. Assim, a atenção que é preciso dedicar à escolha do sistema construtivo para as paredes de fachada é essencial.

Normalmente, um projetista opta por utilizar as tecnologias de construção nas quais se especializa e domina, tanto por questões de tempo, como por questões relativas aos conhecimentos pessoais. Esta escolha é feita a fim de evitar a ocorrência de problemas durante a fase de construção do edifício ou após a mesma. Apesar desta tendência poder parecer de certa forma lógica, ela impede muitas vezes a correta avaliação por parte do projetista para encontrar a solução que melhor se adapta às necessidades do projeto e, assim sendo, representa um obstáculo para ampliar os seus conhecimentos.

Contudo, a ideia de considerar um panorama mais amplo de possibilidades concretiza-se num processo muito complexo e rico de variáveis devido à presença de muitos fatores que devem ser tidos em conta como, por exemplo, as características físicas dos materiais, os valores de impacto ambiental, a durabilidade, os custos e a preferência pessoal do cliente. Além disso, a evolução contínua no campo dos materiais tem levado a um grande aumento das possibilidades de escolha de soluções construtivas. Tudo isto coloca em frente do projetista uma lista infinita

de possibilidades para escolher.

Ao longo das últimas décadas foram desenvolvidos *softwares* utilizando métodos aritméticos, chamados “multi-critério”, para apoiar o processo de decisão. Estes *softwares* são cada vez mais utilizados pelos investigadores que trabalham no campo da arquitetura e da engenharia com o objetivo de melhorar o processo de otimização dos edifícios.

A seleção de materiais é uma etapa importante do processo projetual em termos funcionais e de meio ambiente. No passado, os materiais utilizados fizeram parte do território em que era construído o edifício. Posteriormente, a arquitetura tornou-se mais global e com ela os materiais para a construção também evoluíram.

Hoje em dia é normal utilizar materiais “globais”, tais como betão, tijolo, alumínio, aço, etc. A produção, o transporte, o montagem e a demolição, ou o reciclagem, destes materiais implica, no entanto, um alto consumo de energia (energia incorporada), do qual, por sua vez, resulta uma elevada quantidade de dióxido de carbono emitido para o ambiente (carbono incorporado) (Ricardo Mateus, Sara Neiva, Luis Bragança, Paulo Mendonça, Monica Macieira, 2013). A causa da ligação entre o consumo de energia e as emissões de carbono é explicada pelo facto de que a maioria dos processos de realização dos materiais ainda depende largamente dos combustíveis fósseis. Estes dois fatores estão entre aqueles que afetam a certificação ambiental dos edifícios. Esta certificação permite a avaliação dos consumos, da eficiência energética e do impacto ambiental do edifício, permitindo o acesso a bónus volumétricos ou económicos em relação às normas em vigor no país em que o edifício foi construído. Algumas das ferramentas mais populares para avaliar o desempenho de energia e a sustentabilidade dos edifícios são LEED, BREEAM, o sistema LiderA e o protocolo ITACA (Arbizzani, 2011).

Atualmente, a indústria da construção utiliza 40% dos recursos naturais nos países industrializados e consome mais de 70% da energia elétrica (Castro-Lacouture Daniel, Sefair Jorge A.,

Florez Laura, Medaglia Andrés L., 2009). Mas a escolha de um sistema construtivo adequado pode também influenciar diretamente a qualidade de vida das pessoas. Uma pessoa, normalmente, passa dentro de um edifício 70% do seu tempo, muitas vezes por razões de trabalho. Um ambiente interior confortável não só pode melhorar a eficiência do trabalho das pessoas, como também proteger a sua saúde (Yu Huang, Jian-lei Niu, 2015). Ao escolher um sistema construtivo que garanta um bom controle ambiental interior, estarão a ser evitadas perdas inúteis de energia, reduzindo assim o consumo e os custos. Considerando que se prevê um aumento na procura de energia global em 71% entre 2003 e 2030, parece ser claro que a redução do consumo de energia de um edifício durante o seu ciclo de vida é essencial (F. Sandrolini, E. Franzoni, 2009).

Em Itália, foi aprovado em 2004, o protocolo ITACA (Istituto per l'innovazione e Trasparenza degli Appalti e la Compatibilità Ambientale), uma ferramenta que avalia a sustentabilidade energética e ambiental dos edifícios. Este protocolo testa o desempenho de um edifício, tendo em conta não só o consumo e a eficiência energética, mas também o impacto sobre o meio ambiente e a saúde humana. Através deste protocolo, a criação de edifícios cada vez mais avançados torna-se mais fácil (Protocollo Itaca per l'Edilizia Sostenibile, s.d.).

Cristina Baglivo, Paolo Maria Congedo e Andrea Fazio (Cristina Baglivo, Paolo Maria Congedo, Andrea Fazio, 2014) definem, no seu estudo, um novo conjunto de configurações possíveis para compor paredes exteriores com características que respeitam o Protocolo de ITACA nas áreas de clima mediterrâneo. Este trabalho foi realizado através de um método de análise multi-critério cujo objectivo seria identificar os materiais mais adequados para o efeito. O processo de otimização foi realizado tendo em conta todo o ciclo de vida dos materiais. O resultado do estudo evidencia a importância de manter, num clima quente, uma primeira camada de um material com um elevado índice de massa térmica superficial na parte interior da alvenaria, como por exemplo o betão, seguido de uma camada de material isolante comum e uma outra camada

exterior de material isolante “eco-friendly”.

A atenção que surge na escolha dos materiais desempenha um papel fundamental no projeto de edifícios localizados em áreas que requerem atenção especial em termos de controle ambiental devido ao seu clima. Normalmente, em edifícios concebidos para um clima frio, para se obter uma baixa transmissão térmica utilizam-se materiais de baixa densidade em grande espessura, com o objectivo de reduzir os custos de aquecimento, evitando tanto quanto possível a fuga de energia para o exterior. Todavia, durante o verão, estes edifícios hiper-isolados apresentarão uma grande dificuldade em controlar a temperatura interior. Para encontrar o conforto térmico terá que se esperar uma noite ventosa ou dever-se-á utilizar um sistema de ar condicionado (Cristina Baglivo, Paolo Maria Congedo, Andrea Fazio, 2014).

No seu estudo, Atsushi Takano, Mark Hughes e Stefan Winter (2014), demonstram a influência que a escolha de materiais de construção exerce sobre o meio ambiente e sobre os parâmetros económicos no contexto finlandês. São analisados materiais de três categorias de componentes arquitetónicos: elementos estruturais, componentes interiores e componentes de fachada. Para esta análise são comparados alguns edifícios de referência. O estudo compara vários materiais, a fim de facilitar o processo de selecção multi-critério pelos profissionais. Os resultados mostram que o material escolhido para a construção dos elementos estruturais tem uma influência muito maior do que as outras duas categorias de elementos (Atsushi Takano, Mark Hughes, Stefan Winter, 2014).

Para avaliar o impacte que um material particular tem sobre o ambiente é necessário conhecer a sua história e segui-lo usando o método LCA (Life Cycle Assessment), que avalia a interação entre o ambiente e um produto considerando o seu ciclo de vida completo, desde a extração da matéria-prima até a deposição final do material para reutilização, reciclagem ou como resíduo (figura 1).

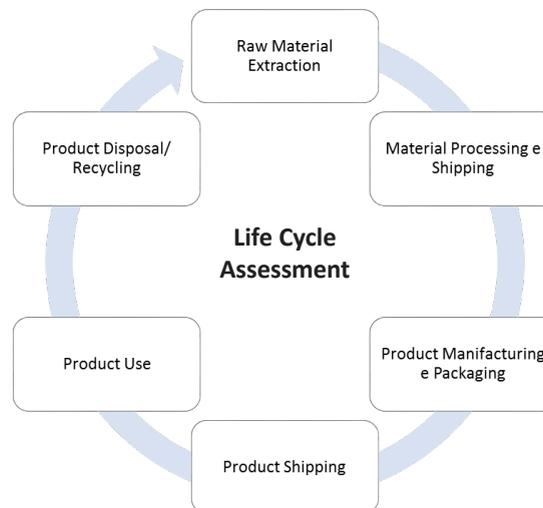


Figura 1 – Diagrama das fases do LCA.

R. Mateus et al. (2013) apresentam uma solução para desenvolver uma tecnologia de construção sustentável de paredes divisórias interiores. Com efeito, no estudo procede-se à comparação de duas tecnologias de construção de referência: paredes pesadas em tijolo furado e paredes leves com painéis de gesso cartonado. Esta comparação baseia-se numa análise de avaliação do ciclo de vida (LCA) e no método multi-critério de apoio à decisão. Neste estudo, são discutidas as vantagens na escolha de paredes interiores leves por oposição à escolha de paredes pesadas.

Muitos grupos de investigação têm trabalhado, ao longo dos anos, na investigação de novos métodos para a escolha de tecnologias com o intuito de otimizar os edifícios em termos de desempenho energético, controlo e impacte ambiental. Existem variadíssimos métodos, muitos deles bastante complexos, e até mesmo abrangendo outras áreas da ciência (Ricardo Mateus, Sara Neiva, Luis Bragança, Paulo Mendonça, Monica Macieira, 2013).

Yu e Huang Jian-lei Niu (2015) comparam e analisam vários estudos sobre a otimização dos edifícios. Nestes trabalhos são realizadas simulações de otimização de edifícios através de diversos algoritmos, através das quais é previsto e avaliado o desempenho de um edifício ainda em fase de projeto. Este trabalho pretende ser um compêndio com o qual se podem comparar as diferentes ferramentas que nos últimos 30 anos têm sido utilizadas para a otimização dos edifícios. Os algoritmos genéticos são, atualmente, aqueles que são considerados mais interessantes pelos investigadores, e, por sua vez, o instrumento mais utilizado para a otimização de edifícios é o Matlab (Yu Huang, Jian-lei Niu, 2015).

Ainda que estes métodos sejam um apoio valioso para os estudos de pesquisa e para as empresas, é importante não esquecer o facto de que os tempos de cálculo são muitas vezes demasiado longos para aplicação sistemática em contexto de projeto de arquitetura.

A.P. Ramallo-González e D. A. Coley (2014) explicam qual o potencial do uso de algoritmos de otimização de edifícios, os quais são geralmente utilizados por *softwares*. A finalidade é otimizar, de forma automática, os edifícios em fase de projeto, gerando assim várias propostas. São apresentadas as vantagens e, acima de tudo, os inconvenientes destes algoritmos em termos de tempo de processamento e precisão das propostas. Em seguida, o *software* propõe alterações que diminuem o tempo de trabalho e aumentam a precisão do processo de cálculo, conseguindo um resultado de igual qualidade (A.P. Ramallo-González, D.A. Coley, 2014).

2.2 - Métodos e modelos de análise de seleção

A fase de escolha de uma tecnologia construtiva deve sempre responder a uma única necessidade: identificar a solução construtiva que melhor se adapte às necessidades do projeto. Esta investigação, de facto, parte da necessidade de resolver um problema que está na base da arquitetura. Procura-se criar um ambiente controlado no qual o homem pode viver e desenvolver as suas atividades. Para obter este resultado, é necessário construir um invólucro que limita ao máximo possível a troca de energia entre o ambiente interior e o ambiente exterior. Consequentemente cada ambiente tem as suas próprias características e a escolha do sistema de construção adequado requer precauções especiais.

Como já foi mencionado anteriormente, os profissionais tendem a inventariar as tecnologias construtivas já testadas que se revelaram ótimas, e depois aplicá-las de forma recorrente nos projetos. Isto a fim de evitar a ocorrência de problemas durante a fase de construção do edifício ou, pior ainda, após a finalização da obra.

Esta seriação deve-se igualmente à movimentação de empresas de construção especializadas no tipo de material e processamento a ser implementado. O projetista deve especular, por conseguinte, qual é a empresa de construção mais idónea para executar o seu trabalho. A cada técnica de construção corresponde uma empresa diferente. Se o projetista usasse muitas técnicas de construção diferentes, então este ver-se-ia obrigado a procurar e escolher outras empresas competentes em técnicas de construção completamente diferentes (Arbizzani, 2011).

Normalmente, o processo de seleção não parte do zero. A escolha nasce geralmente de uma sugestão como, por exemplo, observando uma obra já construída e operacional. De entre a multiplicidade de exemplos consultáveis, o projetista identifica o sistema que melhor se pode adaptar ao seu projeto. É evidente que a experiência ajuda a entender, pelo menos a partir de uma pri-

meira impressão, se o sistema de construção é compatível com as exigências às quais o projeto deve atender, antes de passar para um exame mais detalhado. Embora o exemplo construtivo identificado possa satisfazer apenas parcialmente as necessidades do projecto, este poderá ser, ainda assim, um bom ponto de partida. No caso de sistemas de construção totalmente novos e nunca realizados, será precisamente a experiência do projetista a avaliar as potencialidades (Bryan, 2010).

Para uma seleção mais pormenorizada do sistema de construção em análise, é sempre necessário ter em conta os seguintes critérios:

- A durabilidade da solução de construtiva em relação à vida útil do edifício. As causas de degradação intrínseca ou extrínseca que podem ameaçar a integridade da estrutura ou os materiais isolantes. A presença de ações mecânicas, especialmente se prolongadas, podem comprometer significativamente a integridade estrutural dos elementos. Os materiais de baixa densidade são mais propensos a fraturas e à deterioração devido à sua fragilidade. A presença de humidade é uma das causas mais frequentes da degradação. Materiais porosos absorvem mais facilmente a humidade, o que acelera a degradação. Uma especial atenção dada aos acabamentos durante a construção e nos processos de manutenção ajudará a proteger esses elementos dos agentes exteriores;
- A análise dos custos da solução no que diz respeito ao transporte, montagem, manutenção, até à demolição e eliminação;
- O comportamento térmico, particularmente no que se refere as paredes exteriores, é um critério fundamental para a obtenção do conforto térmico no interior do edifício;
- A disponibilidade das empresas de construção;
- A disponibilidade dos materiais no mercado;

- A manutenção, ou seja, a necessidade e cuidado para a conservação do material, e a facilidade com que este, caso necessário, pode ser substituído;
- As preferências do cliente;
- O impacto ambiental dos componentes de construção durante todo o seu ciclo de vida. Este critério inclui outros fatores como: a flexibilidade entendida como o potencial de reutilização ou reciclagem e a distância de transporte prevista pelo material desde o lugar de extração ou produção para o lugar de montagem;

(Mateus & Bragança, 2006).

Atualmente muitos países adotam o princípio da eco-eficiência, motivados pelas normas internacionais e pelas mudanças climáticas que já ocorrem ao longo de décadas, índice de como o nosso planeta está realmente em mudança. O vasto campo da construção sustentável está em constante expansão e todos os dias nascem soluções construtivas inovadoras. No entanto, neste mercado há uma tendência, seguida por muitas empresas, para classificar os seus produtos como “sustentável” ou “green”, sem realmente apresentarem as características necessárias para fazer parte dessa categoria. Um dos principais problemas que podem ser encontrados durante a seleção do material ou produto eco-sustentável a ser incluído no projeto é determinar como e quanto este afeta o meio ambiente. Existem duas escolas de pensamento: a escola “ecológica” estabelece que reciclar materiais de construção é essencial e que a quantidade de energia utilizada para permitir a reutilização destes materiais pode passar para segundo plano; a escola de pensamento do LCA defende que, se a energia e as emissões que servem para a produção de um material são menores do que as utilizadas para a reciclagem, então é conveniente utilizar diretamente o material “virgem” (Kibert, 2009). A LCA fornece todas as informações relativas às emissões, energia incorporada e, em geral, ao impacto que um produto tem sobre o meio ambiente, tendo em conta o seu ciclo de vida.

2.3 - Modelo de análise multicritério

Qualquer campo científico de trabalho exige capacidade de escolha. Muitas vezes tomar uma decisão significa ser confrontado com uma enorme quantidade de variáveis, e nem sempre é sensato confiar no instinto e nas crenças de cada um para tomar uma posição. Cada tomada de decisão implica responsabilidade e consequências, e pode ter efeitos decisivos no contexto em que é tomada. No campo do marketing, por exemplo, decidir como desenhar o embalagem de um novo produto pode determinar o seu sucesso ou insucesso. O simples facto de escolher como apresentar ao público um novo produto representa só por si uma impressionante complexidade. Se considerarmos um telemóvel, por exemplo, existem inúmeras regras a respeitar sobre o design, ergonomia e desempenho, sem esquecer a importância que este produto tem em se adaptar às últimas tendências, em constante mutação.

Embora existam muitos caminhos possíveis para obter o resultado desejado, identificar quais os melhores é um processo longo e o risco de tomar o caminho errado é muito alto.

Desde a antiguidade que muitos estudiosos se dedicaram à formulação de métodos matemáticos para apoiar o processo de tomada de decisão e em certa medida tentar racionalizar a realidade, traduzindo assim, em termos matemáticos, todas as variáveis que compõem o problema.

Entre os diferentes métodos de procura da melhor solução para um determinado problema, certamente os métodos de decisão multi-critério estão entre aqueles que têm despertado maior interesse entre os investigadores.

O método multi-critério, ou MCDA (Multi-Criteria Decision Analysis), é uma área de pesquisa no campo da Decision Analysis (DA), que tem como objetivo desenvolver métodos para a facilitação da tomada de decisões em termos de escolha e classificação das várias opções ou alternativas, em presença de vários critérios, às vezes conflitantes (José Figueira, Salvatore Greco,

Matthias Ehrgott, 2005). Existem vários métodos para a análise multi-critério. Actualmente a MCDA é usada em vários campos de aplicação, tais como finanças, planeamento, telecomunicações, ecologia, agricultura, etc. “Em princípio a MCDA pode ser aplicada em todos os campos nos quais é possível aplicar diretamente um método de otimização, estando presentes varios critérios de decisão”¹ (Fei, Giovannoni, Mocenni, & Sparacino). Alguns dos métodos MCDA mais utilizados são os seguintes: Analytical Hierarchy Process (AHP), Multi-Attribute Global Inference of Quality (MAGIQ), Goal Programming, ELECTRE (Outranking), PROMETHÉE (Outranking), Data Envelopment Analysis, The Evidential Reasoning Approach, Dominance-based Rough Set Approach (DRSA), Aggregated Indices Randomization Method (AIRM) e MACBETH (Fei, Giovannoni, Mocenni, & Sparacino).

Se numa primeira abordagem há uma tendência para pensar que o campo da Decision Analysis se baseia somente na objetividade, verifica-se todavia que os métodos envolvidos estão também dependentes da subjetividade da opinião humana. Este tema é tratado e analisado por Bernard Roy (José Figueira, Salvatore Greco, Matthias Ehrgott, 2005) que defende ser impossível determinar qual é a melhor escolha com apenas um método matemático. Um processo de tomada de decisão é, de facto, muito influenciado por aspectos culturais e organizacionais, crenças e opiniões, por vezes contraditórias e indefinidas. Roy explica como o processo de analisar a decisão dá ao decisor a possibilidade de “eliminar dúvidas e questões, esclarecer posições, transformar as contradições e desestabilizar as certezas”. A linha de fronteira entre o que é possível e o que não é, muitas vezes é confusa. Durante o processo de decisão, esta fronteira move-se com base no que se descobre durante a própria análise. Tudo isto é tanto um limite como um ponto de força da DA. Estas ferramentas, embora muito potentes, são baseadas em operações algébricas complexas cuja aplicação também requer muito tempo. A escolha de se apoiar neste tipo de avaliação tem de ser considerada com cuidado, uma vez que a complexidade e o tempo

¹ Tradução do autor, frase original: “In linea di massima, l’MCDA viene utilizzata in tutti quei domini in cui è possibile applicare direttamente un metodo di ottimizzazione, essendo presenti numerosi criteri di decisione”

necessário para estes procedimentos pode tornar a escolha do processo de otimização inviável.

Para tirar proveito destas fórmulas de um modo mais simples e rápido, nas últimas décadas tem sido desenvolvida uma variedade de softwares que proporcionam ao utilizador a oportunidade de usar estas técnicas em novas áreas. O software que irá ser utilizado para este estudo é o M-MACBETH.

O uso do método de decisão multi-critério divide-se em etapas que são genericamente comuns a todos os métodos. A primeira etapa constitui a definição do problema, na qual o decisor e o avaliador definem os objetivos a alcançar, decidem o que precisa ser avaliado, o porquê e a metodologia da avaliação. Não é raro acontecer que nesta fase os objetivos da análise não estejam bem definidos, mas esta falta será colmatada com o prosseguir do estudo.

Assim que estiver estabelecido o problema é necessário identificar as alternativas que deverão ser comparadas para determinar qual corresponderá melhor às necessidades do projeto. As alternativas devem:

- excluir-se umas das outras;
- ser coerentes no tempo e no espaço;
- ser comparáveis.

Em seguida são definidos os critérios, ou atributos, qualitativos e quantitativos, relevantes para chegar a uma decisão. É muito importante que estes critérios sejam:

- exaustivos;
- coerentes;
- não redundantes.

(Maystre, L.Y.; Bollinger, D, 1999)

A fase de normalização serve para fornecer uma interpretação inequívoca dos indicadores traduzindo cada valor num índice normalizado de 0 a 1. Um dos problemas que é possível encontrar nesta fase consiste em definir o valor mais alto e o mais baixo da função, valores estes que variam ao longo do tempo de acordo com as necessidades.

A fase seguinte é a da agregação: é feita uma média dos indicadores normalizados de modo a obter-se um único indicador, ou classificação, para que se possam comparar as alternativas. Nesta fase, a média pode ser ponderada. Em tais casos, são atribuídos fatores de ponderação que mostram a importância relativa dos critérios na avaliação. Quanto maior o significado que damos a um critério, maior a importância que lhe atribuímos. Na tomada de decisão, e sobretudo nesta fase, existe uma componente objectiva, que representa o método matemático, e uma componente subjectiva, que se manifesta nas preferências do decisor. Este processo pode afetar crucialmente o resultado da análise.

A fase da análise de sensibilidade destina-se a observar como os resultados do estudo são influenciados com a variação dos fatores de ponderação atribuídos aos critérios. Esta ferramenta é bastante útil para o decisor no sentido de refinar o seu processo de escolha através da avaliação do comportamento da melhor opção depois de ajustes de detalhe na importância relativa atribuída a cada critério (os fatores de ponderação).

Obtidos os resultados da análise, dever-se-á de seguida interpretá-los com o objectivo de determinar a sua fiabilidade e pertinência no contexto do problema em questão.

2.3.1 – Historia da análise multicritério

Os primeiros a refletir sobre o tema da decisão foram grandes filósofos como Aristóteles, Platão e, subsequentemente, Tomás d’Aquino, segundo os quais é precisamente a capacidade de fazer uma escolha racional que distingue o homem dos animais. Íñigo López Loyola (1491-1556) e Benjamin Franklin (1706-1790) afirmaram que a decisão está intrinsecamente relacionada com uma pluralidade de pontos de vista, alguns a favor, outros contra. Estes pontos de vista já podiam ser equiparados com o conceito de “critério”.

Os primeiros métodos complexos a serem estudados surgiram no século XVIII após a Revolução Francesa. Não obstante a importância de alguns estudos anteriores, a origem do método multi-critério moderno, usado no início como sistema de votação, é muitas vezes atribuída a Jean-Charles de Borda (1733-1799) e Marie Jean Antoine Nicolas de Caritat (1743- 1794), o Marquês de Condorcet. Os seus métodos, que representam a base do MCDA, são usados até hoje no desporto na atribuição de sanções e para o cálculo das classificações, por exemplo no futebol e Fórmula 1.

Borda e Condorcet criaram dois métodos essencialmente distintos (embora existam algumas semelhanças), para determinar a escolha mais apropriada entre muitas alternativas. O método de Borda já foi utilizado na antiguidade, mas foi Borda quem o formalizou, em 1770. Cada eleitor constrói uma lista dos n candidatos por ordem de preferência. Ao primeiro é dada uma pontuação n , a o segundo $n-1$ e assim consecutivamente até ao último, que terá a pontuação 1. O candidato com a maior pontuação ganha.

O método de Condorcet é um método de votação do tipo “vencedor único”. O eleitor faz uma lista ordenando cada candidato com base nas suas preferências. O método de votação deve, no entanto, satisfazer o critério de Condorcet: o vencedor derrotaria sempre todos os outros

candidatos num confronto a dois. Desta forma, contudo, é possível ganhar um candidato que não tenha sido colocado como primeira escolha por qualquer eleitor: de facto, é seleccionado o melhor compromisso (José Figueira, Salvatore Greco, Matthias Ehrgott, 2005).

3 - DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA

3.1 - Modelo de análise M-MACBETH

Macbeth é um método que foi criado em 1990 por Carlos Bana e Costa e Jean-Claude Vansnick (Carlos A. Bana e Costa, Jean-Marie De Corte, Jean-Claude Vansnick, 2003), tendo por base um algoritmo específico. Através deste algoritmo foi desenvolvido, com a colaboração de Jean-Marie De Corte, o software de apoio à decisão M-MACBETH, o qual será utilizado neste estudo para a análise e a comparação de tecnologias de construção.

“MACBETH é uma abordagem de análise de decisão multi-critério que requer apenas julgamentos qualitativos sobre as diferenças de valor para ajudar um ou vários decisores a quantificar a atratividade relativa das opções”¹ (Carlos A. Bana e Costa, Jean-Marie De Corte, Jean-Claude Vansnick, 2003).

A diferença substancial entre o MACBETH e outros MCDA é que o primeiro utiliza apenas julgamentos qualitativos para definir a diferença de interesse, chamada “atratividade”, entre os elementos na avaliação dos diferentes níveis em cada critério e na diferença de atratividade entre os critérios. Esta é também a razão pela qual o método MACBETH foi escolhido para este estudo.

A fase de construção do modelo requer a definição dos critérios, dos níveis que os caracterizam e a inclusão de opções a avaliar. Os dados próprios das opções são inseridos de modo a definir os níveis de cada um dos critérios, que representam a escala de valores que servirão como pontos de referência para avaliar as opções.

¹ Tradução do autor, frase original: “MACBETH is a multicriteria decision analysis approach that requires only qualitative judgements about differences of value to help a decision maker, or a decision-advising group, quantify the relative attractiveness of options”.

MACBETH prevê duas fases de análise. Na primeira fase, é solicitado ao decisor um julgamento subjetivo, colocando em ordem de preferência os níveis de cada critério e, posteriormente, a avaliação da diferença de atratividade. Numa segunda fase, é solicitada ao decisor a definição da diferença de atratividade entre os vários critérios.

Estas avaliações são feitas através de uma comparação em pares, no qual é baseado o método. A tarefa do decisor será assim facilitada, tendo apenas de expressar a sua preferência entre dois elementos de cada vez. Para expressar a diferença de atratividade, o método MACBETH prevê sete categorias semânticas: diferença de atratividade nula, muito fraca, fraca, moderada, forte, muito forte, extrema. O método também permite julgamentos de desacordo ou hesitação entre duas ou mais categorias consecutivas, exceto a indiferença. Sempre que é expresso um julgamento qualitativo, o modelo MACBETH verifica que seja consistente com todos os julgamentos inseridos. Se é detectada uma inconsistência o software sugere a mudança necessária para dar coerência à atribuição do julgamento.

MACBETH identifica as pontuações próprias das opções e compara-as com a escala de valores de cada critério. Subsequentemente é dada uma pontuação de 1 a 100 através da avaliação dos valores das opções em cada critério, criando assim um ranking.

O modelo MACBETH, como outros modelos multi-critérios, prevê a atribuição de ponderações aos níveis em cada critério e aos diferentes critérios tidos em conta. A pontuação global mede a atratividade relativa entre os critérios. M-MACBETH indica a opção que melhor se adapta às necessidades do decisor, tendo em conta as preferências que este tenha explicitado.

Para ajudar a compreensão dos resultados é possível analisar os diagramas de sensibilidade e robustez. Através do diagrama de sensibilidade é possível analisar a variação dos resultados, no momento em que se altera o significado que é dado aos vários critérios. O diagrama de robustez ajuda o decisor a entender quanto os resultados propostos são robustos, tendo em conta as incertezas, as imprecisões ou a falta de informação. (C. A. Bana e Costa, 2012)

3.2 - Critérios utilizados

A análise das soluções construtivas baseou-se em dois tipos de critérios: o impacto ambiental e o desempenho funcional.

Hoje em dia é necessário ter noção de como os materiais que compõem um edifício podem afetar a qualidade do meio ambiente em que vivemos. Os dois parâmetros que permitem expressar este impacto de uma forma integrada e eficaz são o carbono incorporado e a energia incorporada. No entanto, dada a ligação entre estes dois valores, devida ao facto de que quanta mais energia é utilizada para a produção de um material maiores são as emissões de carbono (considerando que a energia utilizada ainda é essencialmente resultante de fontes fósseis não renováveis), decidiu-se neste estudo ter em conta, apenas o carbono incorporado. Comparando os dois parâmetros foi, de facto, verificado que os valores de carbono reflectem bastante fielmente a evolução dos valores de energia incorporada nos materiais.

- Carbono Incorporado superficial

O carbono incorporado superficial [kgCO_2/m^2], é definido como a quantidade de dióxido de carbono (CO_2) emitido durante a extração, o processamento, o transporte, a montagem, a desmontagem e o descarte do material.

$$EC_s = \sum_i (M_{si} \cdot EC_i)$$

em que,

EC_i : carbono equivalente incorporado por unidade de massa na camada i [$\text{kgCO}_2\text{e /kg}$];

M_s : massa superficial da camada i [kg/m^2], calculada com a equação:

$$M_s = e \cdot \rho$$

em que,

e = espessura [m];

ρ = densidade [kg/m^3].

Os critérios escolhidos para representar o desempenho funcional são a eficiência energética e a inércia térmica. Estes dois valores indicam quanto um sistema construtivo de fachada pode assegurar o conforto térmico no interior de um edifício minimizando a perda de energia e as mudanças excessivas de temperatura.

- Eficiência energética

Por eficiência energética entende-se transmissão térmica unidirecional em regime permanente [$\text{W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$] do sistema construtivo ou do material, ou seja, a sua propensão para transmitir o calor. Um valor muito alto deste coeficiente representa uma grande quantidade de calor transmitida. Por este motivo, a escolha do sistema construtivo é importante para assegurar que este valor fique baixo.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_i \frac{e_i}{\lambda_i} + R_{se}}$$

em que,

R_{si} : resistência térmica superficial interior [$\text{m}^2 \cdot \text{°C}/\text{W}$];

e_i : espessura da camada i [m];

λ_i : condutibilidade térmica da camada i [$\text{W}/\text{m} \cdot \text{°C}$];

R_{se} : resistência térmica superficial exterior [$\text{m}^2 \cdot \text{°C}/\text{W}$].

- Inércia térmica

O parâmetro que determina a inércia térmica é a massa térmica superficial útil [$\text{J}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$] e é a capacidade que um material possui para absorver o calor e libertá-lo depois de um certo período de tempo. Isso ajuda a atenuar as flutuações térmicas do ambiente interior do edifício durante o dia e a noite. Um material com um valor de massa térmica superficial útil muito elevado leva mais tempo para absorver o calor e, portanto, mais tempo para o libertar.

$$M_{tsu} = \frac{\left(R_{se} + \frac{R_1}{2} \right) \cdot M_{ts_1} + \sum_{i=2}^n \left[\left(R_{se} + \sum_{j=1}^{i-1} R_j + \frac{R_i}{2} \right) \cdot M_{ts_i} \right]}{R_T}$$

em que,

R_1 : resistência térmica da camada 1 [$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$], a última no exterior;

M_{ts_1} : massa térmica superficial da camada 1 [J/m².K];

R_j : resistência térmica da camada j [m².K/W], colocada entre a camada 1 e a camada i;

R_i : resistência térmica da camada i [m².K/W];

M_{ts_i} : massa térmica superficial da camada i [J/m².K];

R_T : resistência térmica total do elemento construtivo [m².°C/W].

3.3 - Apresentação das opções e da sua caracterização em cada critério

As opções analisadas neste trabalho são tomadas a partir de uma dissertação de mestrado anteriormente apresentada no ISCTE-IUL por Sofia Veludo (Veludo, 2015). O objetivo desta dissertação foi o desenvolvimento de uma metodologia que permita a comparação de diferentes sistemas construtivos pesados de fachada com o objectivo de realizar uma análise eficaz e rápida.

De uma lista inicial de 357 soluções construtivas, foram escolhidos para o desenvolvimento do trabalho que agora se apresenta 28 exemplos (Tabela 1) que, por outro lado, representam os tipos mais comuns de paredes pesadas em Portugal (Veludo, 2015) e, por outro, permitem uma base de comparação e análise mais abrangente. Por exemplo, embora não sejam comuns, foram consideradas soluções de paredes duplas com pano interior em tijolo maciço por permitirem analisar com mais detalhe o desempenho relativo à inércia térmica.

Os valores que representam as características físicas dos materiais foram obtidos a partir de textos e relatórios técnicos e científicos de referência: a publicação do Laboratório Nacional de Engenharia Civil “Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios” (Pina dos Santos, 2006), o livro de Javier Neila Gonzalez (Gonzalez, 2004) e o inventário de energia e carbono produzido na Universidade de Bath (Hammond, G., & Jones, C., 2008). Todas as fontes e dados acima referidos foram recolhidos da dissertação anteriormente mencionada (Veludo, 2015).

A investigação que agora se apresenta, partindo do processo de trabalho de Sofia Veludo, implementa um método de análise complexo e consolidado que permite uma avaliação significativamente mais detalhada e completa.

As opções agora analisadas podem ser distinguidas em paredes simples e paredes duplas.

PAREDES PESADAS	Nº	DESCRIÇÃO	VALORES REAIS			
			Funcional		Ambiental	
			U	m tsu	EEs	ECs
Simples (isol. Exterior)	64	Reb.+Agl.negro6+BA20	0,62	447	1173	113
Simples (isol. Exterior)	68	Reb.+Agl.negro6+BA30	0,6	660	1739	168
Simples (isol. Exterior)	75	Reb.+Agl.negro6+Tij.T19+Reb.	0,41	123	595	51
Simples (isol. Exterior)	85	Reb.+Agl.negro6+Tij.20+Reb.	0,49	113	515	45
Simples (isol. Exterior)	95	Reb.+Agl.negro6+Tij.T24+Reb.	0,39	142	697	59
Simples (isol. Exterior)	105	Reb.+Agl.negro6+Tij.T29+Reb.	0,34	163	826	70
Duplas (tijolo+tijolo)	116	Reb.+Tij.T14+Cx.ar5+Agl.negro6+Tij.11+Reb.	0,36	127	785	68
Duplas (tijolo+tijolo)	124	Reb.+Tij.T14+Cx.ar5+Agl.negro6+Tij.11m+Reb.	0,38	218	1123	95
Duplas (tijolo+tijolo)	132	Reb.+Tij.15+Cx.ar5+Agl.negro6+Tij.11+Reb.	0,42	118	760	66
Duplas (tijolo+tijolo)	140	Reb.+Tij.15+Cx.ar5+Agl.negro6+Tij.11m+Reb.	0,45	207	1098	93
Duplas (tijolo+tijolo)	152	Reb.+Tij.T19+Cx.ar5+Agl.negro6+Tij.11+Reb.	0,35	135	909	78
Duplas (tijolo+tijolo)	164	Reb.+Tij.T19+Cx.ar5+Agl.negro6+Tij.11m+Reb.	0,37	226	1247	105
Duplas (tijolo+tijolo)	176	Reb.+Tij.T19+Cx.ar5+Agl.negro6+Tij.T14+Reb.	0,29	150	1013	87
Duplas (tijolo+tijolo)	188	Reb.+Tij.T19+Cx.ar5+Agl.negro6+Tij.15+Reb.	0,33	152	988	85
Duplas (tijolo+tijolo)	200	Reb.+Tij.20+Cx.ar5+Agl.negro6+Tij.11+Reb.	0,4	124	829	72
Duplas (tijolo+tijolo)	212	Reb.+Tij.20+Cx.ar5+Agl.negro6+Tij.11m+Reb.	0,42	213	1167	99
Duplas (tijolo+tijolo)	224	Reb.+Tij.20+Cx.ar5+Agl.negro6+Tij.T14+Reb.	0,33	139	933	80
Duplas (tijolo+tijolo)	236	Reb.+Tij.20+Cx.ar5+Agl.negro6+Tij.15+Reb.	0,38	140	908	78
Duplas (tijolo+betão armado)	248	Reb.+Tij.T14+Cx.ar5+Agl.negro6+BA20	0,39	490	1591	149
Duplas (tijolo+betão armado)	260	Reb.+Tij.T14+Cx.ar5+Agl.negro6+BA30	0,38	715	2157	204
Duplas (tijolo+betão armado)	272	Reb.+Tij.15+Cx.ar5+Agl.negro6+BA20	0,46	476	1566	147
Duplas (tijolo+betão armado)	284	Reb.+Tij.15+Cx.ar5+Agl.negro6+BA30	0,45	697	2132	202
Duplas (betão armado+tijolo)	296	BA20+Cx.ar5+Agl.negro6+Tij.11+Reb.	0,48	126	1487	141
Duplas (betão armado+tijolo)	308	BA20+Cx.ar5+Agl.negro6+Tij.T14+Reb.	0,39	138	1591	149
Duplas (betão armado+tijolo)	320	BA20+Cx.ar5+Agl.negro6+Tij.15+Reb.	0,46	142	1566	147
Duplas (betão armado+tijolo)	332	BA30+Cx.ar5+Agl.negro6+Tij.11+Reb.	0,47	146	2053	196
Duplas (betão armado+tijolo)	345	BA30+Cx.ar5+Agl.negro6+Tij.T14+Reb.	0,38	154	2157	204
Duplas (betão armado+tijolo)	357	BA30+Cx.ar5+Agl.negro6+Tij.15+Reb.	0,45	160	2132	202

Tabela 1 – Lista das 28 opções selecionadas.

As paredes simples analisadas (Figura 2) são constituídas por um pano em betão armado (20-30 cm), em tijolo furado (20 cm), ou em tijolo térmico (19-24-29 cm). O material isolante, colocado na face exterior da parede, é composto por um aglomerado negro de cortiça com uma espessura de 6 cm. O reboco é utilizado como material de revestimento na parte exterior e interior da parede. O reboco é omitido na parte interior da parede apenas quando se pretende deixar o betão armado à vista.

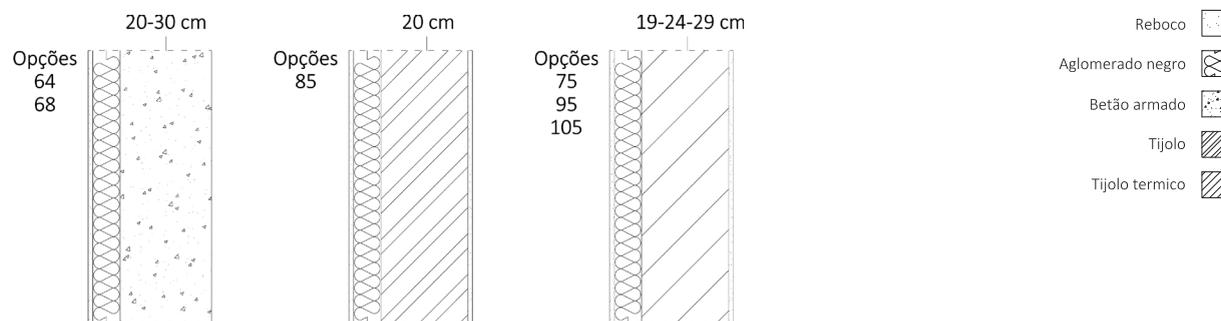


Figura 2 - Tipologias de paredes simples.

As paredes duplas (Figura 3) são compostas por dois panos de alvenaria ou por um pano de alvenaria e outro de betão armado. Foram criadas algumas variações, alternando os materiais que compõem as duas camadas de modo a permitir uma gama mais ampla de possibilidades. Os panos da parede podem ser compostos por tijolo furado, tijolo térmico, tijolo maciço ou betão armado.

Entre estas duas camadas deixa-se uma caixa de ar de 5 cm para reduzir a ocorrência de patologias associadas à presença de humidade no interior da parede. O isolante térmico é constituído por painéis de aglomerado negro de cortiça com uma espessura de 6 cm. Tal como no caso das

paredes simples, o reboco é usado como um material de revestimento, sendo excluído apenas na presença do betão armado.

As paredes duplas podem ser formadas por dois panos de alvenaria de tijolos. Neste caso, o pano è o mais espesso e pode ser composto por tijolos furados (15-20 cm) ou tijolos térmicos (14-19 cm). O pano interior pode ser composto por tijolos furados (11-15 cm), tijolos térmicos (14 cm) ou tijolos maciços (11 cm).

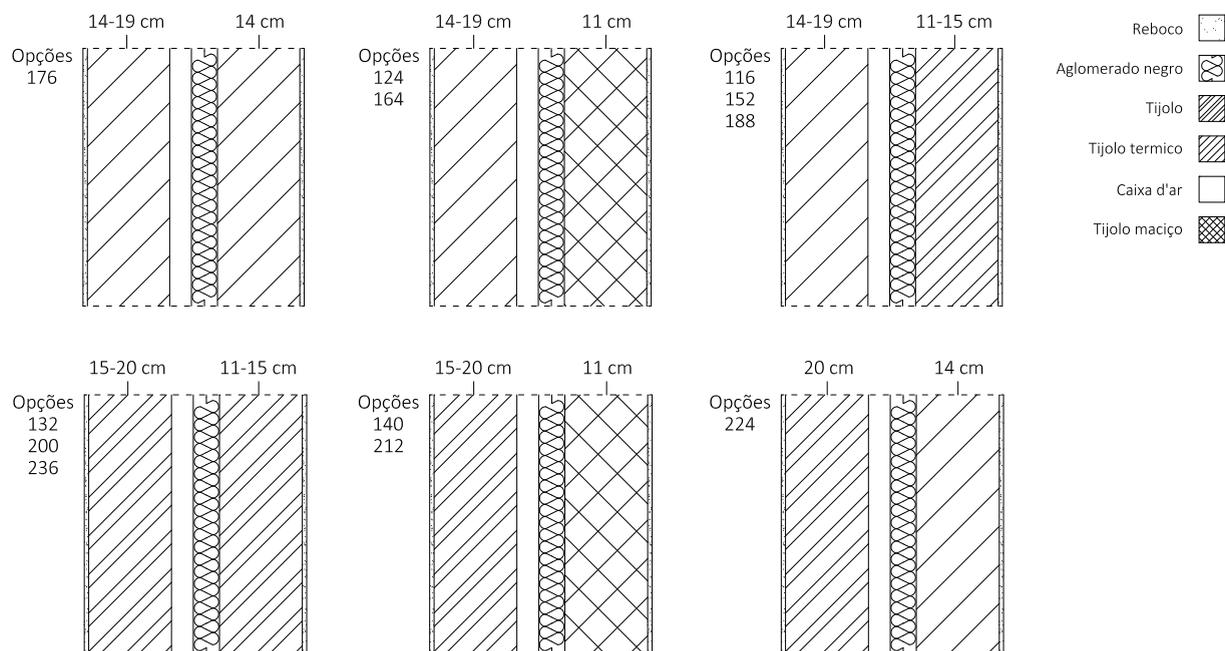


Figura 3 – Tipologias de paredes duplas tijolo-tijolo.

Nas paredes com alvenaria de tijolo e betão armado (Figura 4), este último pode ter a espessura de 20 ou 30 cm. Nos casos em que o tijolo é exterior, foram consideradas alvenarias com tijolos furados (15 cm) ou tijolos térmicos (14 cm); nos casos em que o tijolo é interior, incluíram-se tijolos furados (11-15 cm) e tijolos térmicos (14 cm).

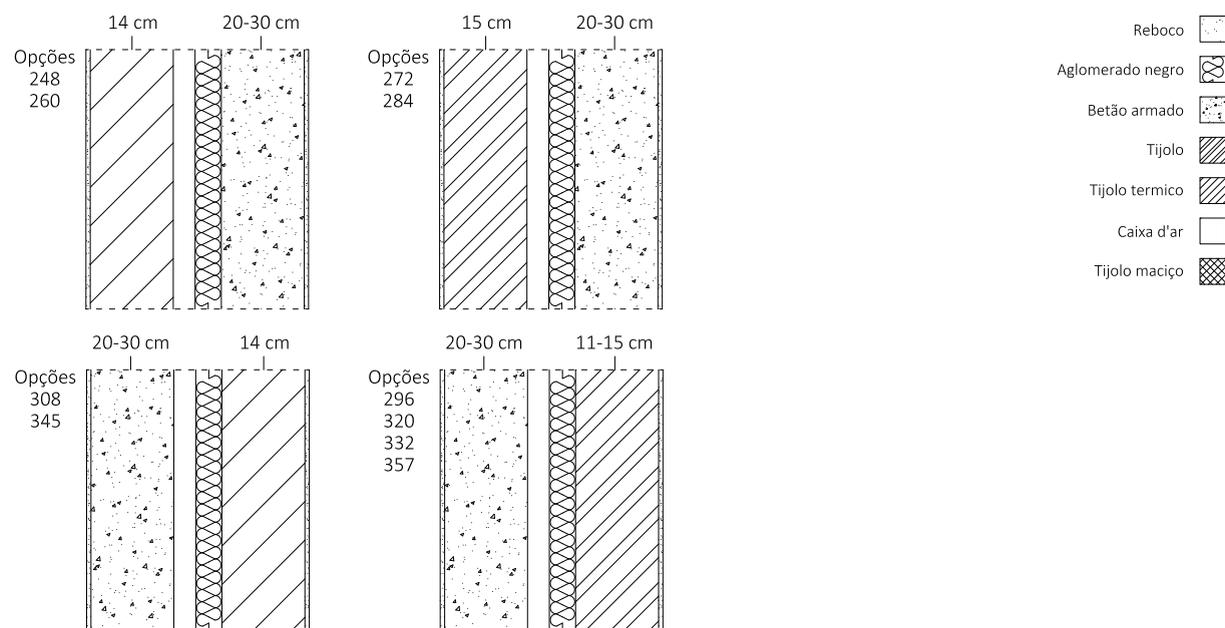


Figura 4 - Tipologias de paredes duplas tijolo-betão.

3.4 - Cenários-base de projeto

Para este estudo foram tidos em consideração 4 cenários de projeto (1.1, 1.2, 2.1, 2.2). Cada um destes cenários é um caso de projeto específico, com características diferentes resultantes do tipo de clima ou de um objetivo específico no que diz respeito ao impacto ambiental.

Os casos que são analisados representam edifícios residenciais inseridos em dois tipos de clima, um clima quente (1.1 e 1.2) e um clima frio (2.1 e 2.2), de maneira a representar casos em que o edifício deva ser sobretudo arrefecido e casos em que o edifício precise de ser sobretudo aquecido. Nos cenários 1.1 e 2.1 é dada igual importância aos três critérios de julgamento, enquanto é alterada a atratividade dos níveis que fazem parte dos vários critérios de acordo com as necessidades do cenário. Com base nas tipologias descritas acima foram concebidos os cenários 1.2 e 2.2, nos quais o decisor tem em forte consideração o uso de materiais ecológicos. Nestes casos, é dada muita mais atenção aos níveis de carbono incorporado dos sistemas construtivos em análise.

Os cenários 1.1 e 1.2 representam casos de projeto de edifícios residenciais sob a presença de um clima quente.

Neste caso, valores muito baixos do coeficiente de transmissão térmica não trazem benefícios importantes (no pressuposto de que os valores cumpram os requisitos regulamentares) e podem, em alguns casos, ser a causa do sobreaquecimento dos ambientes interiores. Pelo contrário, a inércia térmica é particularmente importante para alcançar o conforto térmico no ambiente interior, especialmente através da absorção da energia obtida através da radiação solar incidente e da renovação do ar interior. Isto permite, de facto, atrasar o momento de libertação da energia absorvida durante o dia para que, à noite, quando o ar está mais fresco, seja possível arrefecer o ambiente interior aproveitando de forma mais eficaz a ventilação natural.

Os cenários 2.1 e 2.2 representam casos de projeto de edifícios residenciais num clima frio. Nesses cenários, é importante certificar-se de que os valores de transferência do calor se mantenham baixos. Em relação à inércia térmica, não é dada muita atenção aos valores demasiado elevados de massa térmica superficial útil. Um valor muito elevado de inércia térmica não traz benefícios significativos. Aliás, este pode prejudicar a obtenção do conforto térmico na medida em que pode contribuir para um aumento do tempo necessário para o aquecimento do ar para temperaturas de conforto.

3.5 - Tradução dos cenários de projeto no modelo MACBETH

Nesta fase procede-se à construção dos cenários de projeto, colocando-os no *software* M-MACBETH. Os requisitos decorrentes do clima quente e do clima frio são traduzidos através da diferença de atratividade atribuída aos diferentes níveis dos critérios.

No cenário 1.1, relativo a um clima quente, é dada a mesma ponderação (33%) aos critérios de carbono incorporado, eficiência energética e inércia térmica. Os níveis de cada critério estão definidos de modo a representar medidas de julgamento adaptadas para este clima. Ao carbono incorporado são dados valores que variam entre um mínimo de $40 \text{ kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2$, valor que é definido como mais atrativo, e um máximo de $220 \text{ kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2$, ao qual é atribuída a menor atratividade.

Quanto à eficiência energética, os valores de transmissão de calor perto dos $0,40 \text{ W}/\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}$ são recompensados com uma pontuação mais elevada não sendo atribuída diferença de atratividade para valores abaixo de $0,40 \text{ W}/\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}$, pelas razões explicadas no sub-capítulo anterior. Aos valores mais elevados, até um máximo de $0,85 \text{ W}/\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}$, atribui-se uma diferença de atratividade

cada vez maior. Por outro lado, são favorecidos os valores mais elevados de inércia térmica iguais ou superiores a $800 \text{ J/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ tendo sido estabelecida uma diferença de atratividade e extrema (o maior nível da escala do modelo) para valores iguais ou menores a $50 \text{ J/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ (Figura 5).

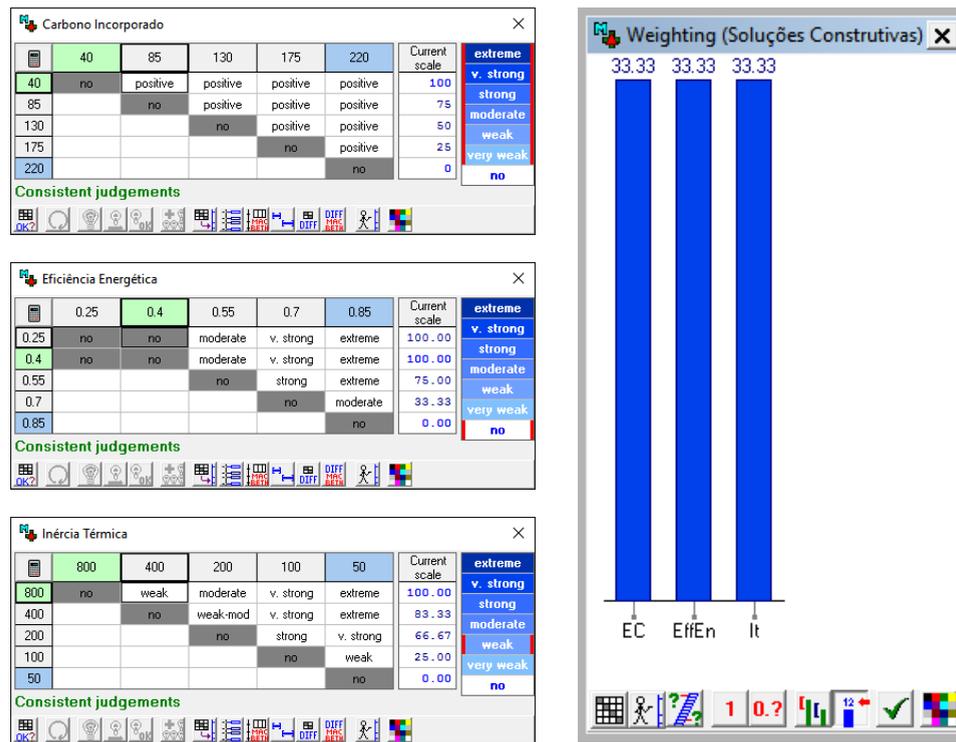


Figura 5 - Matriz de julgamento nos critérios e escala de ponderação do cenário 1.1.

No cenário 2.1, relativo a um clima frio, é atribuída, como no cenário anterior, igual importância (33,33%) para os três critérios propostos. No que diz respeito à diferença de atractividade entre os níveis do critério relativo ao ambiente (o carbono incorporado), são usadas as mesmas configurações do cenário 1.1. Quanto aos níveis dos outros critérios, o valor ótimo de transmissão térmica diminui para $0,25 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, tendo que permanecer muito baixo para conservar o calor no interior do edifício. Valores de massa superficial útil superiores a $200 \text{ J/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ não assumem uma importância maior, o que equivale a uma diferença de atratividade nula para todos os valores superiores (Figura 6).

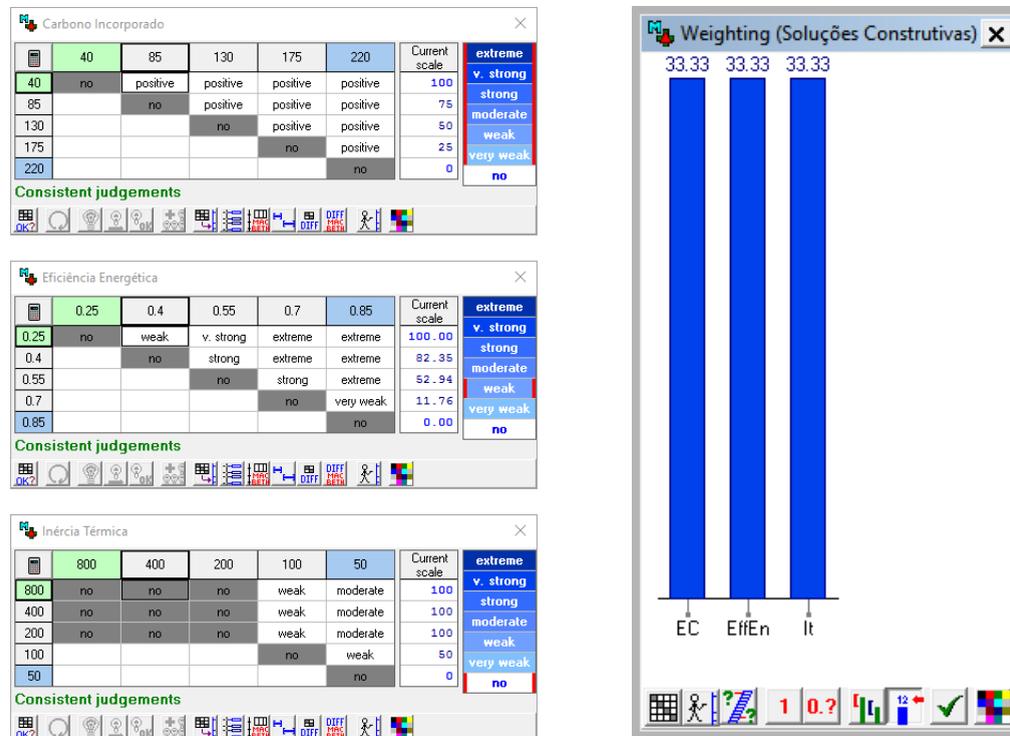


Figura 6 - Matriz de julgamento nos critérios e escala de ponderação do cenário 2.1.

Os cenários 1.2 e 2.2 dizem respeito aos projectos destinados a serem construídos nas áreas de clima respectivamente quente e frio, preferindo, no entanto, materiais com um baixo impacto ambiental. Nestes cenários, as configurações relativas à diferença de atratividade dos níveis que caracterizam os critérios mantiveram-se inalterados em comparação com os cenários 1.1 e 2.1. O cenário de maior preocupação com o impacto ambiental é traduzido nas ponderações atribuídas aos próprios critérios: carbono incorporado a 77,78%, eficiência energética a 11,11% e inércia térmica a 11,11%. Desta forma os sistemas construtivos com um reduzido valor de carbono incorporado são nitidamente favorecidos, enquanto que os valores dos outros critérios incidem apenas em pequena parte (Figura 7).

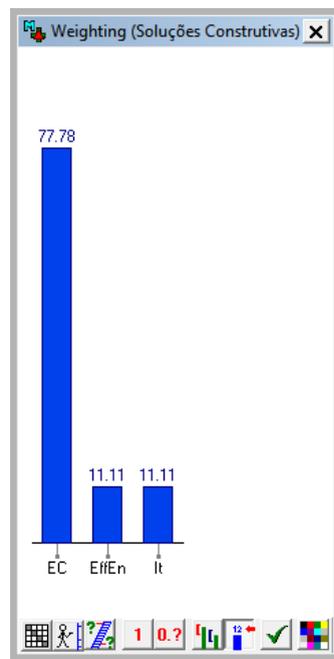


Figura 7 - Escala de ponderação dos cenários 1.2 e 2.2.

4 - RESULTADOS PRELIMINARES

Nesta fase serão apresentadas, analisadas e discutidas as primeiras soluções construtivas sugeridas pelo *software* M-MACBETH para cada cenário. Caso estejam presentes informações consideradas relevantes para os propósitos do estudo, a descrição dos resultados é acompanhada por um gráfico de análise de sensibilidade, para uma melhor compreensão dos mesmos. Em cada conjunto de resultados, são apresentados, para cada solução construtiva, os valores relativos a cada um dos critérios de análise e o valor ponderado final atribuído como resultado da aplicação do modelo de análise multi-critério (numa escala 0-100).

4.1 - Cenário 1.1

PAREDES PESADAS	Nº	DESCRIÇÃO	VALORES REAIS			PONTUAÇÃO
			Funcional		Ambiental	
			U	m tsu	Ecs	
Clima Quente 1.1						
Duplas (tijolo+tijolo)	124	Reb.+Tij.T14+Cx.ar5+Agl.negro6+Tij.11m+Reb.	0,38	218	95	79,20
Simples (isol. Exterior)	105	Reb.+Agl.negro6+Tij.T29+Reb.	0,34	163	70	78,20
Duplas (tijolo+tijolo)	164	Reb.+Tij.T19+Cx.ar5+Agl.negro6+Tij.11m+Reb.	0,37	226	105	77,57
Simples (isol. Exterior)	95	Reb.+Agl.negro6+Tij.T24+Reb.	0,39	142	59	77,32
Duplas (tijolo+tijolo)	212	Reb.+Tij.20+Cx.ar5+Agl.negro6+Tij.11m+Reb.	0,42	213	99	77,21
Simples (isol. Exterior)	75	Reb.+Agl.negro6+Tij.T19+Reb.	0,41	123	51	75,60
Duplas (tijolo+betão armado)	248	Reb.+Tij.T14+Cx.ar5+Agl.negro6+BA20	0,39	490	149	75,51

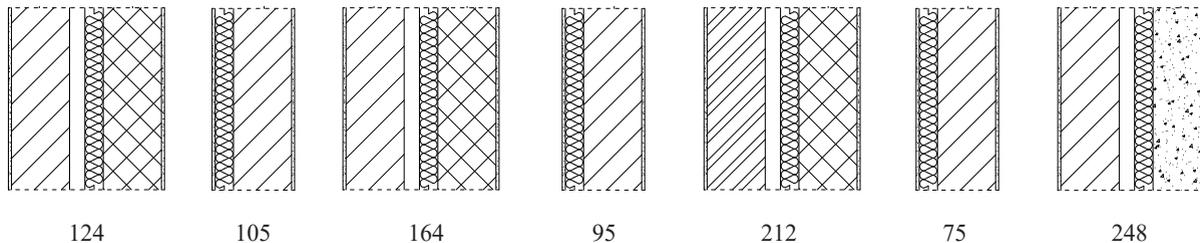


Tabela 2 - Lista das opções selecionadas do cenário 1.1.

Figura 8 - Representação gráfica das opções selecionadas do cenário 1.1.

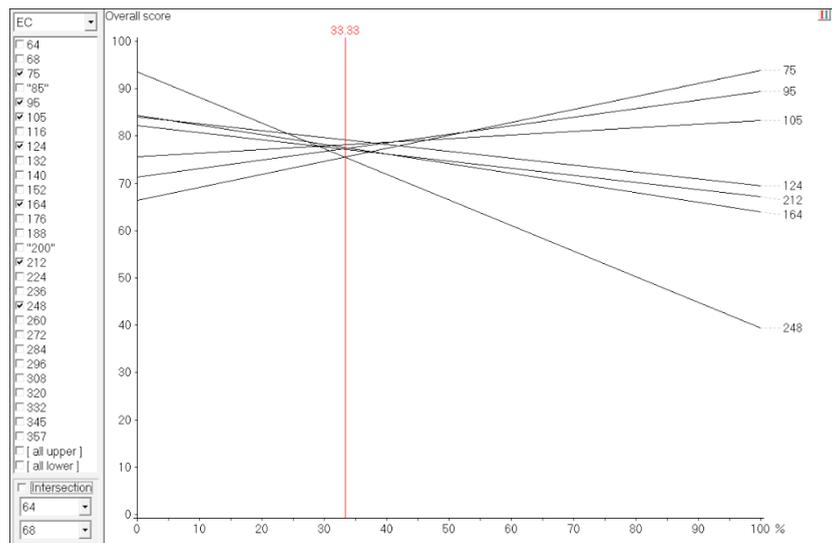
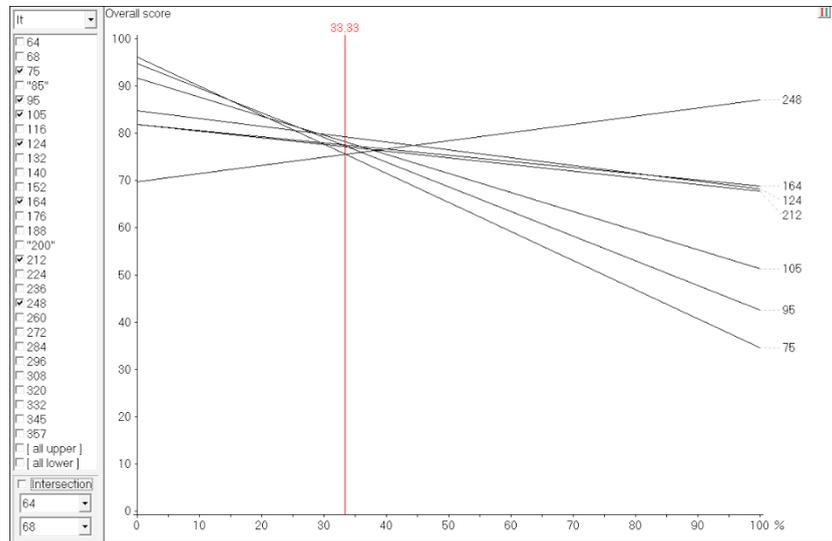
Neste cenário, as primeiras sete soluções construtivas propostas mostram um bom equilíbrio entre paredes simples e duplas (Tabela 2 e Figura 8). Em quase todas as opções o tijolo térmico contribui para uma maior inércia térmica. Nas paredes duplas a alvenaria composta por tijolo térmico é combinada com uma alvenaria de tijolo ou com um pano de betão armado que aumenta o valor da inércia térmica, valor importante em áreas com um clima quente. As paredes simples têm a vantagem de ser construídas com tijolos térmicos particularmente espessos. A ausência de uma segunda alvenaria de tijolos maciços causa uma redução relevante do valor

de massa térmica superficial útil que é, contudo, equilibrada por uma diminuição evidente de carbono incorporado.

Nas áreas com um clima quente é, portanto, possível optar por uma parede mais fina, favorecendo o impacto ambiental em relação ao funcional, ou escolher uma parede dupla para facilitar o controle de temperatura no interior do edifício. Todavia, paredes simples com tijolo térmico de elevada espessura parecem ser uma opção adequada. De facto, constituem um bom compromisso entre dois aspetos que, com estes resultados, se manifestam contraditórios: a necessidade de inércia térmica e o objetivo de um impacto ambiental reduzido.

Analisando em maior detalhe, para o critério inércia térmica, os resultados obtidos recorrendo a uma análise de sensibilidade, pode-se notar que com esta distribuição de ponderações dadas aos critérios existe uma “zona de confluência” na qual todas as linhas se intersectam, como se verifica na figura 9. No entanto, conferindo a este critério uma ponderação superior a 45% ou inferior a 25%, ocorrem consideráveis mudanças no ranking. O esquema relativo ao critério EC, representado na figura 10, é igual ao anteriormente descrito mas em sentido espelhado verticalmente. A razão para esta contraposição é que, em princípio, a produção de materiais com alta inércia térmica envolve a emissão de elevadas quantidades de gases com efeito de estufa.

Estes resultados confirmam a pertinência do cenário de projeto 1.2 (analisado de seguida) na medida em que a ponderação de 33% não permite conclusões consolidadas.



Figuras 9 e 10 - Análise de sensibilidade relativa aos critérios It e EC do cenário 1.1.

4.2 - Cenário 1.2

PAREDES PESADAS	Nº	DESCRIÇÃO	VALORES REAIS			PONTUAÇÃO
			Funcional		Ambiental	
			U	m tsu	Ecs	
Clima Quente 1.2						
Simple (isol. Exterior)	85	Reb.+Agl.negro6+Tij.20+Reb.	0,49	113	45	88,44
Simple (isol. Exterior)	75	Reb.+Agl.negro6+Tij.T19+Reb.	0,41	123	51	87,79
Simple (isol. Exterior)	95	Reb.+Agl.negro6+Tij.T24+Reb.	0,39	142	59	85,40
Simple (isol. Exterior)	105	Reb.+Agl.negro6+Tij.T29+Reb.	0,34	163	70	81,62
Duplas (tijolo+tijolo)	132	Reb.+Tij.15+Cx.ar5+Agl.negro6+Tij.11+Reb.	0,42	118	66	80,90
Duplas (tijolo+tijolo)	116	Reb.+Tij.T14+Cx.ar5+Agl.negro6+Tij.11+Reb.	0,36	127	68	80,82
Duplas (tijolo+tijolo)	200	Reb.+Tij.20+Cx.ar5+Agl.negro6+Tij.11+Reb.	0,40	124	72	78,95

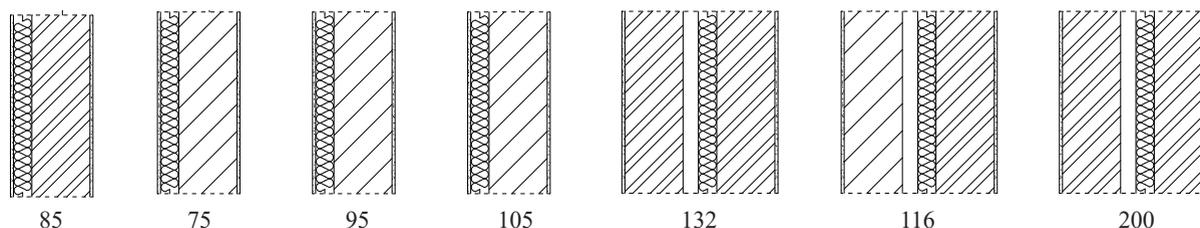


Tabela 3 - Lista e representação gráfica das opções selecionadas do cenário 1.2.

Figura 11 - Representação gráfica das opções selecionadas do cenário 1.2.

No primeiro dos dois cenários que favorecem o impacto ambiental são preferidas as paredes simples (Tabela 3 e Figura 11). Estas são compostas por cerca de metade do material de que são compostas as duplas e a utilização de menos material afecta as emissões de CO₂. As paredes duplas, nas posições mais baixas, entram no ranking graças à ausência do tijolo maciço e do betão armado, materiais cuja fabricação requer o uso de muita energia, apresentando portanto um maior índice de EC. Tendo atribuído ao critério EC uma ponderação muito elevada (77,78%) foram elevadas para as primeiras sete posições as opções com um índice de carbono incorpo-

rado muito baixo. Por outro lado, confirma-se, como boa solução de compromisso, uma parede simples com tijolo térmico com espessura de 24 cm.

4.3 - Cenário 2.1

PAREDES PESADAS	Nº	DESCRIÇÃO	VALORES REAIS			PONTUAÇÃO
			Funcional		Ambiental	
			U	m tsu	Ecs	
Clima Frio 2.1						
Simple (isol. Exterior)	105	Reb.+Agl.negro6+Tij.T29+Reb.	0,34	163	70	84,75
Duplas (tijolo+tijolo)	124	Reb.+Tij.T14+Cx.ar5+Agl.negro6+Tij.11m+Reb.	0,38	218	95	84,72
Duplas (tijolo+tijolo)	164	Reb.+Tij.T19+Cx.ar5+Agl.negro6+Tij.11m+Reb.	0,37	226	105	83,26
Duplas (tijolo+tijolo)	212	Reb.+Tij.20+Cx.ar5+Agl.negro6+Tij.11m+Reb.	0,42	213	99	81,88
Duplas (tijolo+tijolo)	176	Reb.+Tij.T19+Cx.ar5+Agl.negro6+Tij.T14+Reb.	0,29	150	87	81,39
Simple (isol. Exterior)	95	Reb.+Agl.negro6+Tij.T24+Reb.	0,39	142	59	81,32
Duplas (tijolo+tijolo)	188	Reb.+Tij.T19+Cx.ar5+Agl.negro6+Tij.15+Reb.	0,33	152	85	80,53

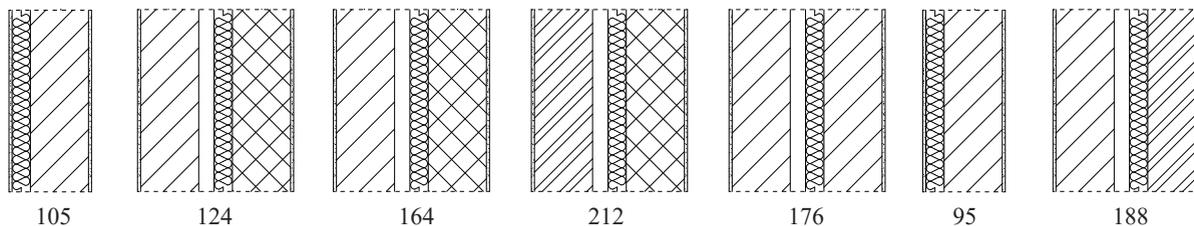
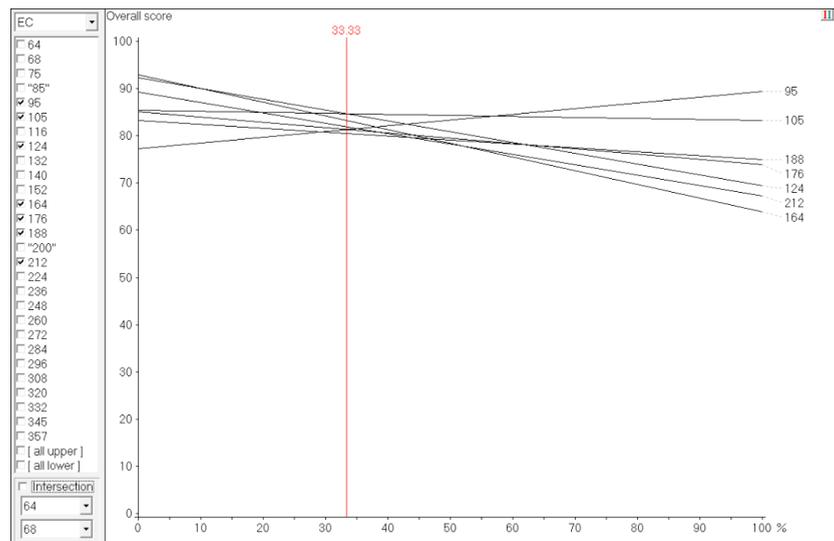
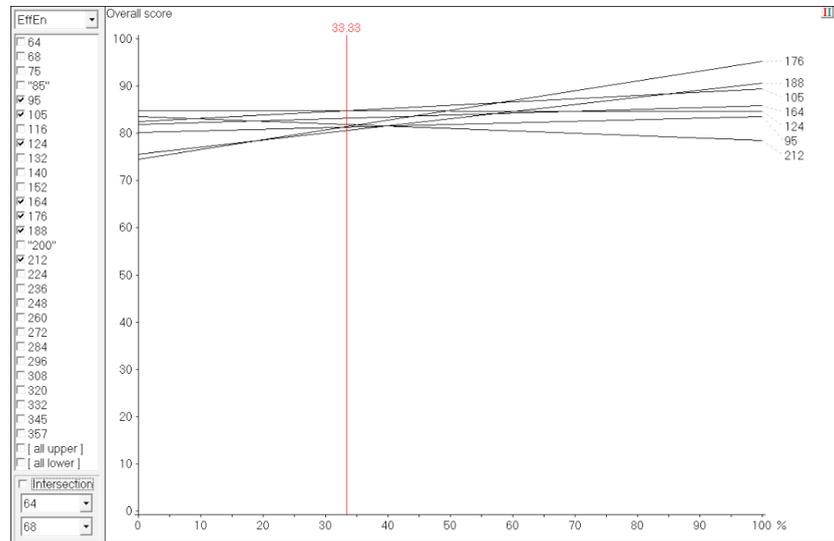


Tabela 4 - Lista e representação gráfica das opções selecionadas do cenário 2.1.

Figura 12 - Representação gráfica das opções selecionadas do cenário 2.1.

Neste cenário, na primeira e na sexta opção são sugeridas duas paredes simples (Tabela 4 e Figura 12). Esta escolha é suportada pelo facto de que estas paredes são compostas por tijolos térmicos com uma espessura muito elevada, para manter o coeficiente de transmissão muito

baixo em áreas com um clima frio. As outras opções propostas pertencem ao grupo das paredes duplas, sempre com, pelo menos, uma camada de tijolos térmicos, por vezes presentes seja no lado interior seja no lado exterior da parede, ou a presença de tijolo maciço na camada interior. O betão armado não aparece em nenhuma dessas opções, pelo facto de que uma inércia térmica elevada não foi valorizada neste cenário. Olhando para os gráficos de análise de sensibilidade colocando em evidência os critérios da eficiência energética e do carbono incorporado, figuras 13 e 14 respetivamente, é possível ver que a opção 105 constitui a melhor opção por ser a que parece assegurar um melhor equilíbrio entre os critérios em estudo. Esta conclusão coincide com os resultados obtidos para os cenários de climas quentes, i.e., paredes simples com tijolo térmico de espessura elevada. Querendo dar mais importância à eficiência energética nota-se a linha da opção 176 em forte crescimento e, dada a sua média no índice do carbono, pode ser uma alternativa viável ao sistema construtivo 105.



Figuras 13 e 14 - Análise de sensibilidade relativa aos critérios EffEn e EC do cenário 2.1.

4.4 - Cenário 2.2

PAREDES PESADAS	Nº	DESCRIÇÃO	VALORES REAIS			PONTUAÇÃO
			Funcional		Ambiental	
			U	m tsu	Ecs	
Clima Frio 2.2						
Simple (isol. Exterior)	85	Reb.+Agl.negro6+Tij.20+Reb.	0,49	113	45	89,09
Simple (isol. Exterior)	75	Reb.+Agl.negro6+Tij.T19+Reb.	0,41	123	51	88,79
Simple (isol. Exterior)	95	Reb.+Agl.negro6+Tij.T24+Reb.	0,39	142	59	86,74
Simple (isol. Exterior)	105	Reb.+Agl.negro6+Tij.T29+Reb.	0,34	163	70	83,80
Duplas (tijolo+tijolo)	116	Reb.+Tij.T14+Cx.ar5+Agl.negro6+Tij.11+Reb.	0,36	127	68	82,41
Duplas (tijolo+tijolo)	132	Reb.+Tij.15+Cx.ar5+Agl.negro6+Tij.11+Reb.	0,42	118	66	81,81
Duplas (tijolo+tijolo)	200	Reb.+Tij.20+Cx.ar5+Agl.negro6+Tij.11+Reb.	0,40	124	72	79,99

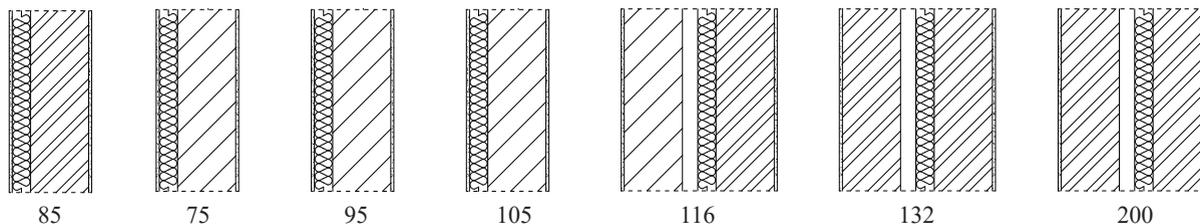


Tabela 5 - Lista e representação gráfica das opções selecionadas do cenário 2.2.

Figura 15 - Representação gráfica das opções selecionadas do cenário 2.2.

No âmbito deste cenário, note-se que os resultados obtidos são muito semelhantes ao cenário 1.2 (Tabela 5 e Figura 15). A única alteração que se verificou corresponde à opção 116 que supera a opção 132 possuindo um valor de inércia térmica mais elevado.

4.5 - Discussão de resultados

As opções propostas estão em consonância com as decisões tomadas durante a formulação dos modelos. Os materiais constituintes da parede que são mais enfatizados são o tijolo térmico e o tijolo maciço pelas suas propriedades de isolamento e de capacidade térmica que permitem manter o conforto ambiental.

Comparando os cenários, é possível notar que existem muitas opções em comum. Nos cenários 1.1 e 2.1 não existem diferenças significativas que possam ser atribuídas à diferença de clima por causa da mesma importância dada aos três critérios.

Nos cenários 1.2 e 2.2 as opções sugeridas apresentam já diferenças importantes em relação aos cenários anteriores. Além disso, neste caso, as primeiras sete opções são exactamente as mesmas, como também a sua ordem, com excepção das opções 132 e 116, que trocam a sua posição.

Esta igualdade deve-se ao facto de que na fase de ponderação dos critérios foi dada muita mais importância ao critério EC do que aos outros dois critérios, afetando os resultados de maneira muito incisiva a favor do impacto ambiental. Consequentemente nestes cenários não se manifesta a diferença entre o clima quente e o clima frio.

Numa análise global e sintética, parece haver uma tendência para que paredes simples em tijolo térmico de espessura elevada assumam preponderância na escolha na medida em que permitem o melhor equilíbrio entre os critérios analisados e no contexto das ponderações atribuídas.

Contudo a similitude de resultados, nos quais o tipo de clima não exerce uma influência significativa, aconselha um aprofundamento da investigação. Na próxima fase do estudo, são feitas algumas mudanças na estrutura dos quatro cenários de projeto dentro do M-MACBETH.

5 - RESULTADOS OBTIDOS COM O AJUSTE AOS CENÁRIOS DE PROJETO

5.1 - Novos cenários

As mudanças pensadas para os quatro cenários de projeto descritos no capítulo anterior foram concretizadas em quatro novos cenários (1.1.1, 1.2.1, 2.1.1 e 2.2.1). Todos os novos modelos foram reformulados tomando como base os anteriores.

Nos cenários 1.1.1 e 2.1.1, relativos, respectivamente, a um clima quente para um clima frio, foram alteradas as ponderações dos critérios. Enquanto nos dois modelos anteriores foi dada igual importância aos três critérios (33,33%), agora a importância que é dada a cada critério é caracterizante de cada cenário. No cenário 1.1.1 é dada a percentagem de 50% ao critério It, 33,33% ao critério EC e 16,67% ao critério EffEn. Em relação ao cenário 2.1.1 é dada a percentagem de 50% a critério EffEn, 33,33% ao critério EC e 16,67% ao critério It. Desta forma, cada critério não incidirá da mesma maneira durante a avaliação das opções.

Nos cenários 1.2.1 e 2.2.1, relativos, respectivamente, ao clima quente e ao clima frio, agora com maior importância atribuída ao impacto ambiental, a ponderação dada ao critério EC é reduzida para 50%, enquanto que aquela dada aos critérios EffEn e It é 25%. O valor da importância dada ao critério EC foi diminuído até atingir o limite que permite manter a diferença de atratividade qualitativa entre os critérios. Esta alteração tem o objetivo de reequilibrar a distribuição dos pesos entre os critérios para revelar o carácter funcional das opções a serem analisadas, sem, no entanto, deixar que um dos dois critérios, EffEn ou It, tenha precedência sobre o outro.

Nos seguintes sub-capítulos, são descritos os resultados obtidos com os novos cenários de projeto.

5.2 - Cenário 1.1.1

PAREDES PESADAS	Nº	DESCRIÇÃO	VALORES REAIS			PONTUAÇÃO
			Funcional		Ambiental	
			U	m tsu	Ecs	
Clima Quente 1.1.1						
Duplas (tijolo+tijolo)	124	Reb.+Tij.T14+Cx.ar5+Agl.negro6+Tij.11m+Reb.	0,38	218	95	73,90
Duplas (tijolo+betão armado)	248	Reb.+Tij.T14+Cx.ar5+Agl.negro6+BA20	0,39	490	149	73,36
Duplas (tijolo+tijolo)	212	Reb.+Tij.20+Cx.ar5+Agl.negro6+Tij.11m+Reb.	0,42	213	99	72,40
Duplas (tijolo+tijolo)	164	Reb.+Tij.T19+Cx.ar5+Agl.negro6+Tij.11m+Reb.	0,37	226	105	72,38
Duplas (tijolo+betão armado)	272	Reb.+Tij.15+Cx.ar5+Agl.negro6+BA20	0,46	476	147	71,77
Simples (isol. Exterior)	64	Reb.+Agl.negro6+BA20	0,62	447	113	71,72
Simples (isol. Exterior)	105	Reb.+Agl.negro6+Tij.T29+Reb.	0,34	163	70	70,07

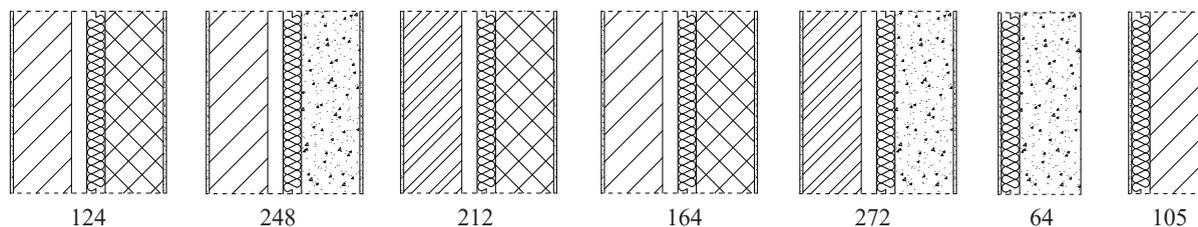


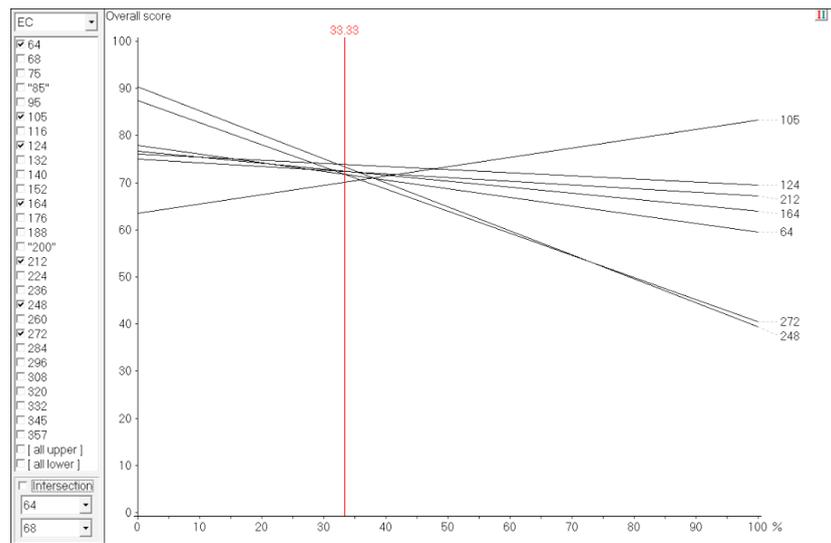
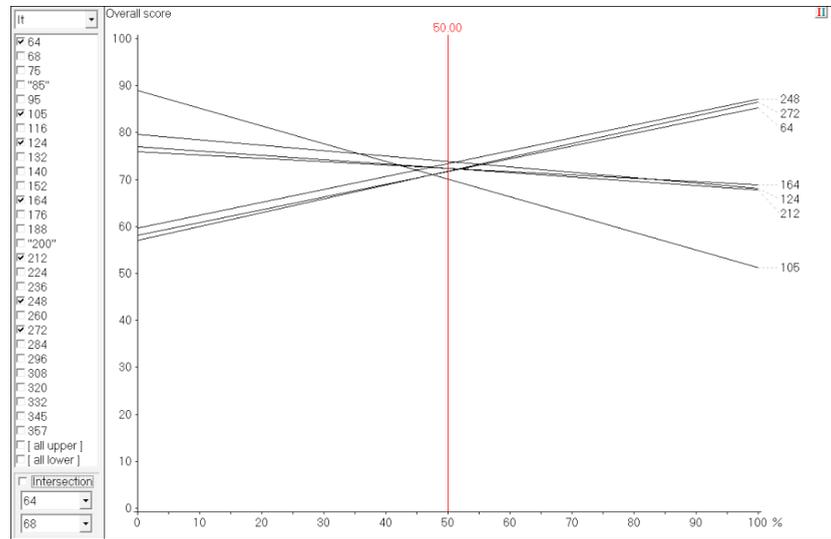
Tabela 6 - Lista e representação gráfica das opções selecionadas do cenário 1.1.1.

Figura 16 - Representação gráfica das opções selecionadas do cenário 1.1.1.

No cenário 1.1.1 as primeiras cinco opções fazem parte do grupo das paredes duplas (Tabela 6 e Figura 16). As combinações de materiais que formam as duas camadas de paredes são bastante heterogêneas. O tijolo maciço e o betão armado, colocados na camada interior, aumentam os

valores de inércia térmica. Na camada exterior estão presentes tijolos térmicos e tijolos furados. A opção 124 reconfirma-se a melhor proposta sugerida pelo modelo de análise.

Através da análise de sensibilidade pode-se ver, como no cenário 1.1, uma situação de incerteza. Neste caso, querendo dar mais importância à inércia térmica (70%), a opção 64 seria preferível devido ao facto de ter um índice de carbono incorporado médio (Figura 17). Por outro lado, se se optasse por dar mais importância ao critério EC, seria preferível a opção 105 por ter menos carbono incorporado (Figura 18). Neste cenário, pode claramente verificar-se a observação anterior de que existe uma contradição clara entre a necessidade de inércia térmica e o impacto ambiental das soluções construtivas. De facto, atribuindo agora maior importância ao critério inércia térmica, surgem como opções preferenciais soluções construtivas de parede dupla com panos interiores em tijolo maciço e em betão que, por outro lado, têm valores elevados de carbono incorporado.



Figuras 17 e 18 - Análise de sensibilidade relativa aos critérios It e EC do cenário 1.1.1.

5.3 - Cenário 1.2.1

PAREDES PESADAS	Nº	DESCRIÇÃO	VALORES REAIS			PONTUAÇÃO
			Funcional		Ambiental	
			U	m tsu	Ecs	
Clima Quente 1.2.1						
Simple (isol. Exterior)	95	Reb.+Agl.negro6+Tij.T24+Reb.	0,39	142	59	80,35
Simple (isol. Exterior)	75	Reb.+Agl.negro6+Tij.T19+Reb.	0,41	123	51	80,18
Simple (isol. Exterior)	105	Reb.+Agl.negro6+Tij.T29+Reb.	0,34	163	70	79,48
Simple (isol. Exterior)	85	Reb.+Agl.negro6+Tij.20+Reb.	0,49	113	45	77,47
Duplas (tijolo+tijolo)	124	Reb.+Tij.T14+Cx.ar5+Agl.negro6+Tij.11m+Reb.	0,38	218	95	76,76
Duplas (tijolo+tijolo)	116	Reb.+Tij.T14+Cx.ar5+Agl.negro6+Tij.11+Reb.	0,36	127	68	76,29
Duplas (tijolo+tijolo)	132	Reb.+Tij.15+Cx.ar5+Agl.negro6+Tij.11+Reb.	0,42	118	66	75,07

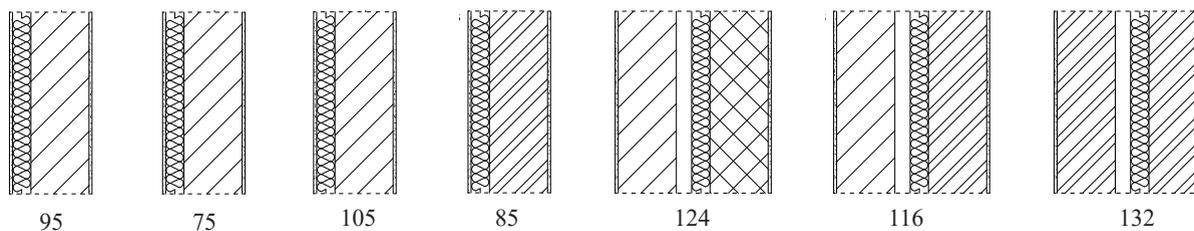


Tabela 7 - Lista e representação gráfica das opções selecionadas do cenário 1.2.1.

Figura 19 - Representação gráfica das opções selecionadas do cenário 1.2.1.

Ainda que com maior importância atribuída ao carbono incorporado, a redistribuição da ponderação dos vários critérios modificou ligeiramente os resultados no contexto do cenário 1.2.1. Como esperado, as paredes simples mantêm-se entre as primeiras posições, com um menor impacto ambiental (Tabela 7 e Figura 19). O equilíbrio da opção 95 é considerado o mais convincente, seguido da opção 75, de novo paredes simples em tijolo térmico de espessura elevada. Algumas mudanças ocorrem também entre as opções das paredes duplas. Neste caso, está pre-

sente uma opção de parede dupla com uma camada de tijolo maciço, justificada pela diferença de atratividade expressa entre os níveis do critério It.

5.4 - Cenário 2.1.1

PAREDES PESADAS	Nº	DESCRIÇÃO	VALORES REAIS			PONTUAÇÃO
			Funcional		Ambiental	
			U	m tsu	Ecs	
Clima Frio 2.1.1						
Simple (isol. Exterior)	105	Reb.+Agl.negro6+Tij.T29+Reb.	0,34	163	70	86,07
Duplas (tijolo+tijolo)	176	Reb.+Tij.T19+Cx.ar5+Agl.negro6+Tij.T14+Reb.	0,29	150	87	84,78
Simple (isol. Exterior)	95	Reb.+Agl.negro6+Tij.T24+Reb.	0,39	142	59	83,41
Duplas (tijolo+tijolo)	188	Reb.+Tij.T19+Cx.ar5+Agl.negro6+Tij.15+Reb.	0,33	152	85	82,96
Duplas (tijolo+tijolo)	224	Reb.+Tij.20+Cx.ar5+Agl.negro6+Tij.T14+Reb.	0,33	139	80	82,80
Duplas (tijolo+tijolo)	116	Reb.+Tij.T14+Cx.ar5+Agl.negro6+Tij.11+Reb.	0,36	127	68	82,26
Duplas (tijolo+tijolo)	124	Reb.+Tij.T14+Cx.ar5+Agl.negro6+Tij.11m+Reb.	0,38	218	95	82,17

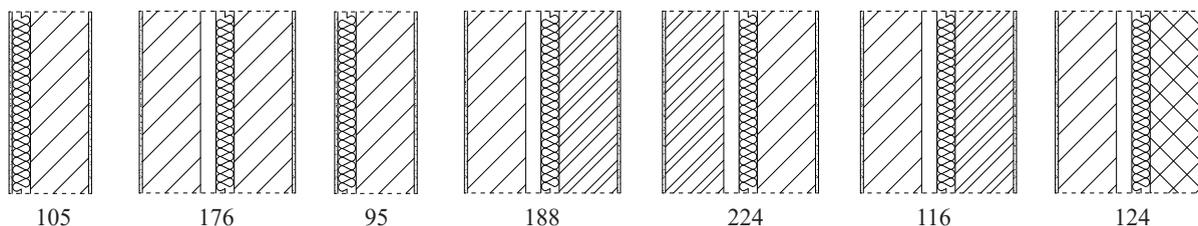


Tabela 8 - Lista e representação gráfica das opções selecionadas do cenário 2.1.1.

Figura 20 - Representação gráfica das opções selecionadas do cenário 2.1.1.

Uma mudança mais significativa ocorre, no entanto, no ranking do cenário 2.1.1 (Tabela 8 e Figura 20) em comparação com o cenário 2.1. A opção 105 reconfirma-se como a melhor escolha, seguida pela opção 176. As opções escolhidas têm um índice de It inferior. Preferem-se, de

facto, as soluções construtivas que permitem diminuir tanto quanto possível a transmissão de calor, razão pela qual existe uma preponderância clara de paredes duplas com tijolo térmico em pelo menos um dos panos. São quase totalmente abandonadas as opções com tijolo maciço que, anteriormente, tinham sido altamente valorizadas, o que parece resultar da forma como foi agora considerado o critério relativo ao impacte ambiental. Para todos os efeitos, permanece como boa opção a parede simples com tijolo térmico.

5.5 - Cenário 2.2.1

PAREDES PESADAS	Nº	DESCRIÇÃO	VALORES REAIS			PONTUAÇÃO
			Funcional		Ambiental	
			U	m tsu	Ecs	
Clima Frio 2.2.1						
Simple (isol. Exterior)	105	Reb.+Agl.negro6+Tij.T29+Reb.	0,34	163	70	84,39
Simple (isol. Exterior)	95	Reb.+Agl.negro6+Tij.T24+Reb.	0,39	142	59	83,36
Simple (isol. Exterior)	75	Reb.+Agl.negro6+Tij.T19+Reb.	0,41	123	51	82,42
Duplas (tijolo+tijolo)	124	Reb.+Tij.T14+Cx.ar5+Agl.negro6+Tij.11m+Reb.	0,38	218	95	80,89
Duplas (tijolo+tijolo)	116	Reb.+Tij.T14+Cx.ar5+Agl.negro6+Tij.11+Reb.	0,36	127	68	79,86
Duplas (tijolo+tijolo)	176	Reb.+Tij.T19+Cx.ar5+Agl.negro6+Tij.T14+Reb.	0,29	150	87	79,52
Duplas (tijolo+tijolo)	188	Reb.+Tij.T19+Cx.ar5+Agl.negro6+Tij.15+Reb.	0,33	152	85	79,15

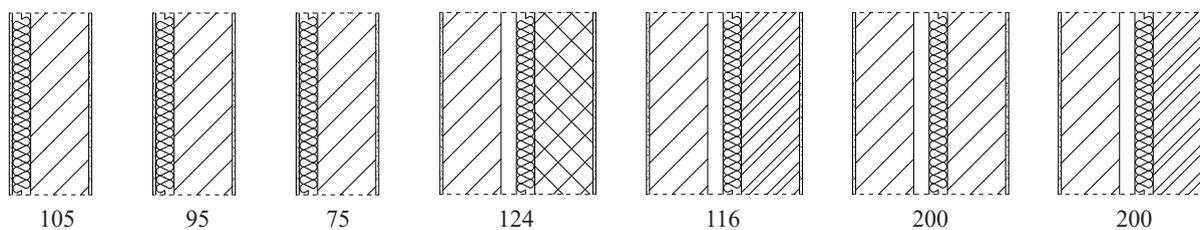


Tabela 9 - Lista e representação gráfica das opções selecionadas do cenário 2.2.1.

Figura 21 - Representação gráfica das opções selecionadas do cenário 2.2.1.

Neste modelo as opções sugeridas são aproximadamente as mesmas em relação ao cenário 1.2.1 (Tabela 9 e Figura 21). Mais uma vez, as paredes simples são avaliadas como a melhor escolha neste âmbito. Neste caso, as opções apresentadas obtêm as pontuações mais sólidas, graças aos baixos coeficientes de transmissão de calor.

5.6 - Discussão de resultados ajustados

Através dos ajustes efetuados torna-se possível obter resultados diferentes. Nos cenários 1.1.1 e 2.1.1, traduzindo as exigências em relação ao tipo de clima e reconsiderada a diferença de atratividade entre os critérios, é evidente que existem dois conjuntos de soluções construtivas, cada um associado ao respetivo tipo de clima. O cenário 1.1.1 apresenta soluções muito mais relevantes para as necessidades relacionadas com o clima. Da mesma forma, no cenário 2.1.1 são destacadas as soluções construtivas que impedem tanto quanto possível a transmissão de calor entre o ambiente interior e o ambiente exterior.

Mais uma vez, em modelos que valorizam o impacto ambiental é dada prioridade absoluta às paredes com um baixo índice de carbono incorporado, menosprezando os materiais com uma inércia térmica elevada. Em relação aos climas quentes existe, portanto, uma incompatibilidade forte, que torna impossível manter a massa térmica superficial útil suficientemente elevada utilizando um material de baixo impacto ambiental. Em climas frios não se verificam alterações particulares. Pode-se dizer, portanto, que mesmo reduzindo a importância atribuída ao critério EC, e apesar das alterações dadas para diferenciar os dois tipos de clima, os dois conjuntos de soluções construtivas sugeridas permanecem essencialmente os mesmos.

É necessário mencionar também que, se duas opções têm uma pontuação muito semelhante entre

si, o cliente poderá decidir se escolher a solução construtiva mais economicamente vantajosa. Em resumo, pode afirmar-se que a solução e parede simples de fachada em alvenaria de tijolo térmico com espessura de 24cm ou 29cm configura uma opção que parece assegurar um bom equilíbrio, quer para climas quentes, como para climas frios, entre os critérios considerados. No caso específico de climas quentes, em que seja muito importante garantir inércia térmica muito elevada, a melhor opção consiste numa parede dupla na qual o pano interior é constituído por tijolo maciço ou betão.

5.7 - Conclusões

Este estudo pretendeu encontrar uma metodologia de análise complexa e consolidada que permita avaliar as soluções construtivas de paredes de fachada pesadas de uma forma mais completa e detalhada. A possibilidade de comparar um grande número de soluções construtivas com o apoio de um software, tendo em conta os numerosos critérios de escolha, acelera significativamente o processo de pesquisa.

Este processo de pesquisa conduz, também, o projetista a obter um melhor conhecimento e, consequentemente, um melhor domínio das tecnologias a serem incluídas no projecto. Por outro lado, é necessário que este processo se realize com o acompanhamento de um técnico qualificado na utilização do software e na leitura e compreensão dos dados resultantes.

O objectivo final deste trabalho foi o de usar estes resultados para criar um apoio valioso para os profissionais na escolha do sistema construtivo que melhor atende às necessidades do projeto.

Para realizar este estudo, foram avaliados e comparados 28 exemplos de sistemas construtivos através do uso do *software* de apoio à decisão M-MACBETH. Estas opções foram avaliadas

incluindo-as nos cenários de cálculo formulados para representar casos reais de projeto relacionados com o clima e o programa funcional. Para a avaliação teve-se em conta o desempenho funcional e ambiental das opções.

Os resultados obtidos mostram que é possível obter uma avaliação pertinente das opções através da metodologia aplicada. Com a ajuda dos gráficos de análise de sensibilidade, é possível interpretar os resultados de forma mais clara e compreender quais são os aspectos que realmente afetam as decisões.

Optar por uma solução de fachada de parede simples, composta por tijolo térmico com uma espessura elevada (24 ou 29 centímetros) garante um bom equilíbrio entre desempenho funcional e impacto ambiental, tanto para climas quentes, como para climas frios. No que diz respeito, em particular, aos projectos incluídos num clima quente, a melhor opção sugerida é uma parede dupla com a camada interior constituída por betão ou tijolo maciço, o que resulta da necessidade de garantir uma inércia térmica elevada. Por outro lado, verifica-se ainda que esta opção é contraditória com o objetivo de minimizar o impacto ambiental. De facto, a inércia térmica é obtida através do aumento da massa superficial do elemento construtivo o que, por sua vez, implica maior quantidade de recursos utilizados e, deste modo, valores mais elevados de carbono incorporado.

Bibliografia

- A.P. Ramallo-González, D.A. Coley. (2014). Using self-adaptive optimization methods to perform sequential optimisation for low-energy building design. *Elsevier*, 18-29.
- Arbizzani, E. (2011). *Tecnica e tecnologia dei sistemi edilizi. Progetto e costruzione*. Maggioli Editore.
- Atsushi Takano, Mark Hughes, Stefan Winter. (2014). A multidisciplinary approach to sustainable building material selection: A case study in a Finnish context. *Elsevier*, 526-535.
- Bryan, T. (2010). *Construction Technology: Analysis and Choice*. Wiley-Blackwell.
- C. A. Bana e Costa, J. M.-C. (2012). MACBETH. *International Journal of Information Technology & Decision Making, Vol 11*, 359-387. doi:10.1142/S0219622012400068
- Carlos A. Bana e Costa, Jean-Marie De Corte, Jean-Claude Vansnick. (2003). MACBETH. *Working Paper*.
- Carlos A. Bana e Costa, Jean-Marie De Corte, Jean-Claude Vansnick. (2005). *M-MACBETH versão 2.4.0 - Guia do utilizador*.
- Castro-Lacouture Daniel, Sefair Jorge A., Florez Laura, Medaglia Andrés L. (2009, June). Optimization model for the selection of materials using a LEED-based green building rating system in Colombia. *Elsevier*, 1162-1170.
- Cristina Baglivo, Paolo Maria Congedo, Andrea Fazio. (2014). Multi-criteria optimization analysis of external walls according to ITACA protocol for zero energy buildings in the mediterranean climate. *Elsevier*, 467-480.
- F. Sandrolini, E. Franzoni. (2009). Embodied energy of building materials: a new parameter for sustainable architectural design. *International Journal of Heat and Technology*, 27, 163-167.
- Fei, M., Giovannoni, E., Mocenni, C., & Sparacino, E. (s.d.). *ahp-bsc_2008.pdf*. Tratto da www.dii.unisi.it: http://www.dii.unisi.it/~mocenni/ahp-bsc_2008.pdf

- Hahn, W. J. (2014). Making decisions with multiple criteria: a case in energy sustainability planning. 25.
- José Figueira, Salvatore Greco, Matthias Ehrgott. (2005). *Multiple criteria decision analysis. State of the Art Surveys*. (Springer, A cura di) Boston: Springer Science + Business Media, Inc.
- Kibert, C. J. (2009). *Sustainable Construction. Green Building Design and Delivery*. John Wiley & Sons, inc.
- Mateus, R., & Bragança, L. (2006). *Tecnologias Construtivas para a Sustentabilidade Da Construção*. Porto: Edições Ecopy.
- Maystre, L.Y.; Bollinger, D. (1999). *Aide à la négociation multicritère – Pratique et conseils*. Presses polytechniques et universitaires romandes.
- Protocollo Itaca per l'Edilizia Sostenibile*. (s.d.). Tratto il giorno 06 29, 2016 da Itaca: http://www.itaca.org/valutazione_sostenibilita.asp
- Ricardo Mateus, Sara Neiva, Luis Bragança, Paulo Mendonça, Monica Macieira. (2013). Sustainability assessment of an innovative lightweight building technology for partition walls - Comparison with conventional technologies. *Elsevier*, 147-159.
- Rosario, L. P. (s.d.).
- Veludo, S. (2015). Metodologia simplificada de cálculo de Avaliação de Ciclo de Vida de paredes exteriores convencionais com base no seu desempenho ambiental e funcional. *Dissertação final de mestrado integrado*.
- Yu Huang, Jian-lei Niu. (2015). Optimal building envelope design based on simulated performance: History, current status and new potentials. *Elsevier*, xxx-xxx.
- Yunming Shao, Philipp Geyer, Werner Lang. (2014). Integrating requirement analysis and multi-objective optimization for office building energy retrofit strategies. *Elsevier*, 13.

Parte II - VERTENTE PRÁTICA

Escola de Surf de Sines

Davide Trevisan - 68450

Trabalho Teórico submetido como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em
Arquitectura

Tutor:
Arquiteto Pedro da Luz Pinto

ISCTE – Instituto Universitário de Lisboa

ÍNDICE

1 - INTRODUÇÃO	80
2 - ANÁLISE DA CIDADE DE SINES	82
2.1 - Evolução urbana	82
2.2 - Topografia	86
2.3 - Sistema viário	87
2.4 - Verde público	88
2.5 - Estrutura ambiental	90
3 - PROPOSTA DE INTERVENÇÃO: HABITAR O PERCURSO	92
4 - PROJETO INDIVIDUAL	98
4.1 - Terreno de Intervenção	98
4.2 - Programa	99
4.3 - Memória descritiva	100
4.4 - Anexos	102

1 - INTRODUÇÃO

A cidade de Sines na primeira metade da década de 70 iniciou o seu processo de industrialização que com o passar do tempo levou a que a cidade então conhecida como vila piscatória fosse remetida para segundo plano, e surgisse assim desse modo a cidade industrial. E é sobre essa perspectiva que a cidade crescia, e se desenvolvia sobre esses novos paradigmas, o que levou a que a cidade perdesse o seu caráter de vivência permanente.

A industrialização trouxe para a cidade não só o progresso, como também afectou a qualidade de vida das pessoas e da cidade enquanto crescimento urbanístico. Porém a indústria não trouxe apenas aspectos negativos para a cidade, pois a mesma constitui a principal fonte de rendimento da população residente.

Com a expansão das indústrias sobre o território de Sines a morfologia da mesma ficou fortemente afectada, pois a sua expansão sobre a cidade criou barreiras e limites à mesma, fragmentando-a desse modo, impedindo as ligações da parte norte a parte sul da cidade. O que levou a que estas infra-estruturas desenhassem a paisagem urbana da cidade, com formas pouco convidativas e descontínuas, que quebram as regras de um bom funcionamento e do fluxo da cidade e dos seus habitantes.

Foram vários os factores que influenciaram a que Sines fosse uma cidade de poucos habitantes, e pouca afluência turística. A poluição da água do mar, e do ar, são um desses factores. Pois próximo à cidade existem instalações industriais de grandes dimensões, que criam riscos de poluição atmosférica a cidade. Já a nível do mar, a praia de Vasco da Gama, viu sobre o seu território, perder qualidade espacial, identidade piscatória, e zona balnear, e deixou de ser um ponto fulcral na vida da cidade, devido a construção do porto naquela zona costeira. Com a construção do porto, foi necessário a extração de pedra para criar os



Figura 1 - Central termoelectrica de Sines, vista aérea da central - 1985



Figura 2 - Pipeline que divide Sines.



Figura 3 - A praia Vasco de Gama antigamente.



Figura 4 - Porto de Sines

pontões, o que levou à origem da pedreira em Sines, pegada marcante no território.

Apesar de todos os aspectos que abonam contra Sines e seu território, é importante referir que o território de Sines apresenta importantes características biofísicas. Este território é objeto de estudos pela presença de numerosas espécies vegetais endémicas e pela riqueza da fauna. No território da costa portuguesa, encontra-se a norte de Sines a reserva natural das lagoas de Santo André e da Sancha, e a sul o Parque Natural do Sudoeste Alentejano e costa vicentina.

O concelho de Sines a nível da sua morfologia, divide-se em três grandes unidades: a planície, a escarpa oriental, e o relevo residual do maciço vulcânico de Sines. Porém é também de salientar e apontar a relevância que tem a sua costa arenosa norte, o cabo de Sines e a costa rochosa sul, parques protegidos e importantes para esta região.

Sobre todos esses pressupostos que fazem de Sines a cidade que é, nasce a nossa proposta de grupo que surge da necessidade de resolver uma falta de ligação, causada pela imposição da indústria sobre a cidade.

*Figura 5 - Pedreira de Sines
(João Plácido).*



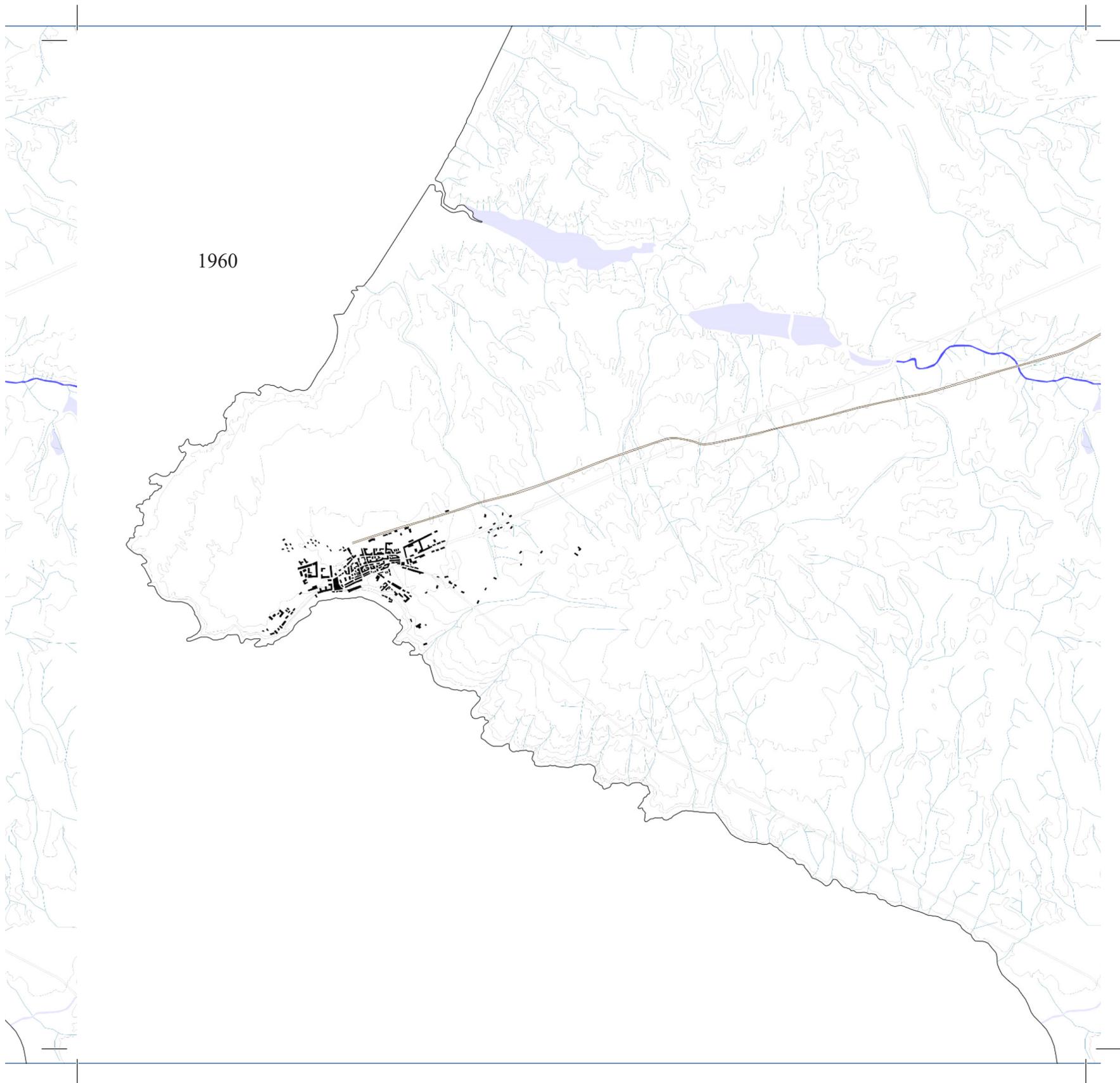
2 - ANÁLISE DA CIDADE DE SINES

2.1 - Evolução urbana

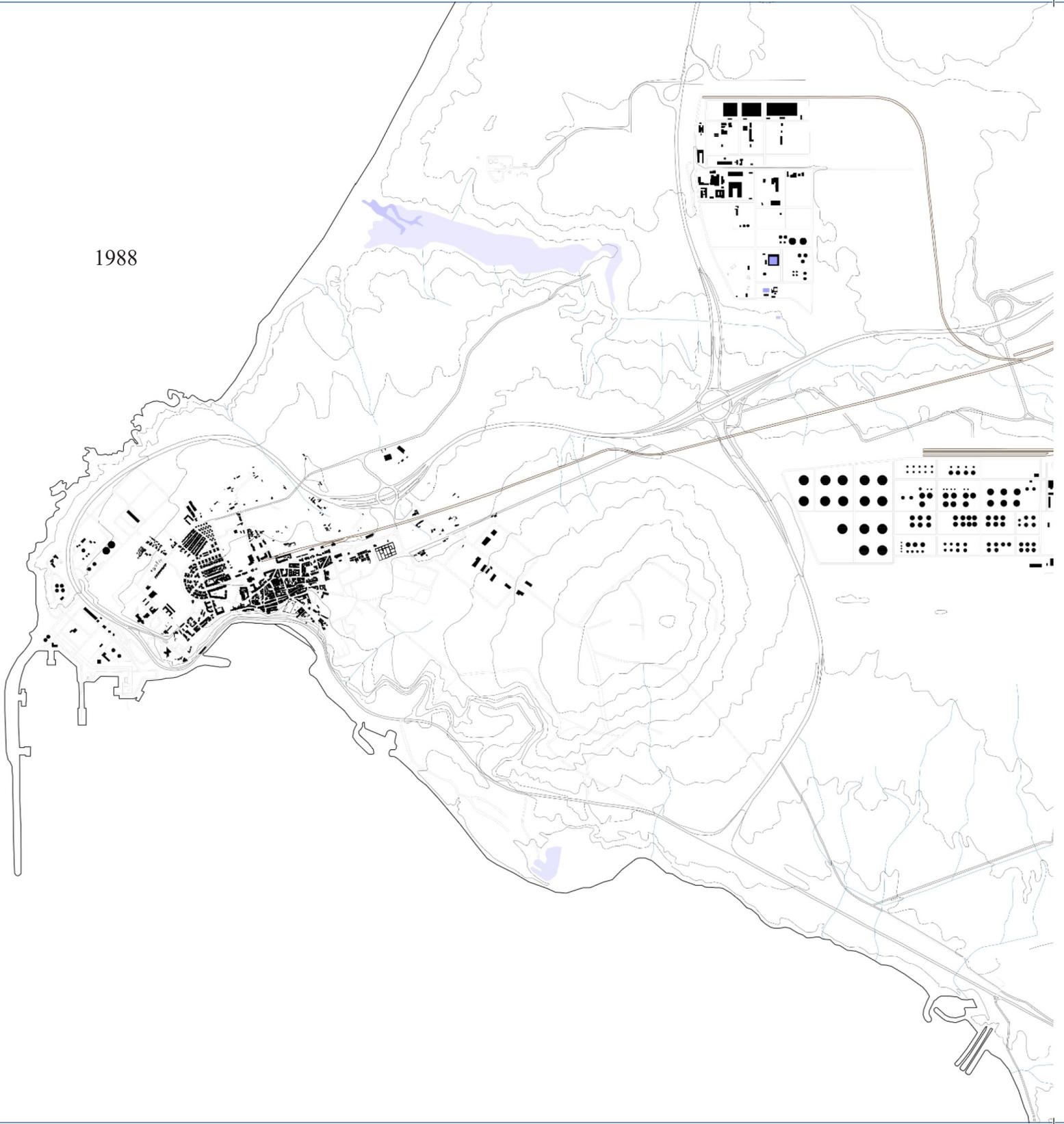
1790



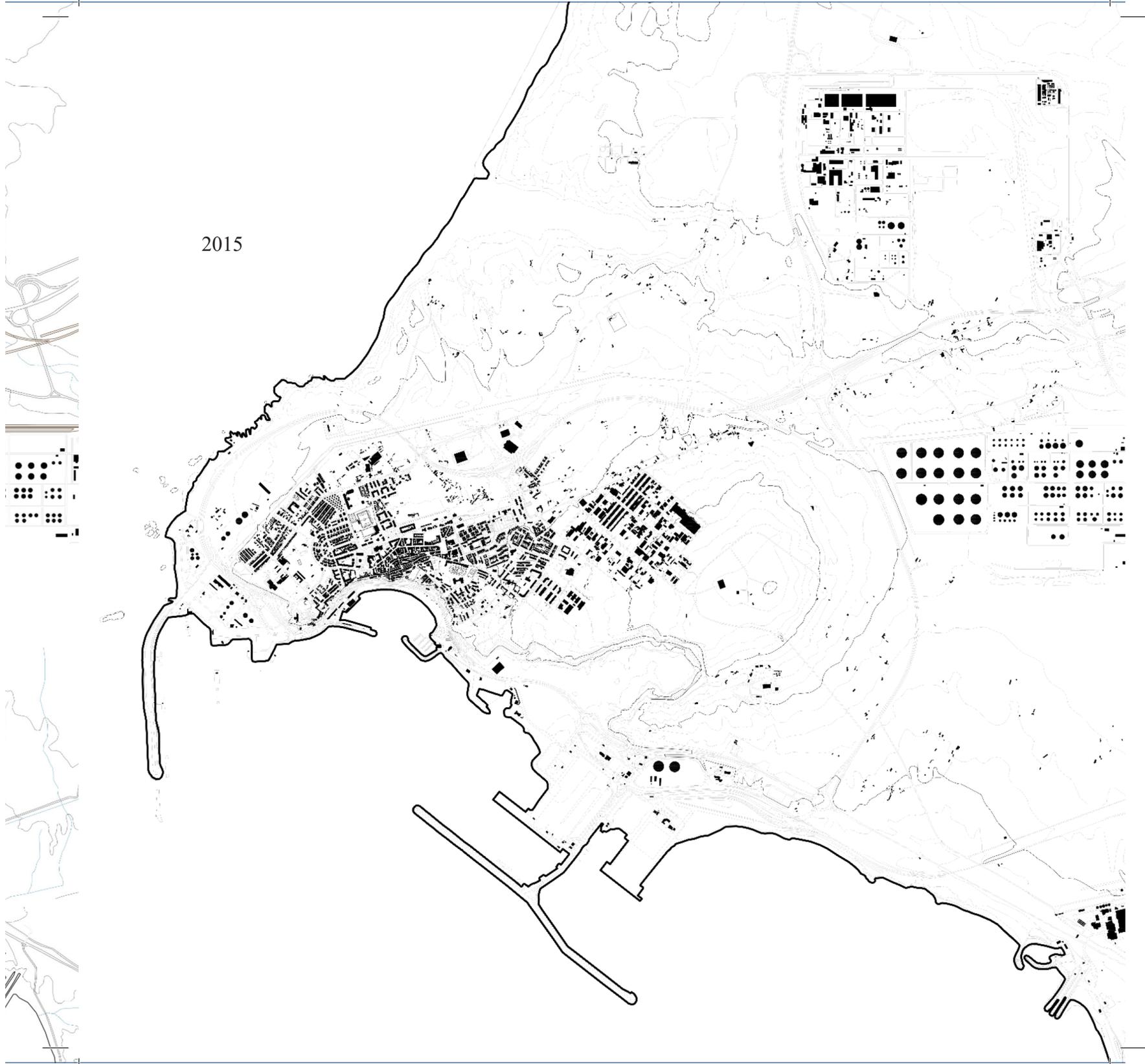
1960



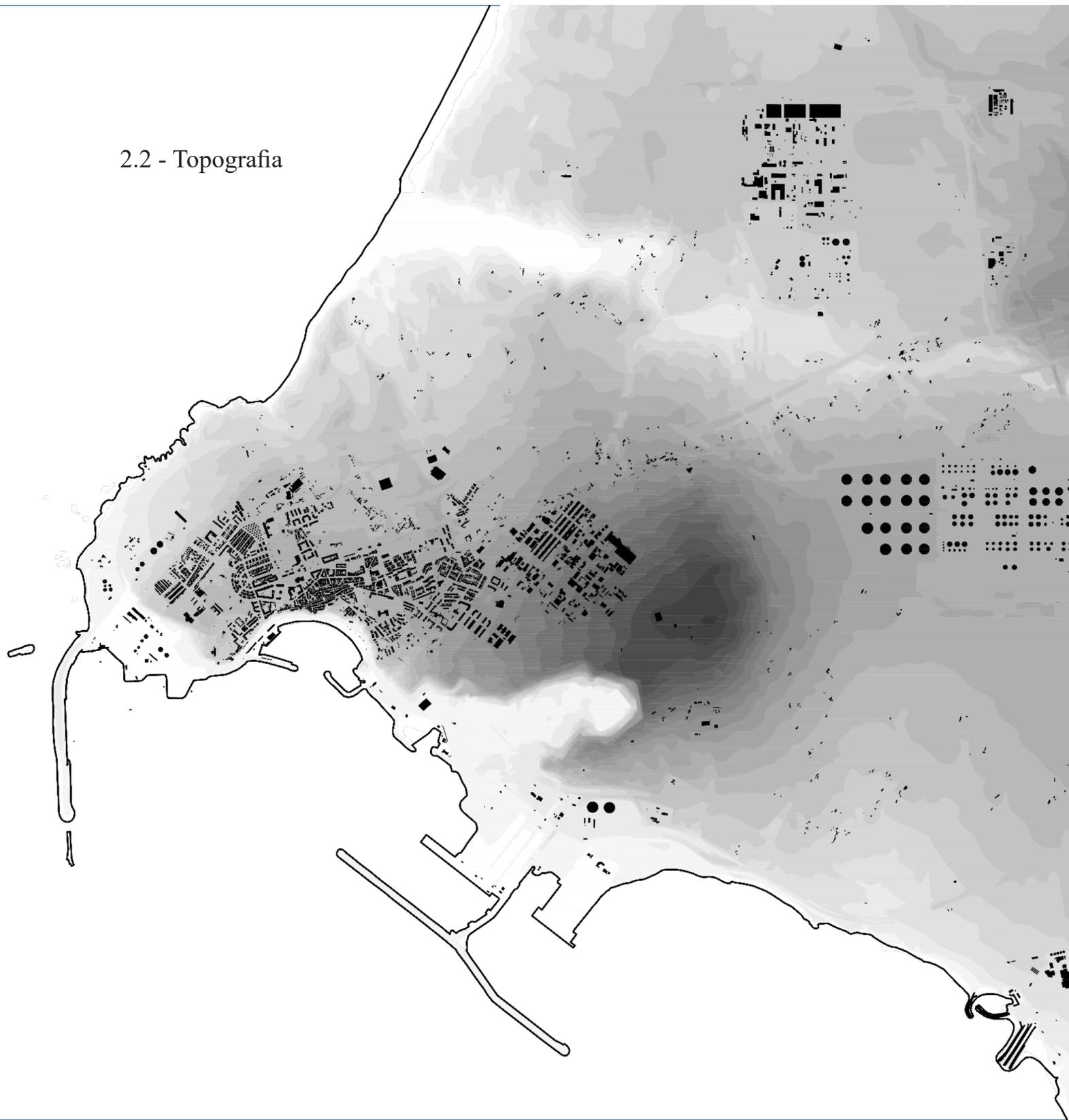
1988



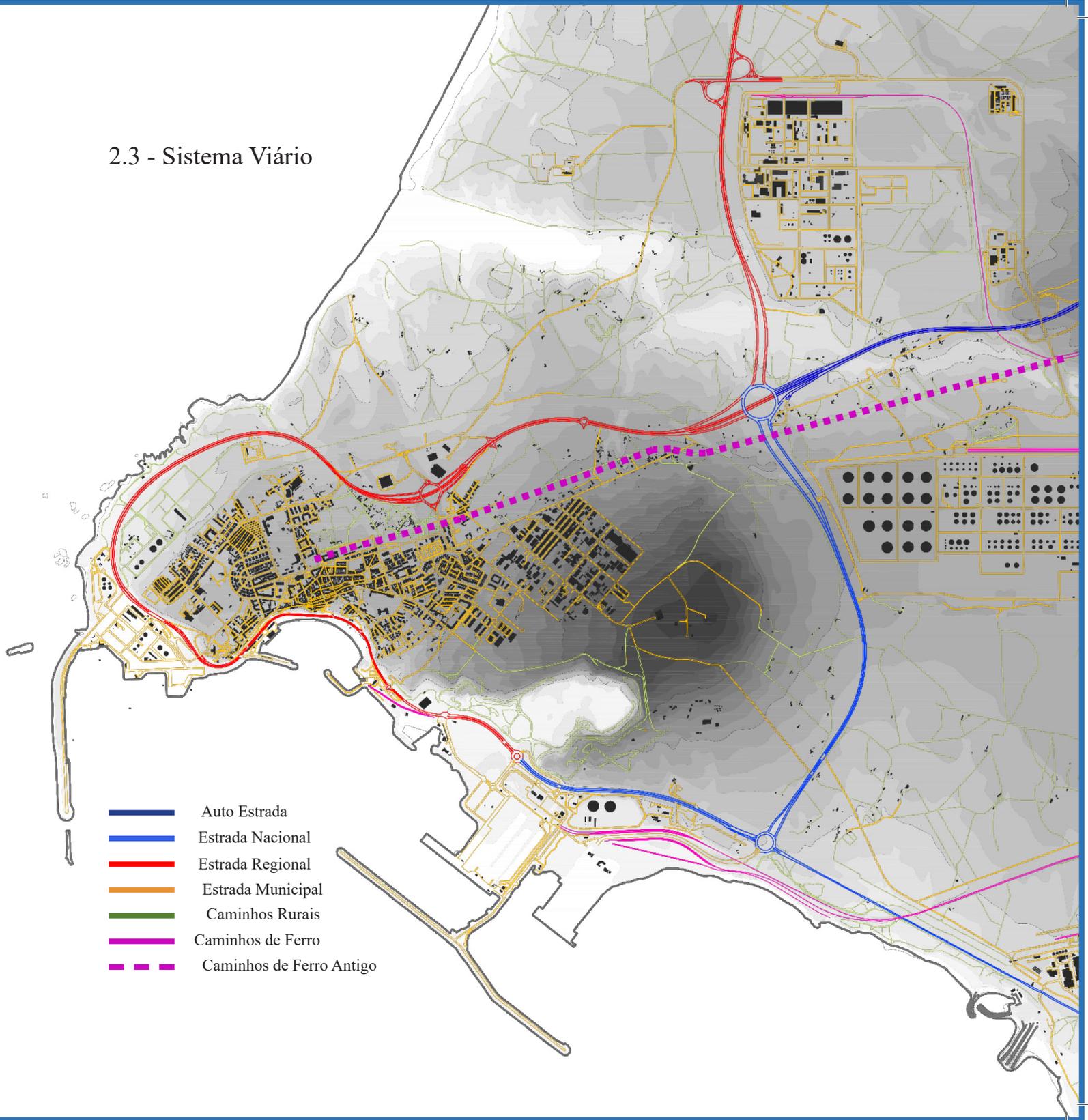
2015



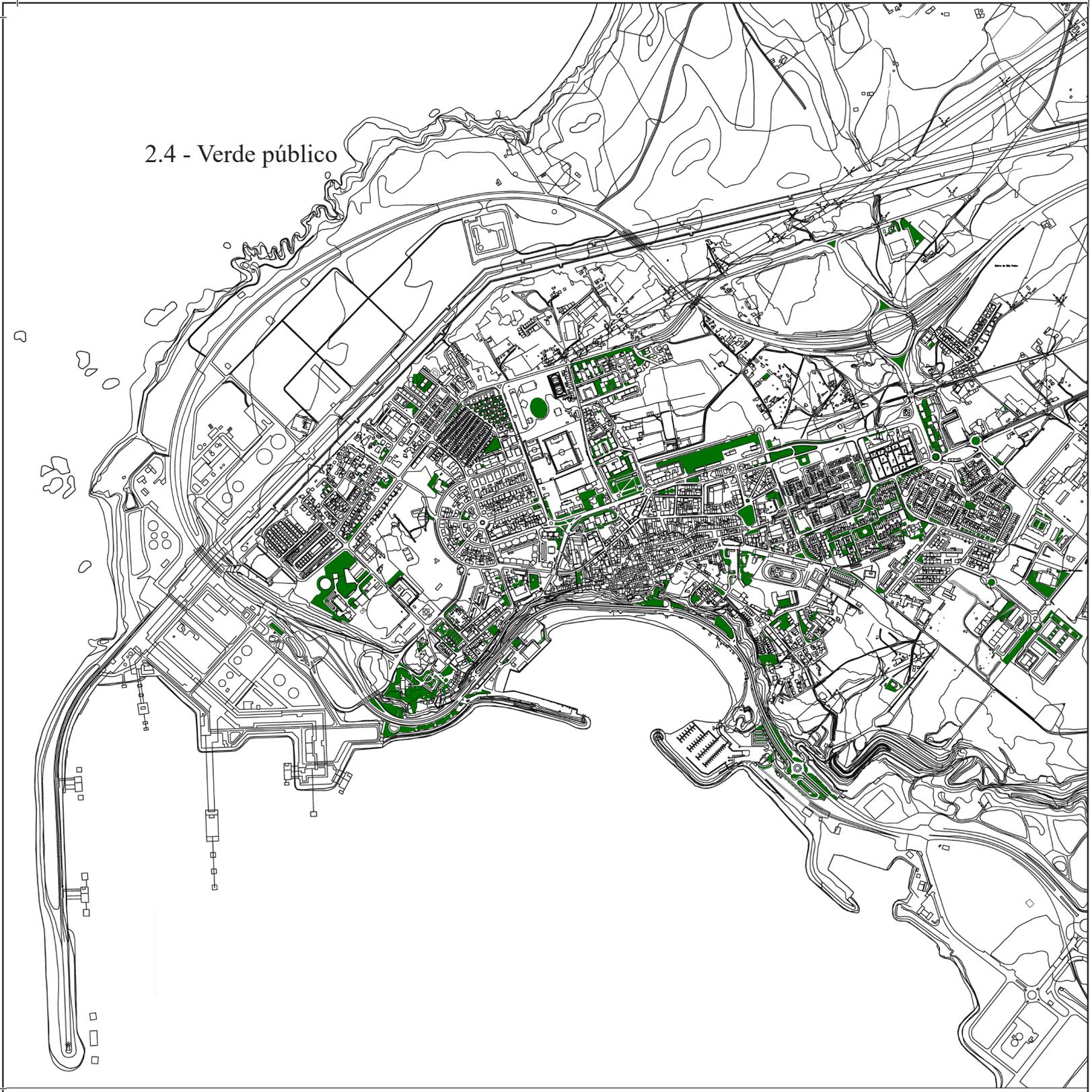
2.2 - Topografia



2.3 - Sistema Viário



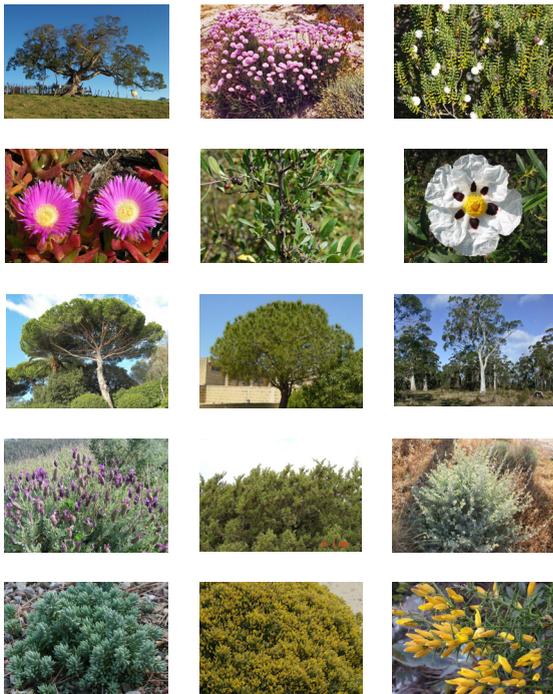
2.4 - Verde público



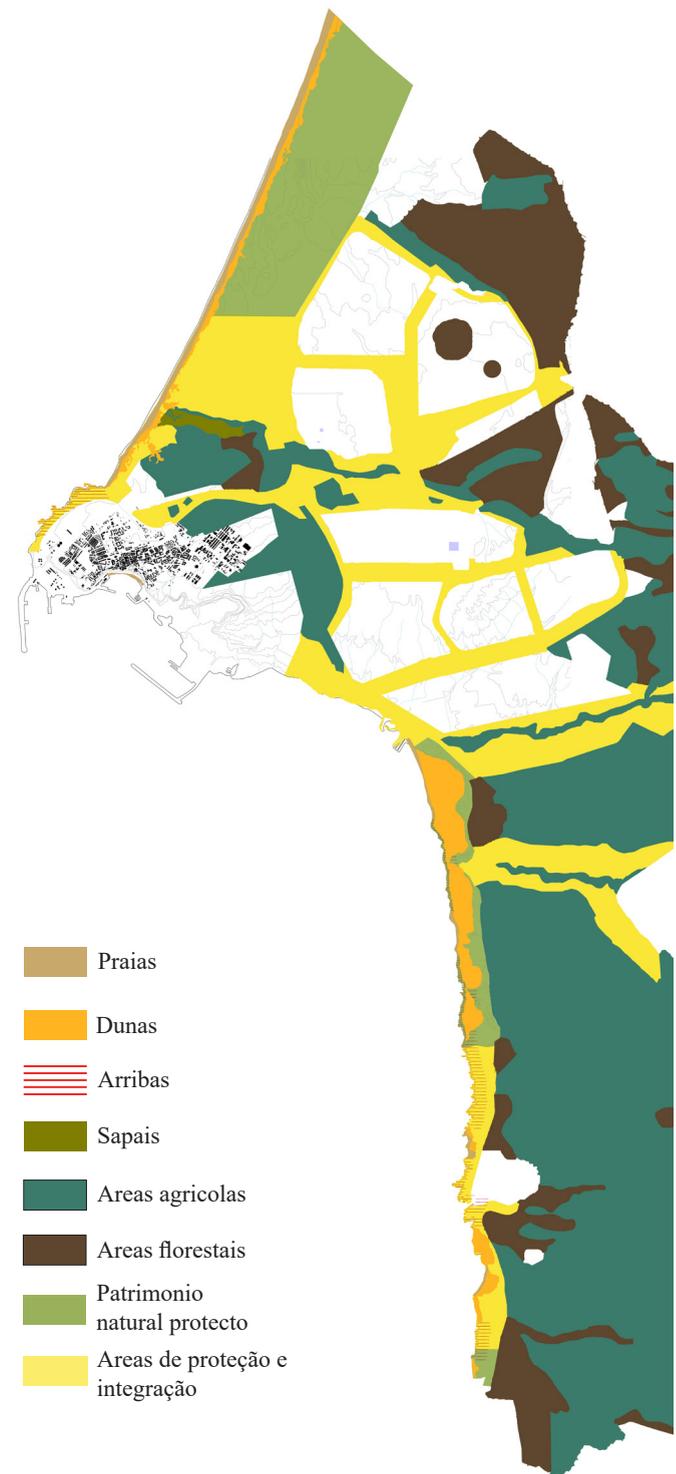


2.5 - Estrutura Ambiental Flora e Fauna

Plantas Comuns



Plantas dunares



Plantas nos sistemas húmidos



Plantas raras



Plantas endêmicas



Fauna

Alcatraz



Andorinha do mar



Papa moscas preto



Águia calçada



Buteo mouro



Gamo



Lontra



Fuinha



Sacarrabo



Pisco-de-peito-azul



Águia-de boneli



Texugo



Cobra-rateira



Cegonha branca



Corvo marinho



Falcao da rainha



Sapo-comum

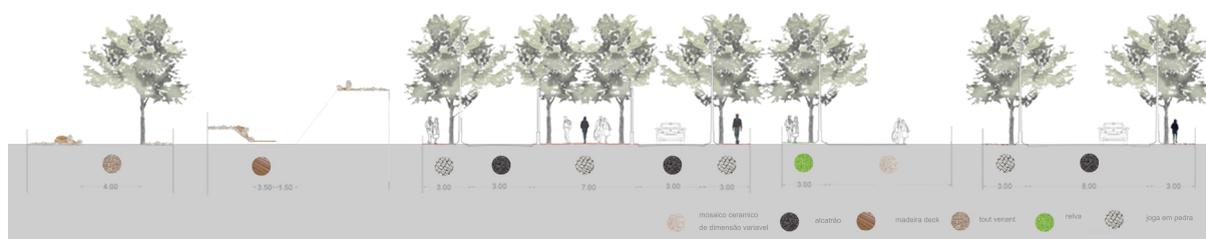


4 - PROPOSTA DE INTERVENÇÃO: HABITAR O PERCURSO

A ligação proposta por nós enquanto grupo seria de ligar por um percurso pedonal, e clicável, e um outro alternativo por estrada, a cidade e a zona periférica de Sines, ou seja a zona norte e sul. Estes dois percursos, pedonal e rodoviário, fazem a ligação entre os parques naturais de maneira a potenciar, principalmente, o fluxo de pessoas que fazem o percurso da rota vicentina. Os percursos percorrem o terreno próximos um ao outro, sendo que na zona norte se encontram próximos a uma linha de água, que destacamos, e a sul de um campo de trigo e estaleiro da pedreira; sendo que na zona central e urbana de Sines os percursos unem-se criando uma “rambla” onde o percurso pedonal se faz entre as vias rodoviárias, que separam a zona urbana de habitação da zona ZIL (zona industrial ligeira) de Sines.

O objetivo principal desta proposta é facilitar as ligações entre o ambiente urbano, e os vários percursos que por eles se atravessam, tanto por quem os percorre como para os moradores de Sines. Nesta proposta de habitar o percurso surgem 5 diferentes intervenções. A norte, junto à praia do Norte, encontram-se duas propostas de escola de surf e alojamentos, e um aparthotel um pouco mais no interior junto à linha de água; mais centrado e junto à rotunda que permite o principal acesso à cidade, onde o percurso pedonal é remetido por uma ponte, um centro de estágio de apoio ao pavilhão desportivo; e mais a sul, junto ao percurso pedonal e encastrado no topo da pedreira, uma pousada da juventude. Estas propostas visam fortalecer cinco pontos no percurso e melhorar as suas vivências, criando novos alojamentos e promovendo o desporto na cidade de Sines.

Figura 6 - Perfil de ruas propostas e os materiais.



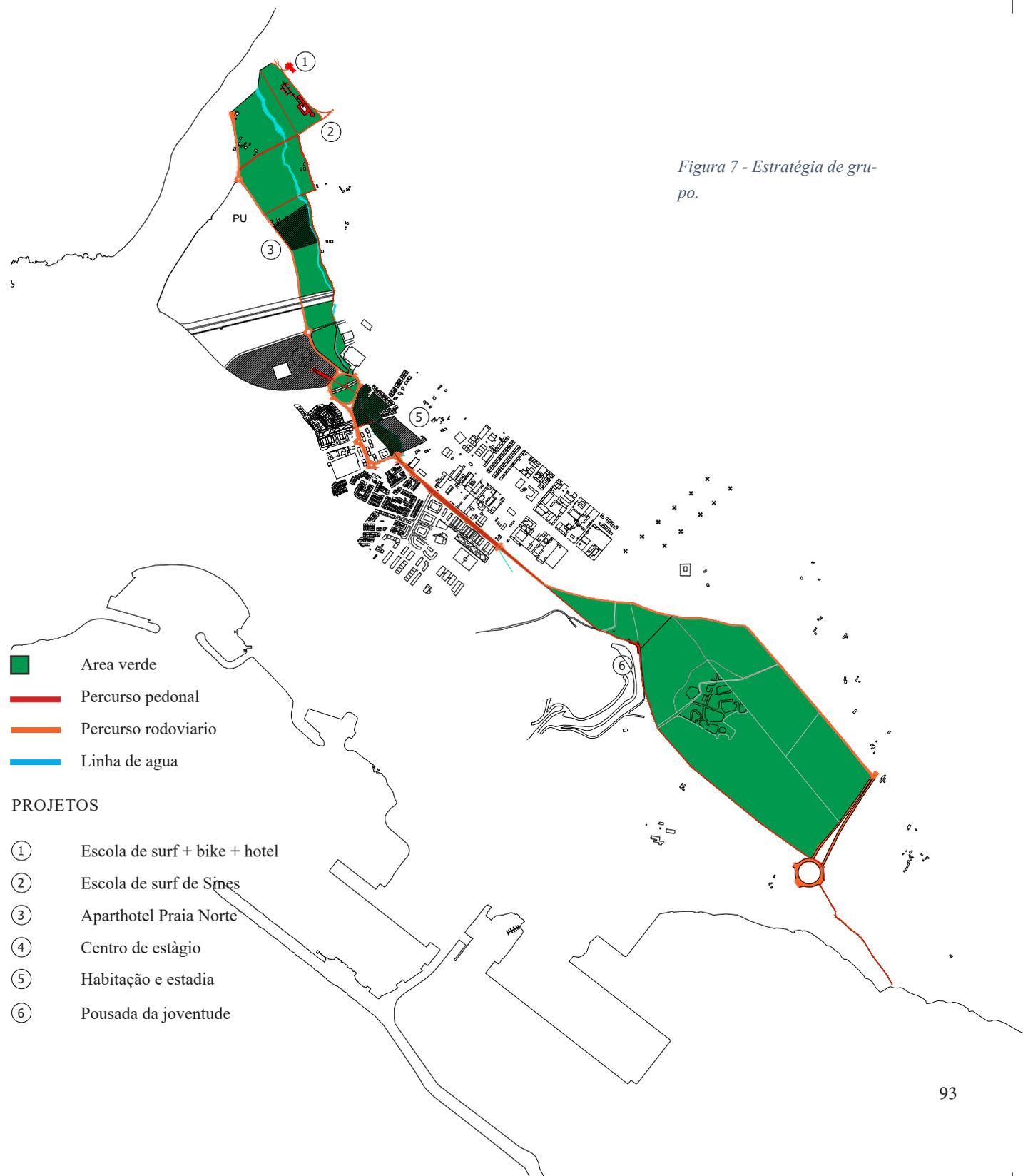
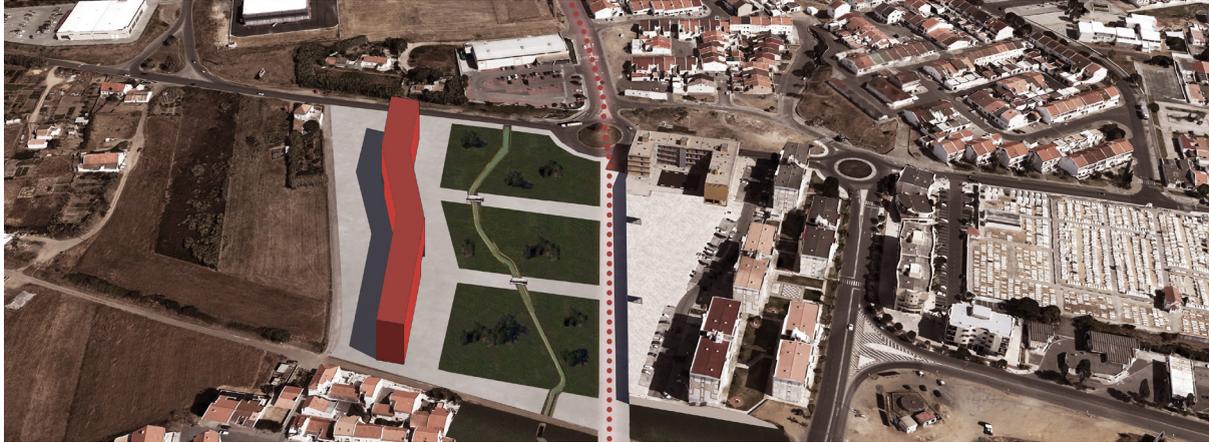


Figura 7 - Estratégia de grupo.



Figuras 8 e 9 - Representações gráficas da proposta de grupo.



Figuras 10 e 11 - Representações gráficas da proposta de grupo.



Figuras 12 - Representação gráfica do percurso pedonal proposto.



Figuras 13 - Representação gráfica do percurso pedonal proposto.

4 - PROJETO INDIVIDUAL

4.1 - Terreno de Intervenção

A Praia do Norte está localizada a norte de Sines. O acesso principal para esta área é feito através de uma rua que liga a Avenida da Costa do Norte para a Praia da Guia, uma pequena faixa de areia junta à Praia do Norte.

A flora existente nesta costa é típica das sistemas dunares, mas a presença de espécies de plantas endêmicas torna esta área particularmente sensível.

As ondas altas do mar fazem desta praia um destino ideal para os surfistas. No entanto, a total falta de serviços de apoio não favorece o surgimento desta atividade.



Figura 14 (ao lado) - Area do projeto individual.

Figuras 15 e 16 (em baixo) - Fotografias do terreno de projeto.



4.2 - Programa

A ideia de projetar uma escola de surf surge da necessidade de criar em Sines um lugar no meio da natureza, que se opõe ao paisagem industrial presente nesta cidade desde do início dos anos 70. A presença de uma escola de surf em Sines representa, juntamente com outras iniciativas, um impulso para o turismo e para a economia da cidade, aproveitando as vantagens oferecidas pelo território.

A área de projeto foi definida de acordo com a proposta apresentada pelo grupo, referida no capítulo anterior. O objetivo da proposta é criar um espaço educativo e criativo, onde as pessoas podem partilhar juntos a paixão pelo surf e pela atividade física numo espaço longe do carácter industrial de Sines.

O acesso à praia e a escola é feito através de uma nova conexão que liga a área do projeto às principais infra-estruturas de Sines. O estacionamento em frente da entrada principal facilita a permanência aos utentes das instalações e da praia. O passadiço de madeira ao lado da escola faz parte do percurso inserido na proposta de grupo que permite a chegada ao mar. Este mesmo percurso conecta-se aos caminhos que dão acesso à piscina e às dez unidades habitacionais temporárias de gestão à escola. Uma estrada de terra batida ao lado do passadiço existente fornece acesso ao serviço da escola para cargas e descargas.

4.3 - Memoria descritiva

O projecto é definido por três tipos de edificios com programas diferentes: a escola, a piscina e as unidades habitacionais temporárias.

A escola é o edificio principal, de forma retangular, com um grande pátio no interior. No meio do pátio, um pavilhão com a base elevada é pensada para ser um espaço aberto e abrigado para actividades ao ar livre.

A entrada da escola está localizada no lado sudeste, onde se encontram a área administrativa e o refeitório público. Na ala sudoeste há uma cozinha de apoio ao refeitório, casas de banho e as salas de aula. A noroeste situa-se, o auditório com fachada envidraçada que se abrem pelo lado interior da escola e, o armazém onde guarda-se todas as pranchas fornecidas à escola.

O lado nordeste é paralelo ao passadiço que chega até a praia. Esta é a única ala do edificio com dois pisos. No piso térreo estão presentes uma loja de surf, um armazém para as pranchas de surf e para o depósito dos materiais, e um espaço reservado a workshops para a construção de pranchas de surf. A realização destas pranchas requer espaços com diferentes características de acordo com o material com que são con-

Figura 17 - Esquema de plantas da escola.

-  Lado sudeste
-  Lado sudoeste
-  Lado noroeste
-  Lado nordeste
-  Edifício ginásio

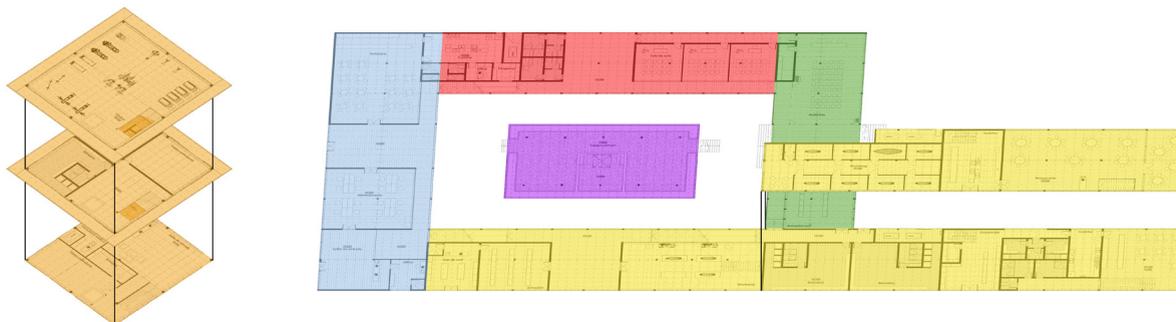




Figura 18 - O trabalho de um sharper.



Figura 19 - Surf de madeira.



Figura 20 - Armazém de surf

struídas. No piso térreo, um grande espaço para trabalhar a madeira, enquanto que para o processamento da fibra de vidro são necessários pequenos espaços, com iluminação e ventilação mecânica controlada, colocados no piso superior.

No lado nordeste, no piso térreo, situa-se também os balneários para os usuários da escola, o economato de apoio aos serviços de restauração, vestiários pelo pessoal, uma cozinha e um café. Através do café é possível aceder ao restaurante no andar superior, o qual contem um terraço de onde podemos admirar o mar.

A sudeste encontra-se o edifício mais alto, com três pisos, que se conecta com a escola através de uma cobertura. Este dispõem de algumas salas para actividades de fitness e desporto, um consultório médico, balneários e, no piso superior, o ginásio.

A piscina exterior e o edifício de apoio á mesma, localizados numa área protegida pelas dunas, a oeste da escola, com o propósito de acolher aulas de primeiro socorro em água e secções de treino físico. O edifício em frente da piscina inclui uma clínica, casas de banho, a sala técnica e o armazém para o equipamento relacionado com os cursos. O andar em cima é um espaço aberto dedicado a actividades de lazer.

As unidades habitacionais temporarias, projetadas para os surfistas desejam ser envolto na experiência da escola, estão dispostas em dois grupos de cinco unidades distribuídas paralelamente á costa num terreno elevado. Cada unidade de planta quadrada com uma área de 128m² inclui uma zona de estar com cozinha, uma zona de dormir com quatro ou duas camas, uma casa de banho e uma grande cobertura praticável que pode ser utilizado durante o verão.

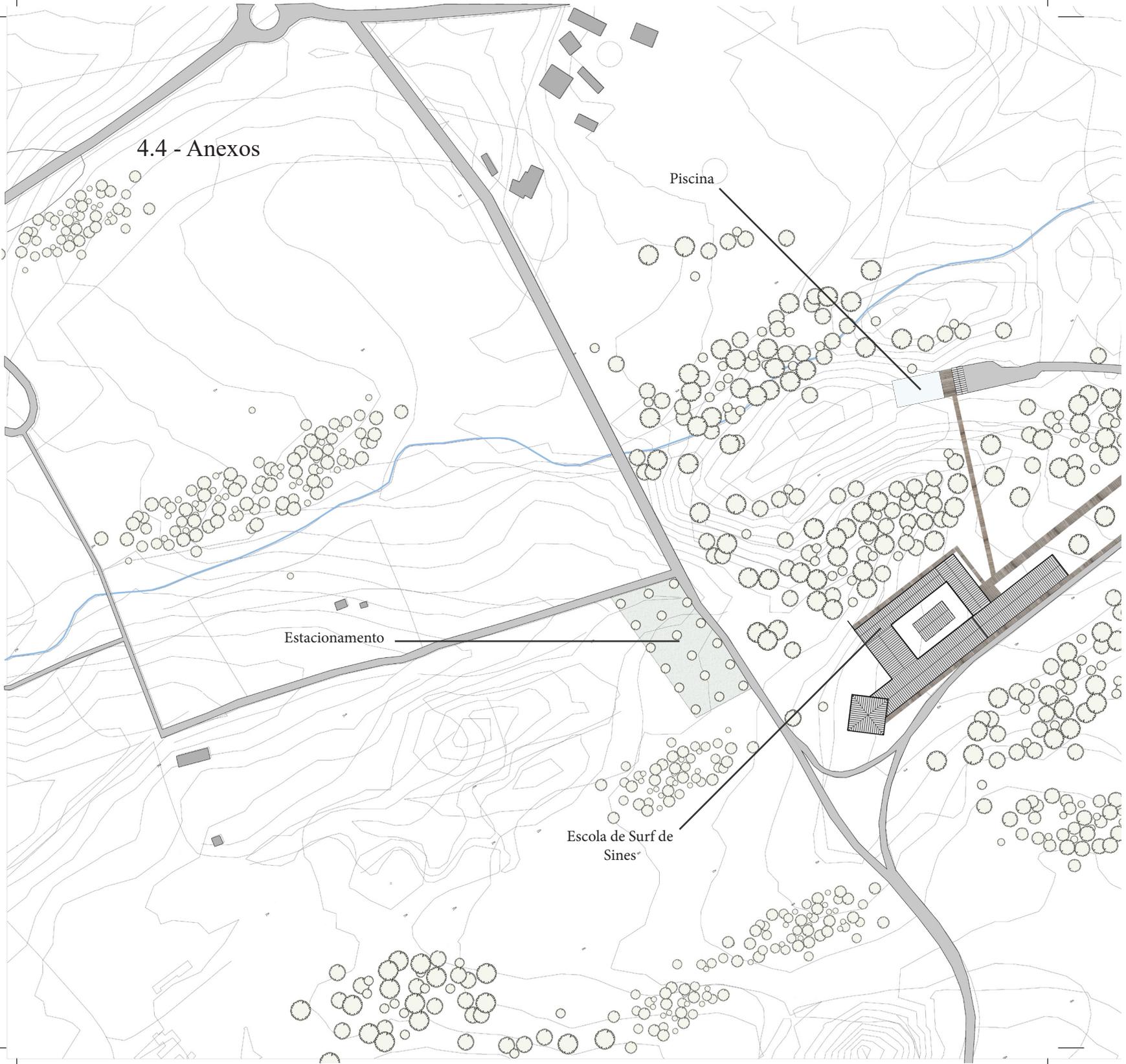
A materialidade de todos os edifícios foi escolhida com o fim de minimizar o impacte visual e ambiental devido ao ecossistema existente nesta zona. Assim concretiza-se através de uma estrutura levantada de madeira, apoiada em pilares de betão acente ao solo arenoso.

4.4 - Anexos

Piscina

Estacionamento

Escola de Surf de
Sines



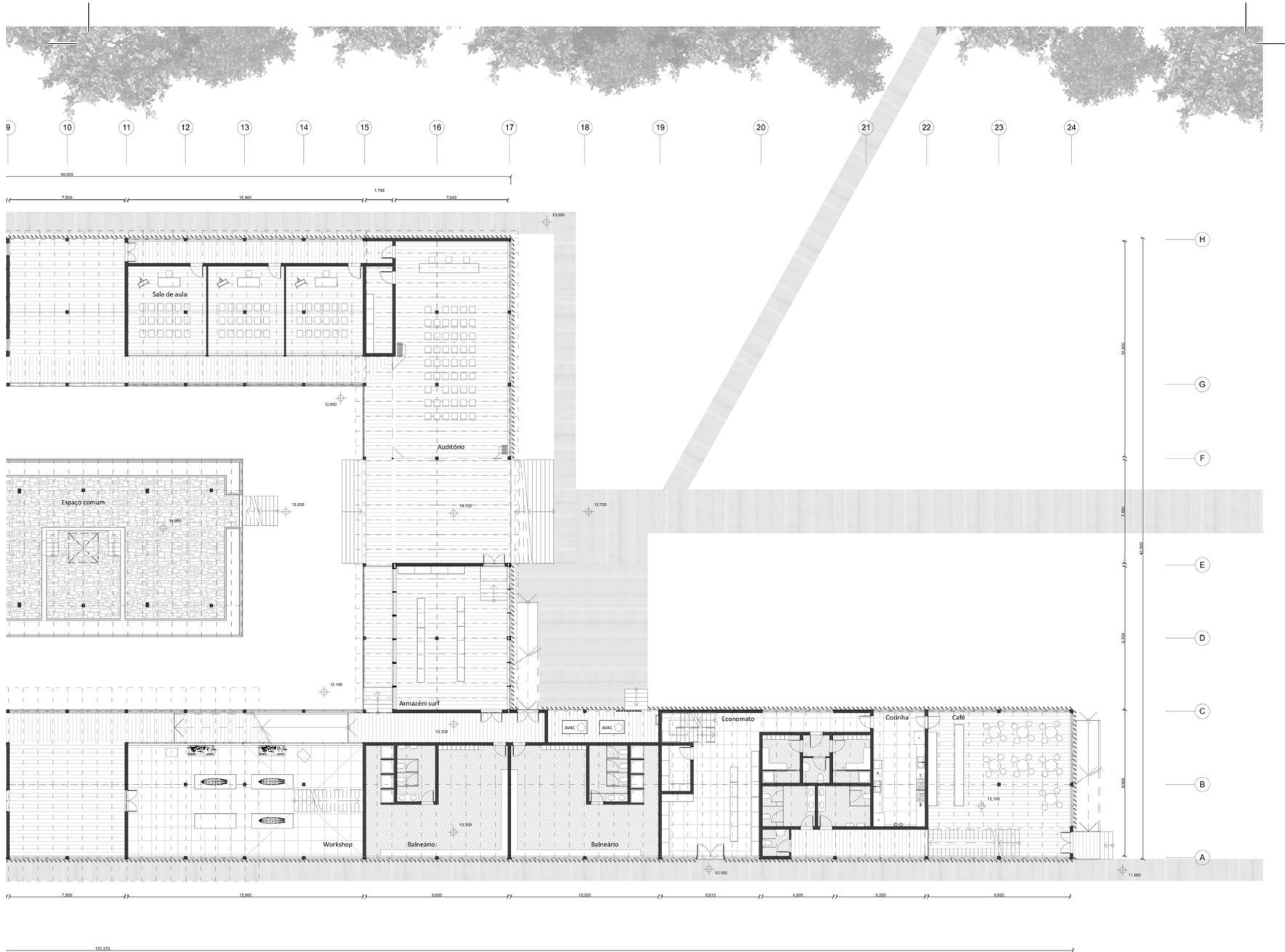


Unidade abitacional temporária

m 10 50 100





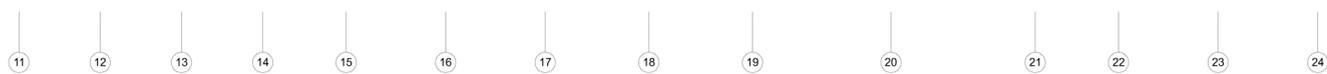
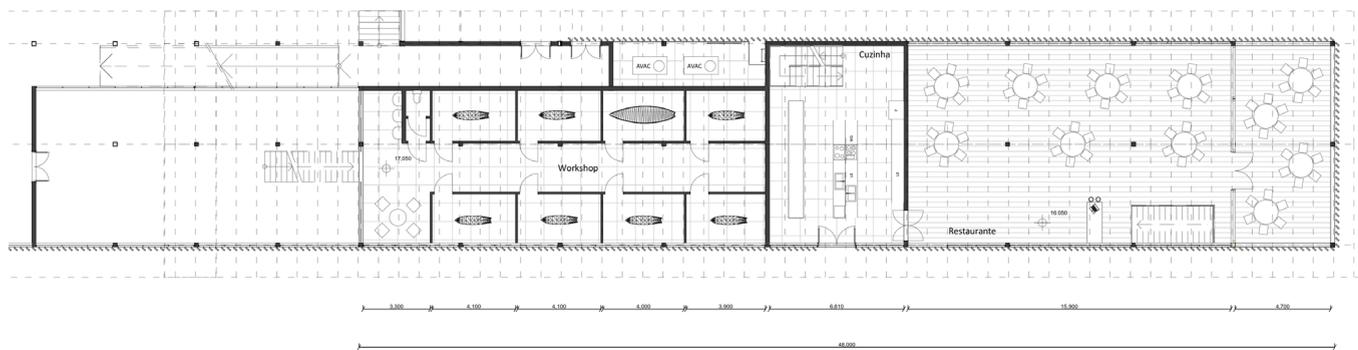


13m

Escola de surf

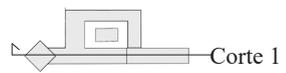
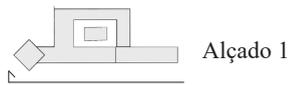


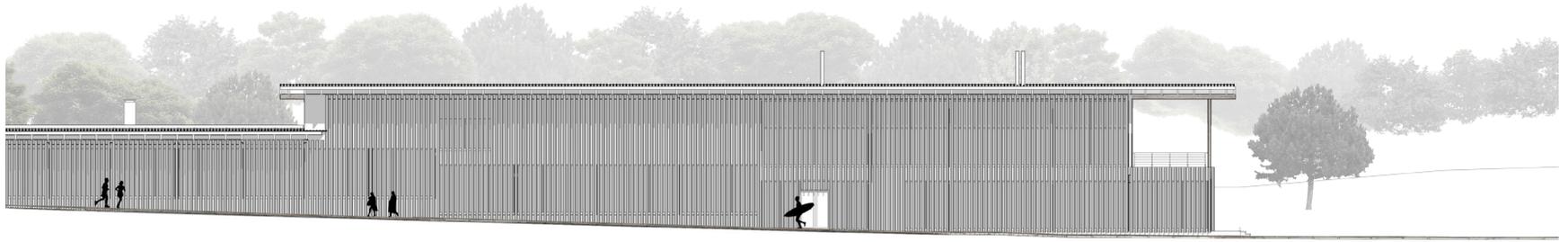
12m



Segundo piso

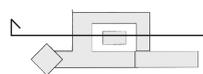




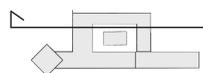


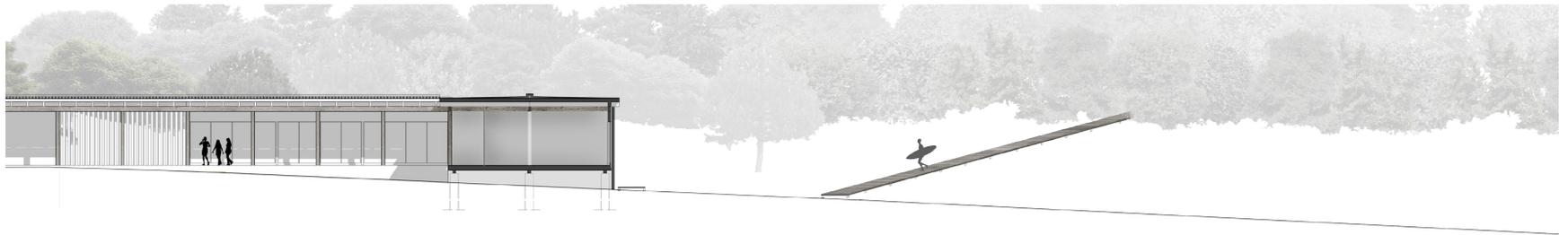
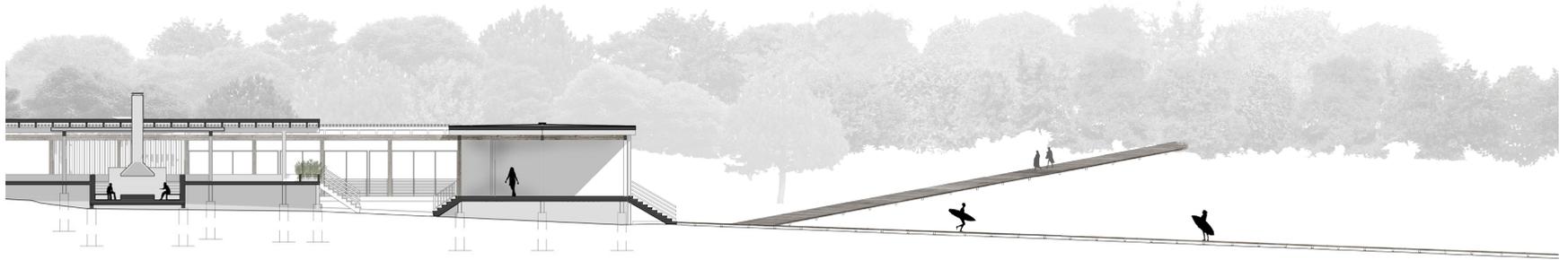
m 1 5 10 15



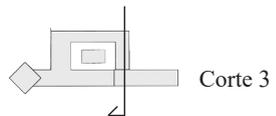
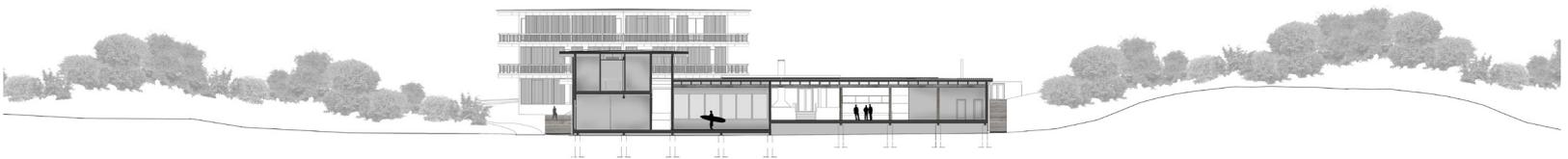
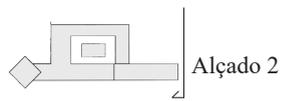
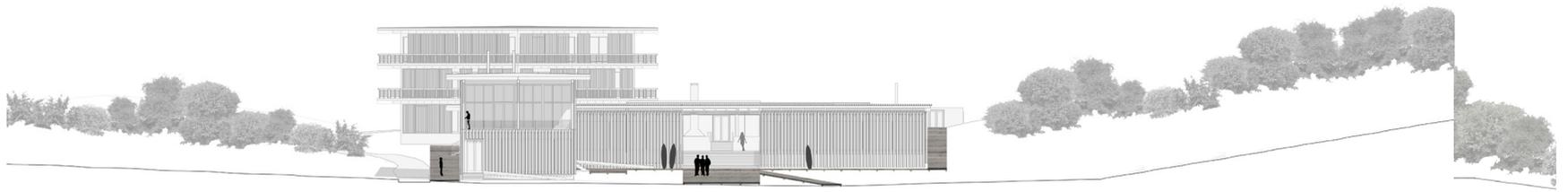
 Corte 2

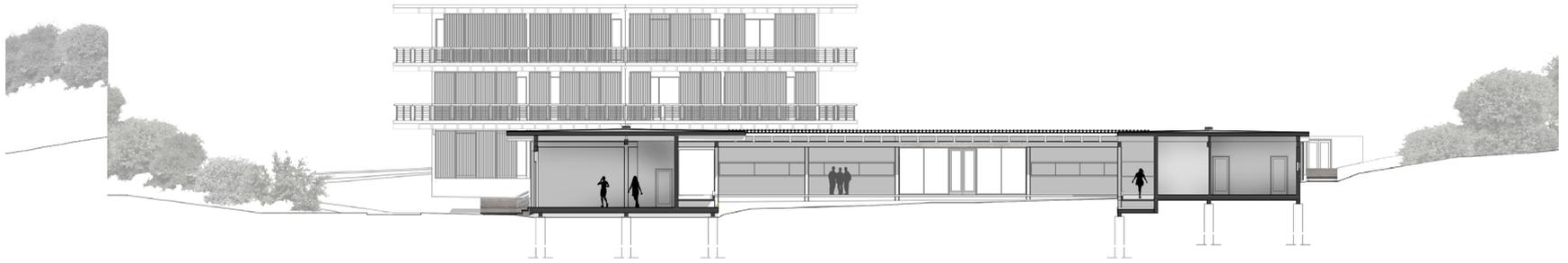


 Alçado interior 1



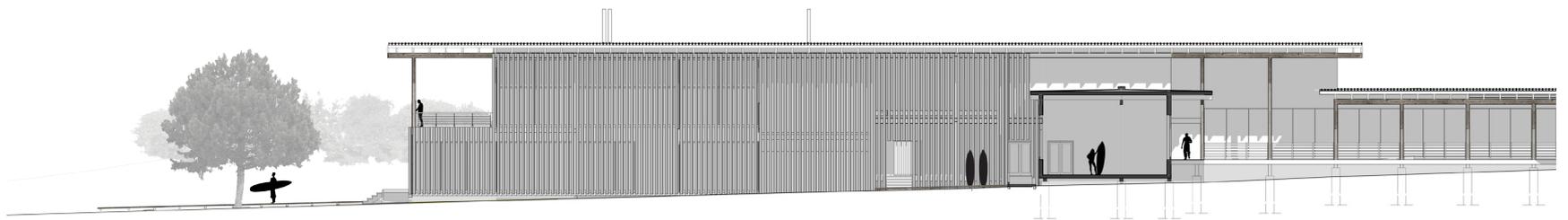
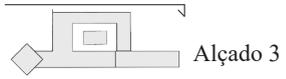
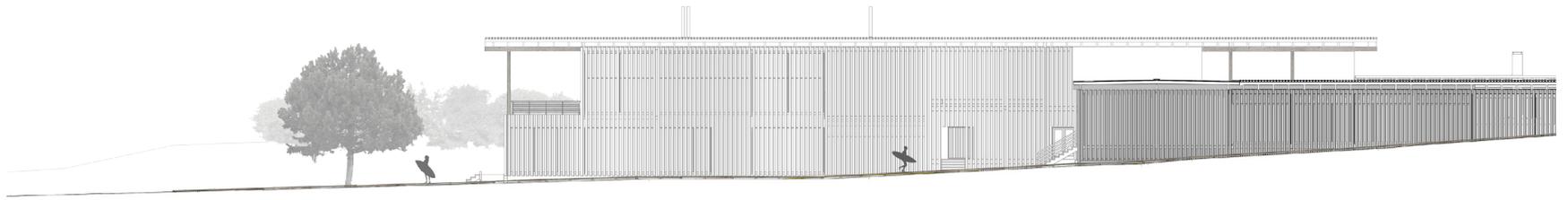
m 1 5 10 15

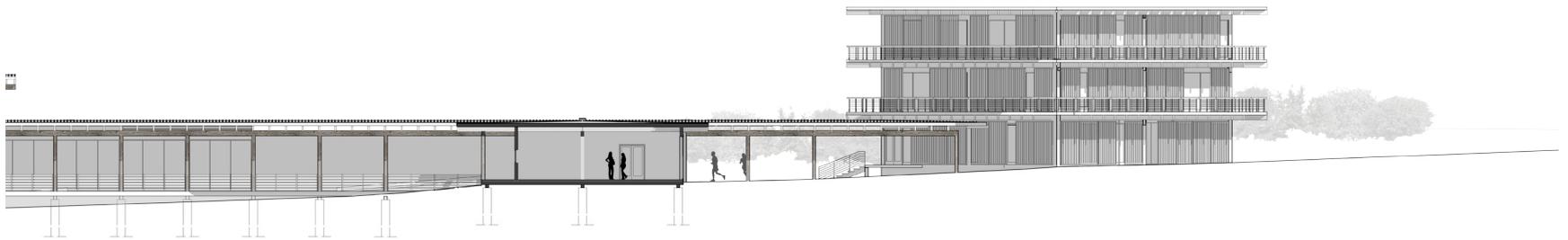
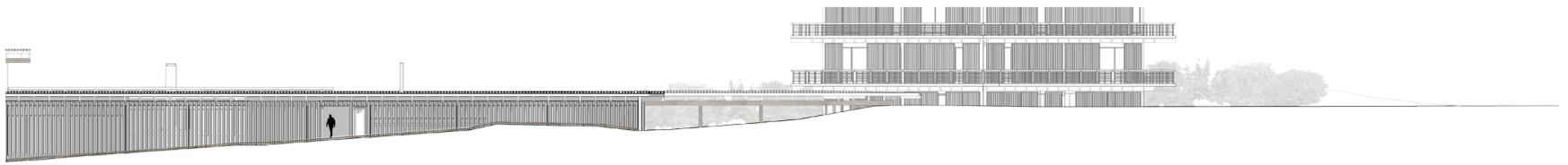




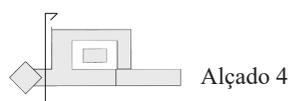
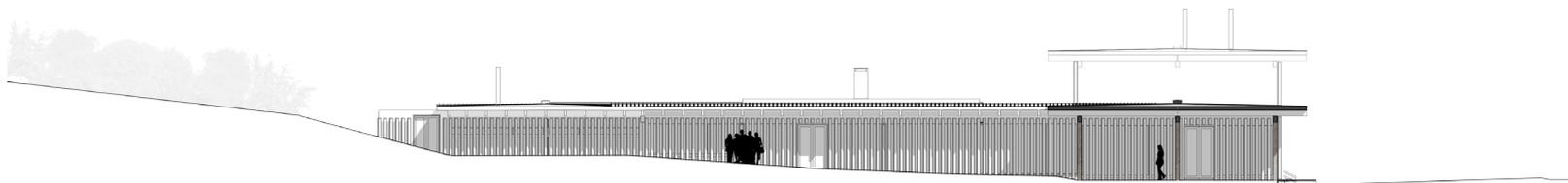
Alçado interior 2

m 1 5 10 15

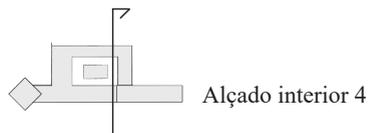
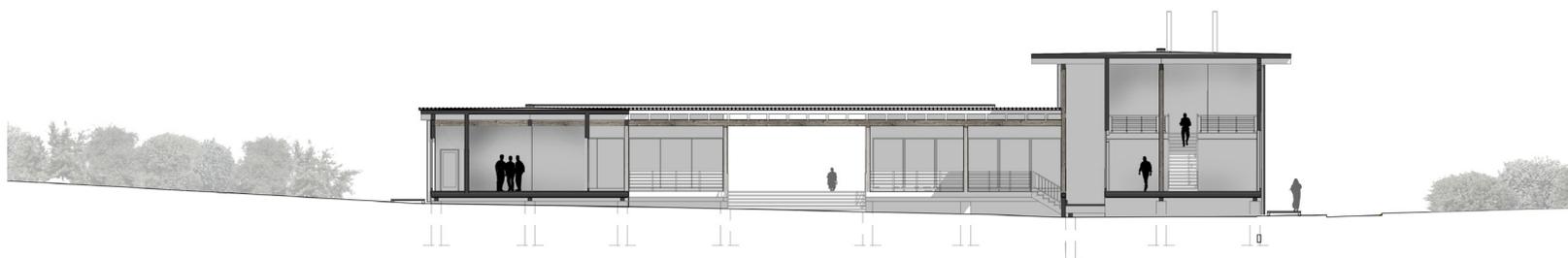




m 1 5 10 15



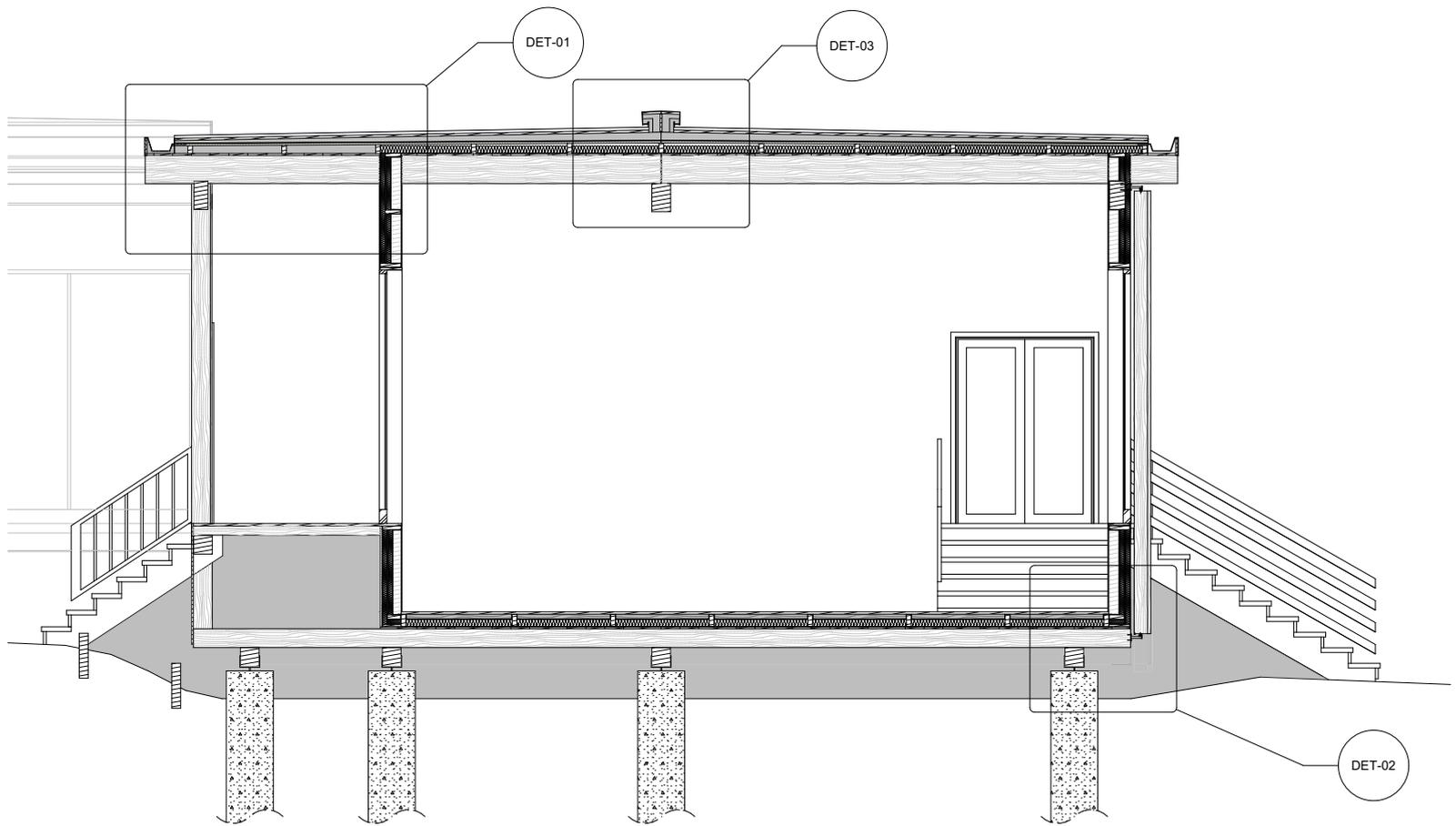
Alçado 4



Alçado interior 4

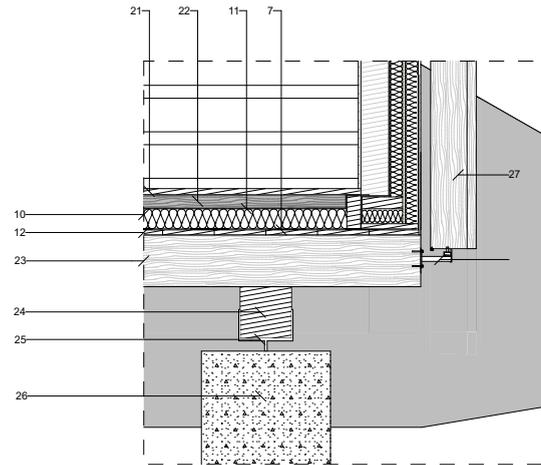
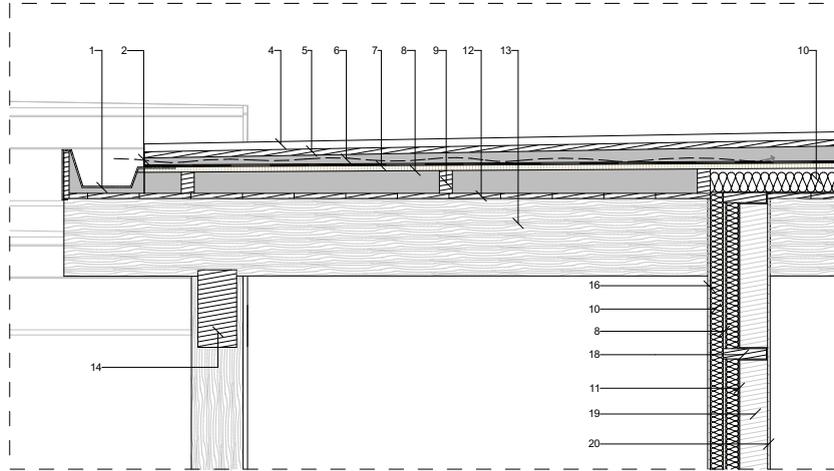
m 1 5 10 15



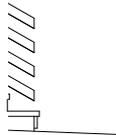


 Corte costruttivo

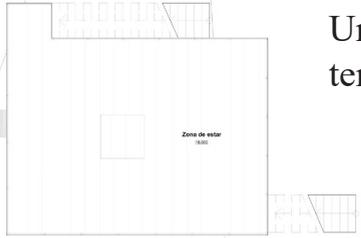
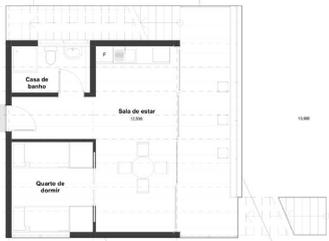
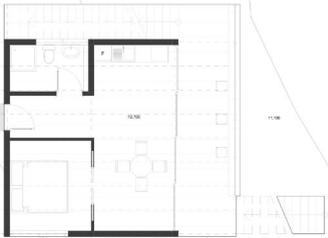
cm 10 50 100



- 1) Calha de aço - 0,2 cm
- 2) Grelha metálica - 0,2 cm
- 3) Capiamento de zinco - 0,2 cm
- 4) Lamina grecada de aço 5x1m - 3 cm
- 5) Painel de madeira - 2 cm
- 6) Espaço circulação ar - 4 cm
- 7) Membrana impermeável dupla - 0,2 cm
- 8) Painel de OSB - 2 cm
- 9) Subestrutura de madeira - 8x5 cm
- 10) Isolamento térmico em aglomerado de cortiça - 8 cm
- 11) Barreira pára-vapor - 0,1 cm
- 12) Tábuas de madeira - 2,4 cm
- 13) Viga de suporte - 30x10 cm
- 14) Viga de suporte - 30x15 cm
- 15) Viga de suporte - 30x20 cm
- 16) Reboco - 1 cm
- 17) Painel de OSB - 1 cm
- 18) Travessa de madeira - 4x15 cm
- 19) Estrutura de madeira - 15 cm
- 20) Placa de gesso cartonado - 1 cm
- 21) Soalho flutuante de madeira - 2,4 cm
- 22) Subestrutura de madeira - 5 cm
- 23) Viga de suporte - 20x10 cm
- 24) Viga de suporte - 20x20 cm
- 25) Apoio à viga de aço - 1 cm
- 26) Pilar de betão - diam. 50 cm
- 27) Ripado de madeira - 470x5 cm
- 28) Estrutura de suporte de metal



DET-02



Unidades abitacionais
temporárias



13

12

11

10

8,000

2,700

2,700

2,000

1,200

1,600

1,450

3,100

8,000

12,500

Casa de
banho

F

Sala de estar
12,500

Quarto de
dormir

10,900

1

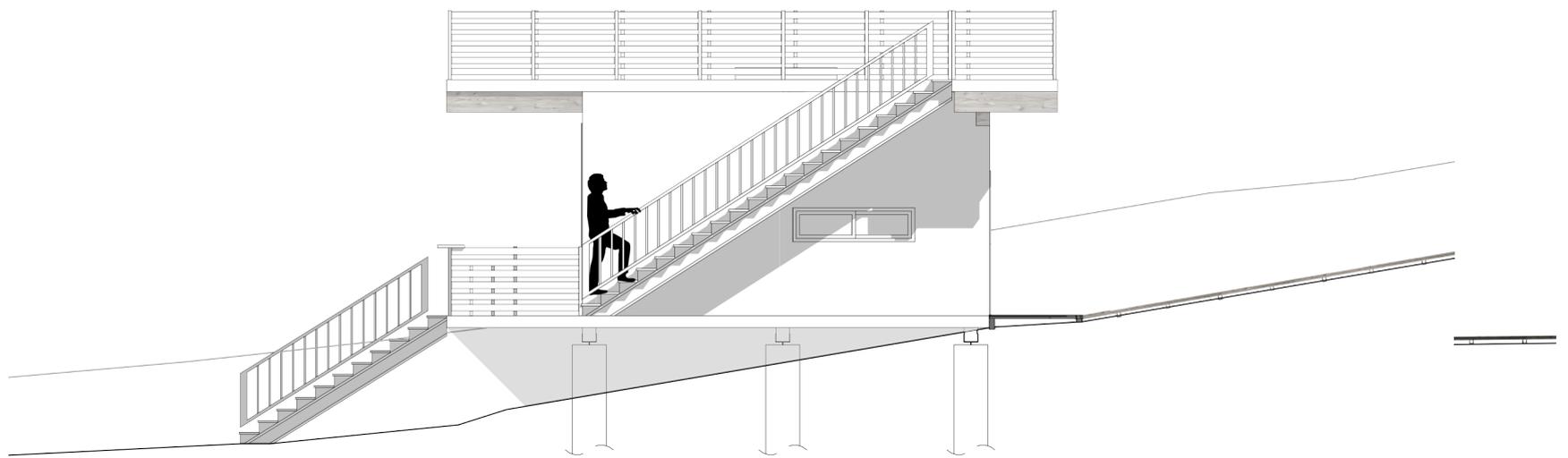
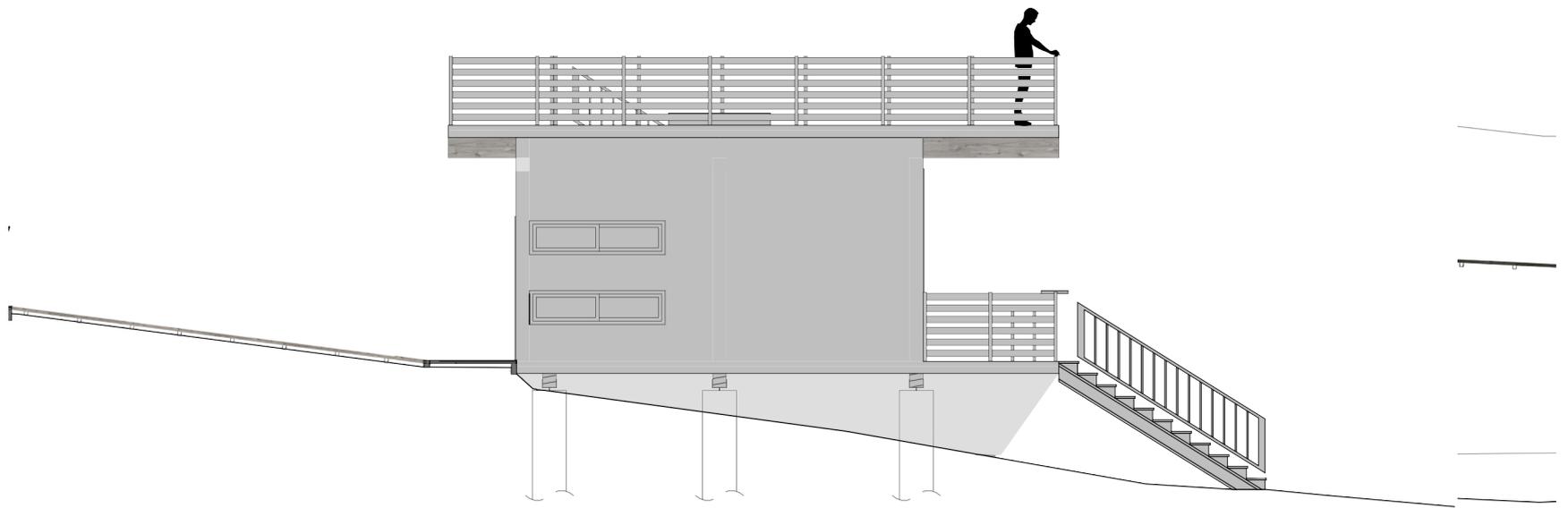
2

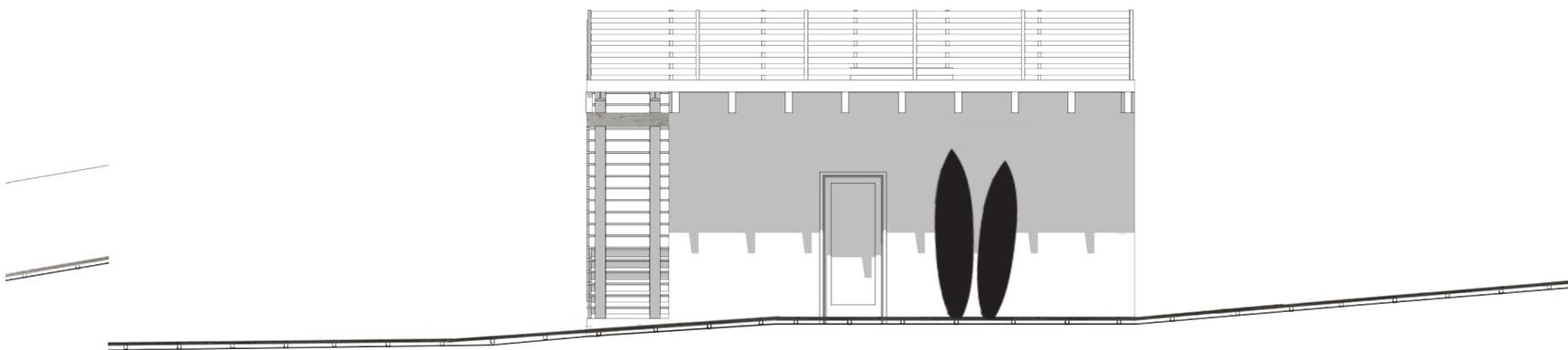
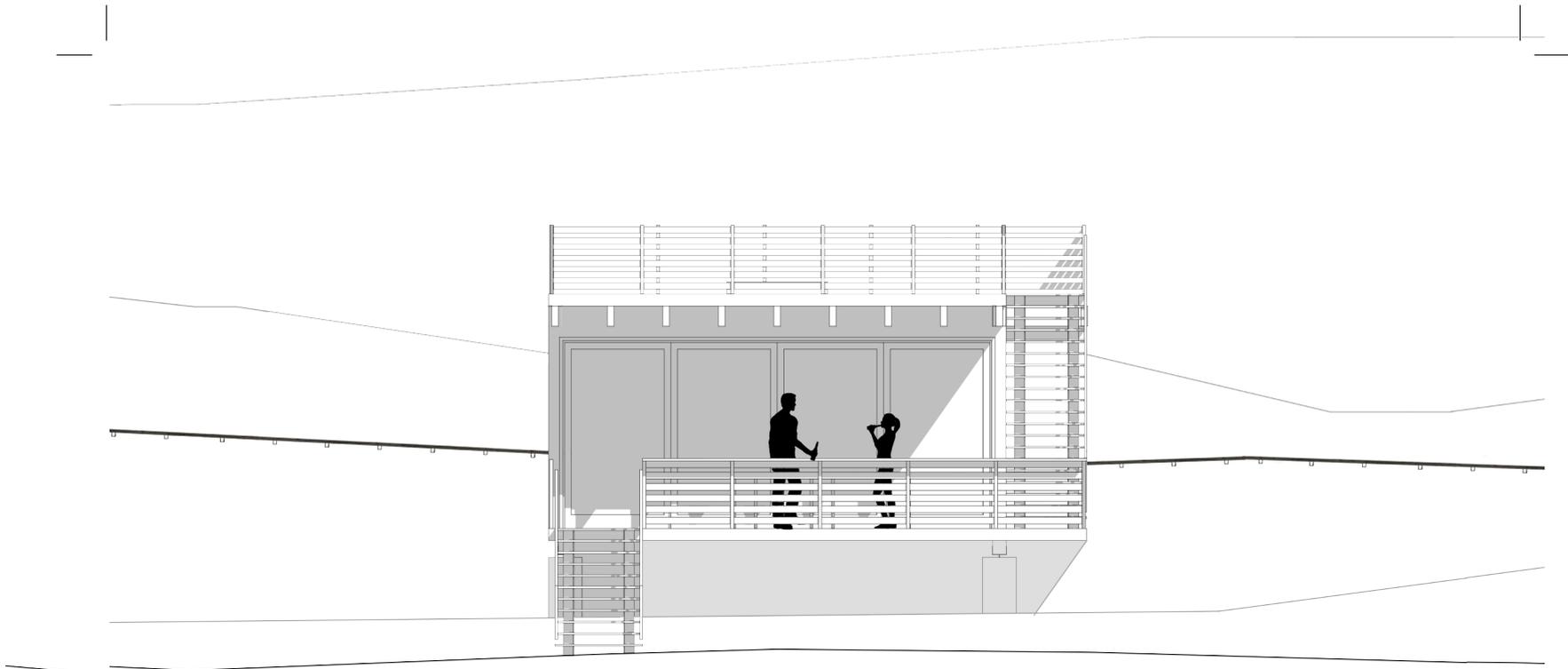
A

B

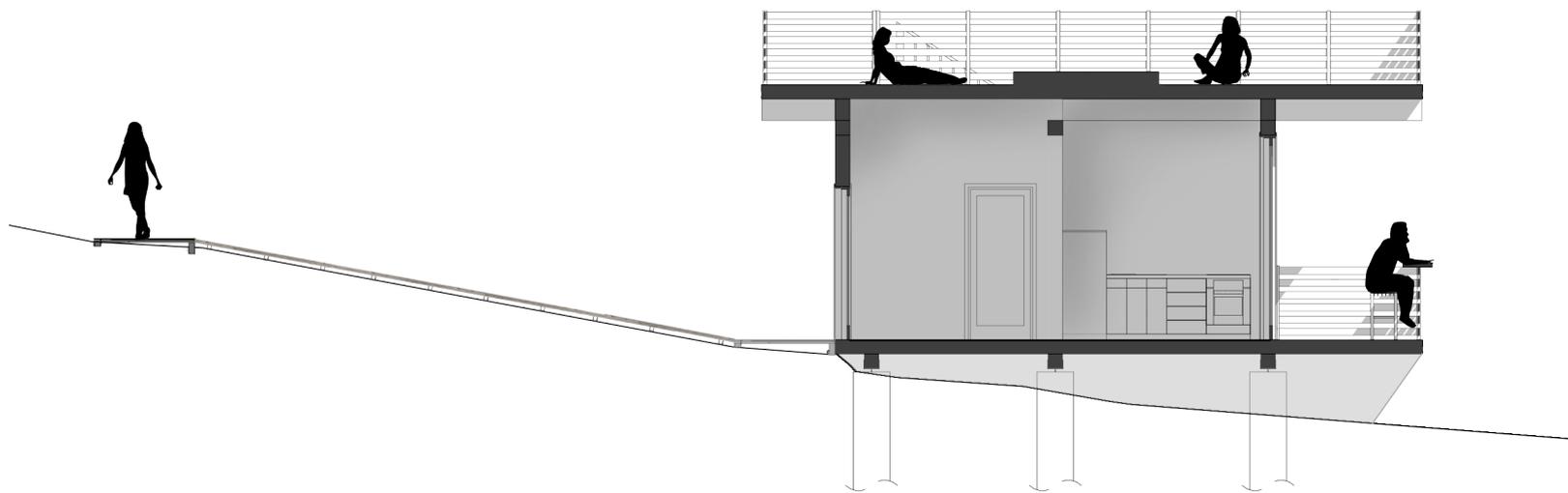
C



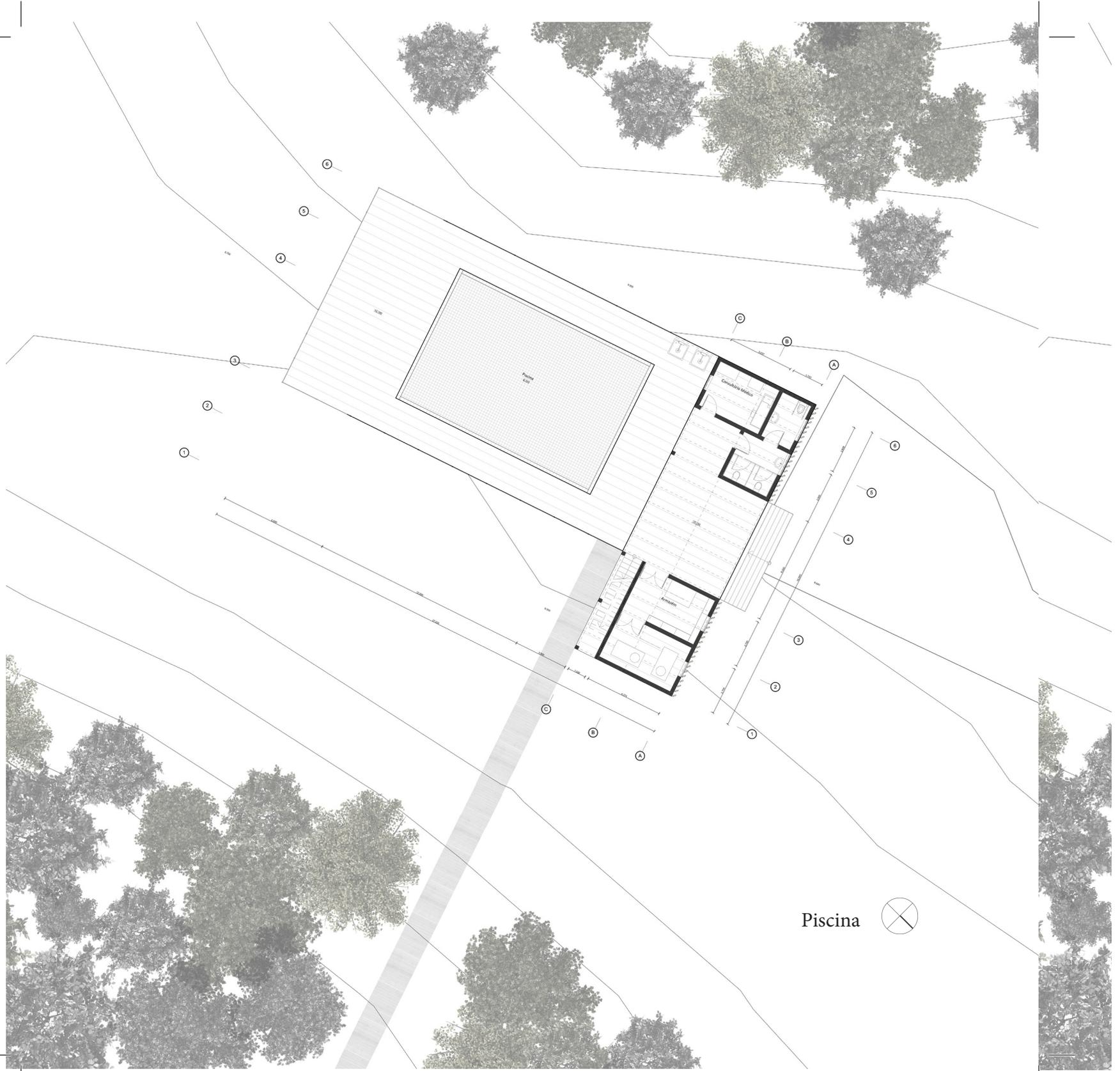




m 1 5 10

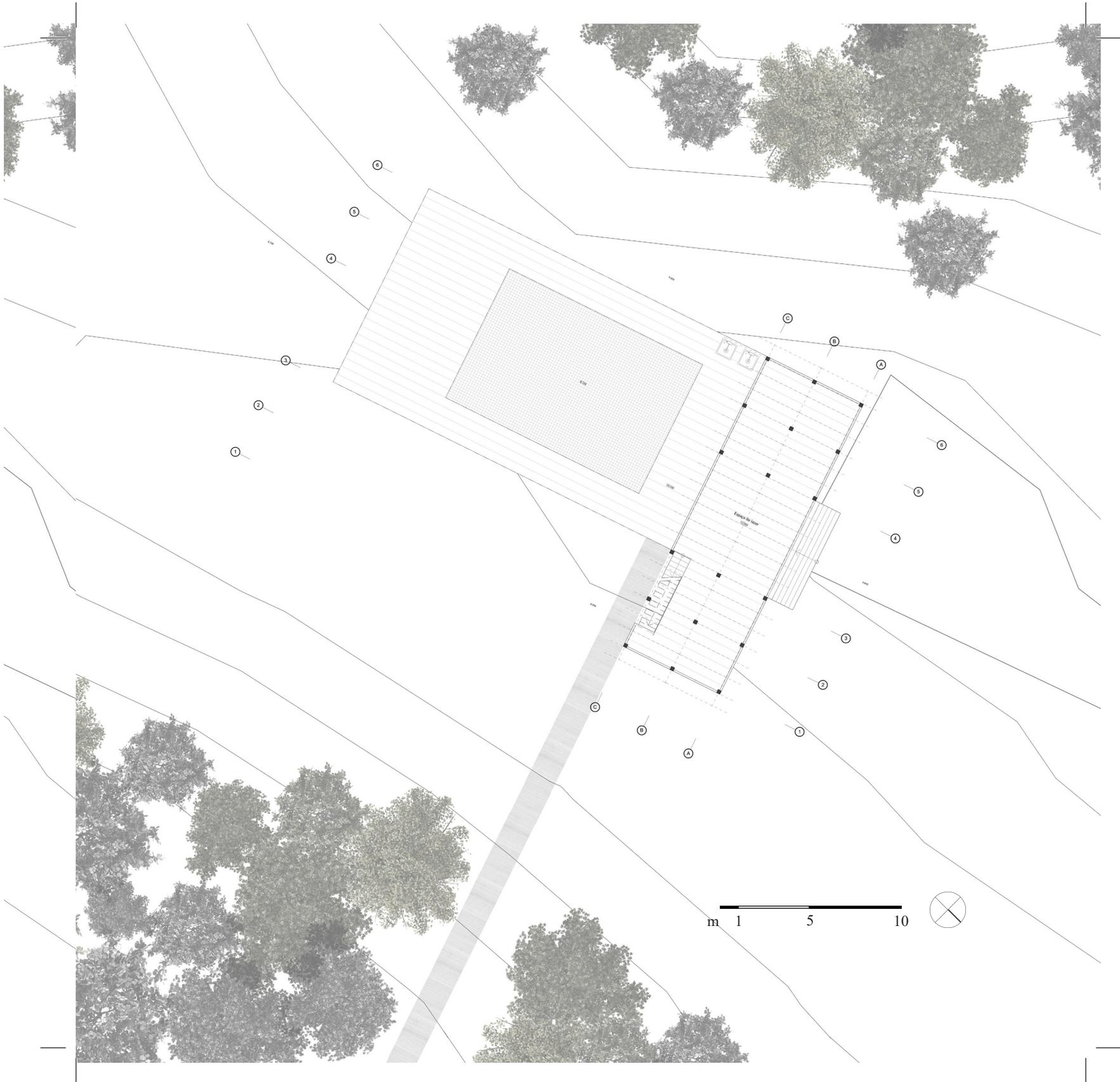


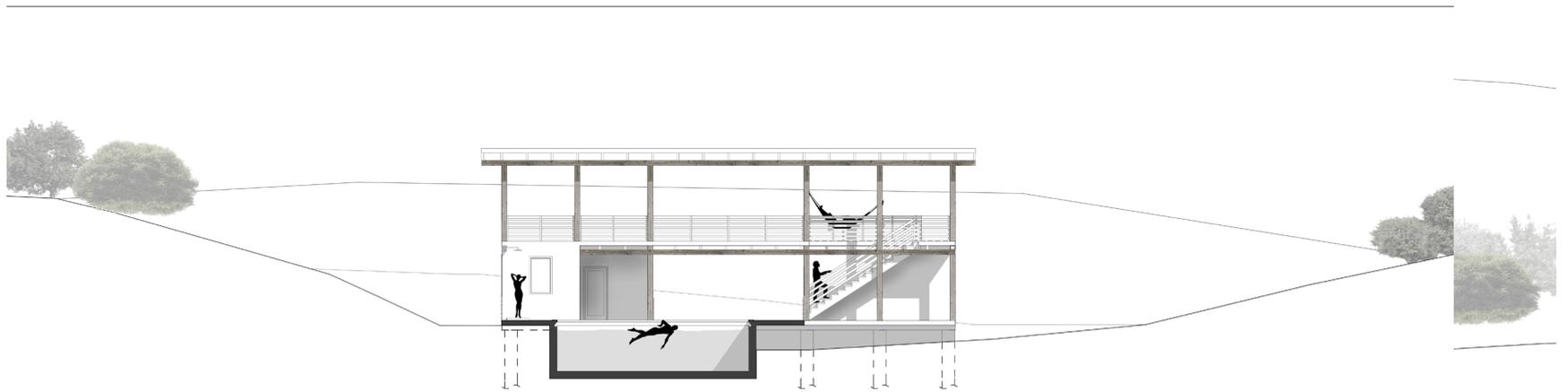
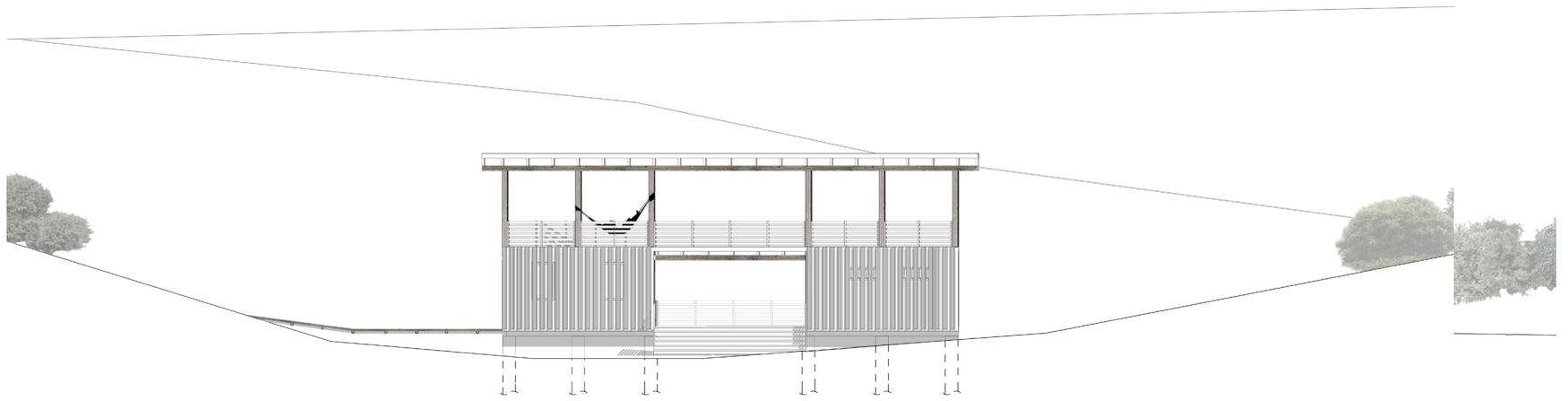
m 1 5 10

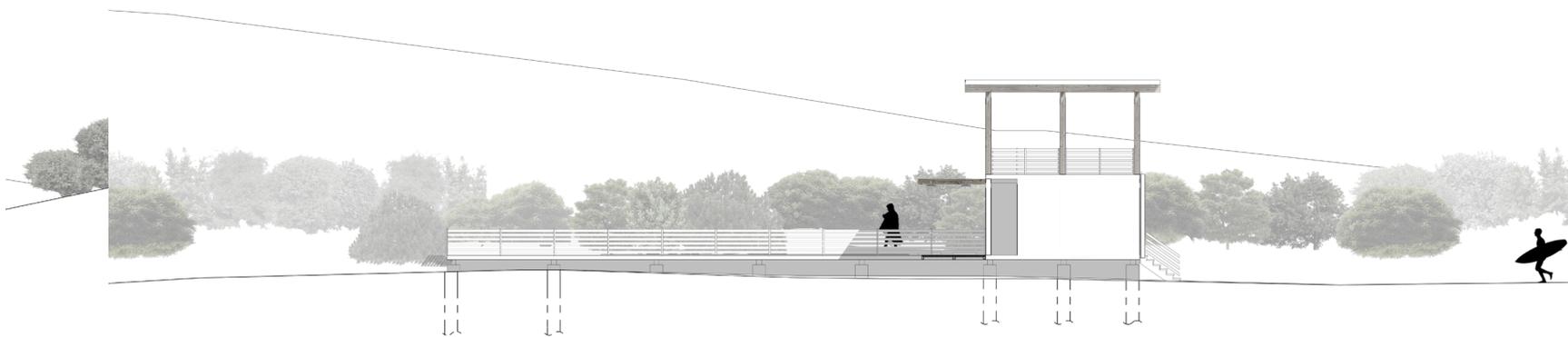
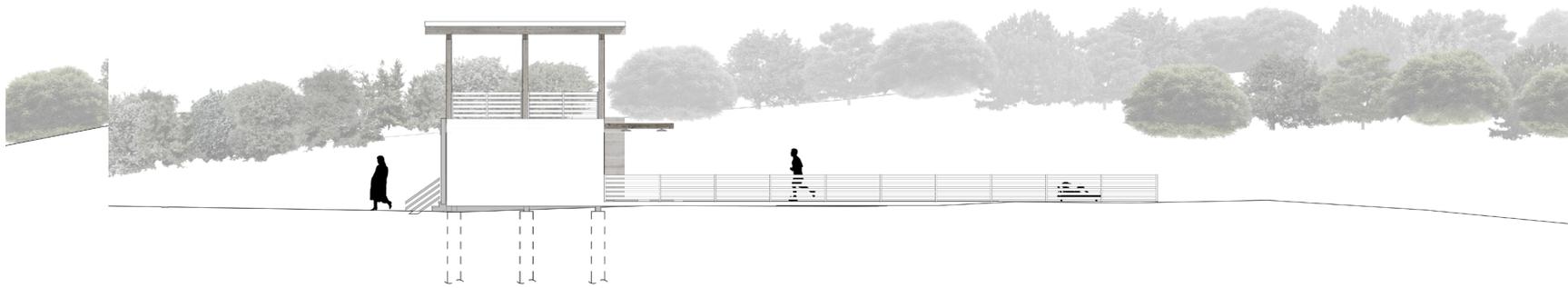


Piscina

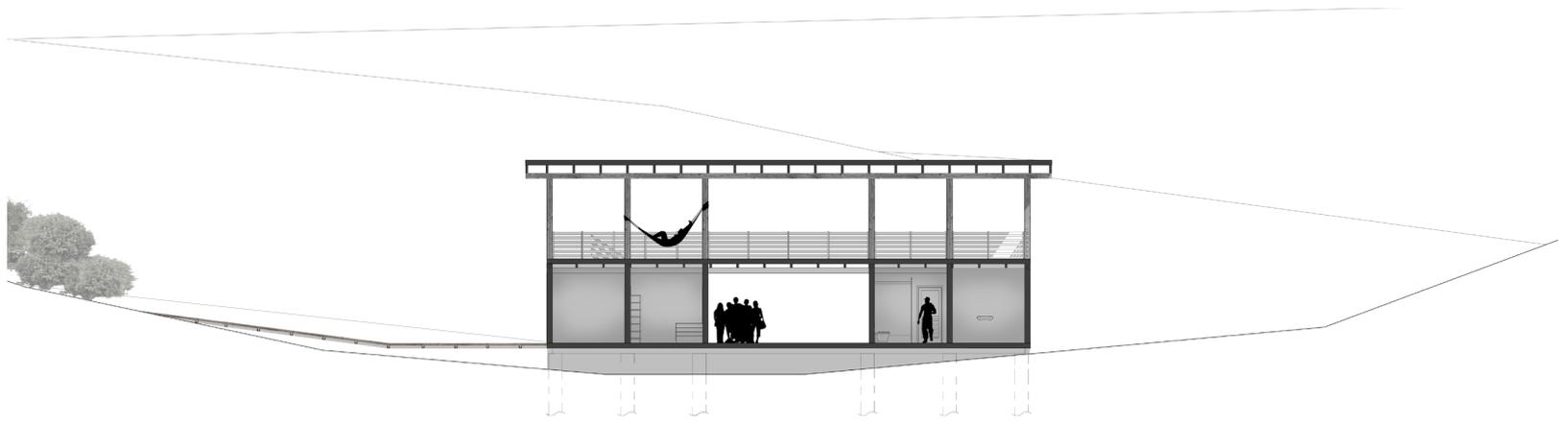
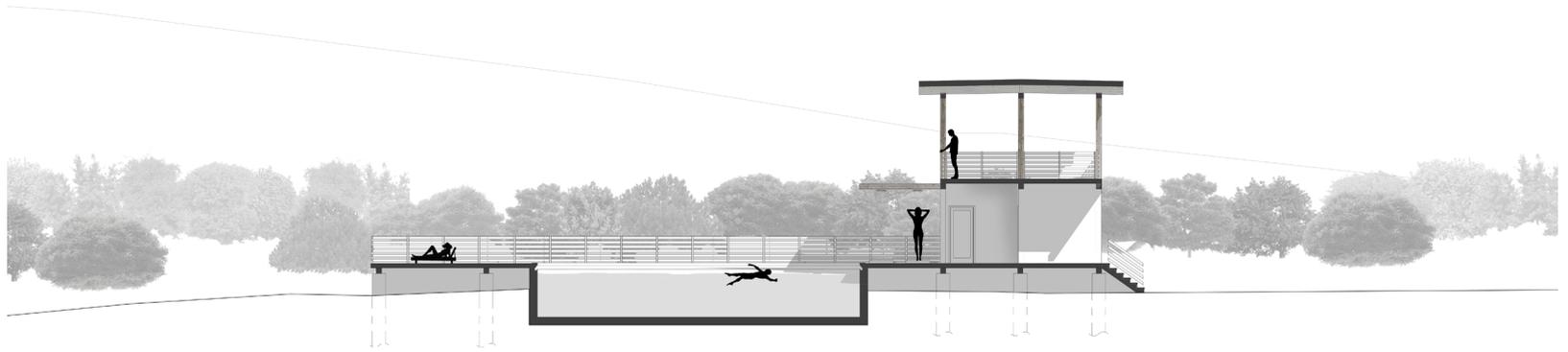








m 1 5 10



m 1 5 10



