U.PORTO

MESTRADO INTEGRADO

ARQUITECTURA

Reflexão sobre os modos de construir: experiência de projeto para uma escola primária em Vila do Conde

Margarida Eusébio Teixeira

M

2021

Agradecimentos

À Professora Ana Isabel da Costa e Silva pela disponibilidade, dedicação e entusiasmo demonstrado em cada discussão.

À minha família, pelo incentivo diário na superação de desafios e pelo acreditar constante.

A todos os meus amigos que me acompanharam e apoiaram ao longo deste percurso.

Por último, à minha avó, pela partilha de lições de vida.

Resumo

As alterações climáticas e a exploração continuada de recursos constituem-se como as maiores ameaças à vida na terra. A indústria da construção tornou-se uma das atividades humanas que mais contribui para a degradação do meio ambiente. No entanto, atualmente, o enfoque recai, sobretudo, sobre as questões energéticas e sobre a redução das emissões de carbono e menos relativamente à exploração de recursos utilizados na produção de materiais de construção.

O presente trabalho reflete sobre a gestão de recursos e explora, através da realização de um projeto para a ampliação de uma escola primária, a utilização de um sistema construtivo capaz de ser reutilizado. Por conseguinte, com esta oportunidade, desenvolve-se uma alvenaria em madeira, versátil e reutilizável, uma vez que permite a montagem e a sua desmontagem posterior.

O objetivo da dissertação recai no desenvolvimento de um sistema construtivo a par do desenvolvimento de um projeto para uma escola primária, que pretende dar uma resposta real face às condicionantes que o ramo da construção enfrenta, derivadas da crescente consciencialização ambiental.

Abstract

Climate change and the continued exploitation of resources constitute the greatest threats to life on earth. The construction industry has become one of the human activities that most contribute to the degradation of the environment. However, nowadays, the focus is mainly on energy issues and the reduction of carbon emissions, and less on the exploitation of resources used in the production of construction materials.

The present work reflects on the management of resources and explores, through the conception of a project for the expansion of a primary school, the use of a constructive system capable of being reused. Therefore, with this opportunity, a versatile and reusable wooden masonry is developed, since it allows the assembly and its subsequent disassembly.

The goal of the thesis lies in the development of a constructive system alongside the development of a project for a primary school, which intends to give a real answer in face of the constraints that the branch of construction faces, derived from the growing environmental awareness.

Sumário

PARTE 1 - PROJETO DE UMA ESCOLA 9
1. A Escola como lugar de aprendizagem 11
1.1. Projetos de escolas do séc. XX e seus problemas 13
1.2. O tratamento do espaço e qualidade do edifício 23
1.2.1. O programa e organização da escola 27
1.3. Escola Primária da Azurara: análise 36
1.3.1. O local 36
1.3.2. A evolução da construção da escola 40
1.4. A nova Escola Primária da Azurara 53
1.4.1. Desafios para o novo espaço da escola 55
1.4.2. Organização do espaço da escola 60
PARTE 2 – Contextualização dos sistemas construtivos atuais 78
2.1. Modos de construir e os seus problemas 80
2.1.1. Pré-Fabricação 83
2.2. E a sustentabilidade? 84
2.3. Economia Circular 90
2.4. A crescente necessidade de reciclagem e reutilização 94
2.4.1. Urban Mining 98
2.4.2. Design for Disassembly 100
2.5. Os 3 Ciclos: materiais, energia e resíduos 103
PARTE 3 – Estudo dos ciclos 106
3.1. Ciclo energético 106
3.1.1. Emissões de CO_2 108
3.1.2. Ciclo dos despedícios 112
3.1.3. Energias Renováveis 118
3.1.4. Circularidade do ciclo energético e solução 123
3.2. Ciclo dos materiais 127
3.2.1. "*Cradle to Cradle" e "Shearing Layers"* 129
3.2.2. Produção vs Reciclagem vs Reutilização 137
3.3. CIRCL, Amsterdão 141
PARTE 4 – Aplicação do modelo circular à Escola 148
4.1. A madeira como solução sustentável 148
4.1.1 Propriedades da madeira 149
4.1.2. Requisitos para a durabilidade do material 153

4.1.3. Madeira como material sustentável 155
4.1.4. Ciclo de vida da madeira e perspetivas de circularidade 159
4.2. O modelo circular na construção 163
4.2. A solução 165
4.2.1. O módulo proposto 167
4.3. Experiência construtiva: escola modular 171
Considerações finais 180

PARTE 1 - PROJETO DE UMA ESCOLA

> *"There can be few building types that have so poorly evolved during the past hundred years as schools. It was only on the closing decade of the 20th century that we saw deviations from a type that has been standard since the year dot. Only the form, particularly that of the exterior, moved with the times. How schools were organized was evidently unassailable."*[1]

A arquitetura depende em grande parte de 'como se faz', ao qual se acrescenta, contemporaneamente, 'com o quê'. A escolha dos materiais e a importância dos processos e ciclos de vida das construções e materiais constituem, neste momento, as grandes questões que envolvem a produção arquitetónica contemporânea.

Neste momento, a arquitetura aparenta estar imóvel ou, pelo menos, a progredir de forma bastante mais lenta do que o esperado. Assim sendo, o presente trabalho procura explorar, tendo como objeto de estudo a reabilitação da Escola Primária da Azurara, localizada na Rua Rita da Conceição Martins, em Azurara, Vila do Conde, uma ideia um método construtivo menos usual que coloca em evidência as preocupações da sociedade contemporânea.

As alterações climáticas, a gestão de recursos, a habitabilidade do planeta com o crescimento da população mundial são fatores essenciais para a equação da produção contemporânea a todos os níveis. O ser humano terá que saber viver de uma outra forma, na qual, seguramente, os níveis de conforto e relação com a natureza devem ser equacionados.

---

[1] Hertzberger, Herman, 2008, p. 11, Tradução livre da autora: "*Existem poucas tipologias de edifícios que evoluíram de forma tão inadequada durante os últimos cem anos como as escolas. Foi só na última década do século XX que vimos divergências de uma tipologia que tem sido padrão há uma eternidade. Apenas a forma, particularmente a forma exterior, se alterou com o passar do tempo. Como as escolas se organizavam era evidentemente indiscutível.*"

Com efeito, durante a curta estadia dos seres humanos no nosso planeta, já se viveram diversas fases, vários acontecimentos importantes e momentos chave na história da humanidade; existiram mais momentos de mudança e evolução do que podemos contar, desde guerras superadas, a desastres à escala mundial, doenças infecciosas que se propagaram em escassos dias pelo mundo inteiro, entre outros. Olhando apenas para o último século, apercebemo-nos das múltiplas mudanças que existiram, ligadas a diversas áreas diferentes, desde a tecnologia, a meios de transporte, formas de trabalhar, fontes de rendimentos, habitação etc .Contudo, após tudo isto superado, surge a importante questão sobre o que virá a seguir. O que poderemos esperar enfrentar nos próximos anos?

> *"Despite all the talk of pollution, global warming and climate change, most countries have yet to make any serious economic or political sacrifices to improve the situation. When the moment comes to choose between economic growth and ecological stability, politicians, CEOs and voters almost always prefer growth. In the twenty-first century, we shall have to do better if we are to avoid catastrophe."*[2]

A ideia de projetar uma escola utilizando os princípios ambientais considerados nesta dissertação surge, precisamente, da associação de duas situações atuais que apresentam a necessidade de uma "reforma", em conjunto com a possibilidade de utilização da metáfora do local de ensino para esta adaptação ao futuro que nos espera.

[2] Harari, Yuval, 2017, p. 17, Tradução livre da autora: "*Apesar de toda a conversa sobre poluição, aquecimento global e mudança climática, a maioria dos países ainda não fez nenhum sacrifício político ou económico sério para melhorar a situação. Quando chega o momento de escolher entre crescimento económico e estabilidade ecológica, políticos, CEOs e eleitores quase sempre preferem o crescimento. No século XXI, teremos que fazer melhor se quisermos evitar a catástrofe*"

1. A Escola como lugar de aprendizagem

A escola pela sua definição básica entende-se por lugar onde é passado conhecimento. Mas não só: pertença, identidade, espaço primeiro das emoções, da individualidade, do exterior etc...Tudo isto são sensações associadas ao lugar da escola que nos acompanham ao longo das nossas vidas.

Se pesquisarmos a definição de escola, concluimos que escola é um lugar onde se ministra o ensino de determinadas matérias seguindo planos sistemáticos conforme as idades dos alunos. O nome escola provém do latim "schola, -ae, ócio dedicado ao estudo, ocupação literária, lição, curso, lugar onde se ensina"[3]. Porém, esta definição fica aquém do verdadeiro significado que a escola tem para nós enquanto seres humanos: os anos que passamos na escola são, indiscutivelmente, dos mais marcantes, porque estamos a crescer, a aprender a pensar, a observar, a compreender o mundo à nossa volta; aprender os limites do nosso mundo individual, apendemos a falar, mas, também, a ouvir e a respeitar. Na sua essência, torna-se mais do que um lugar onde o conhecimento teórico é transmitido e transforma-se no local que nos introduz à experiência que nos forma como seres humanos capazes de viver em sociedade.

Assim, a escola, para além de ser o lugar onde se ministra o ensino, é o lugar onde nós sentimos que pertencemos, onde nos sentimos seguros e confortáveis, onde conhecemos os nossos primeiros amigos, onde aprendemos a partilhar e a conviver com os outros, o lugar onde vamos passar uma grande parte das nossas vidas, comummente vista como a melhor fase das mesmas. Uma escola é, então, mais do que um conjunto de salas de aula pouco iluminadas, frias e neutras, onde um conjunto de alunos se senta oposto ao professor e escuta em silêncio, sem questionar, o conhecimento que este lhes transmite.

[3] "escola", in Dicionário Priberam da Língua Portuguesa, 2008-2021, https://dicionario.priberam.org/escola [consultado em 26-05-2021]



Figura 1 - Atividades em grupo na sala de aula



Figura 2 - Utilização do espaço exterior para atividades educativas

1.1. Projetos de escolas do séc. XX e seus problemas

Em vários países no mundo, até ao final do século XX, a construção de escolas, parece ter sempre como fator comum um foco especial na sala de aula. Após a leitura de várias obras acerca do tema, salienta-se a importância dada às salas de aula para que estas fossem protagonistas no espaço da escola, para cumprir todos os requisitos que eram pedidos desses espaços, desde iluminação suficiente à regularidade da planta que pemitia um controlo absoluto por parte do professor, possibilitanto a execução das suas funções. Assim, os projetos desenvolviam-se em volta dessa temática da sala de aula como local exclusivo à ministração do ensino, de forma a que os outros espaços servissem estas, sendo tratados como espaços secundários, como acontecia com os corredores, por exemplo.

Ao longo dos anos, o tema da escola sempre deteve uma grande importância e foi estudado e abordado de forma diferente ao longo de cada novo movimento social, político ou artístico da nossa história. Mas, mesmo assim, todas essas abordagens e integrações de novos conceitos nos projetos das escolas ao longo do século XX, ficaram aquém do desejado no que diz respeito à busca pelo espaço ideal para a escola. As preocupaçoes do modernismo, por exemplo, prenderam-se mais com o tratamento da luz natural e a utilização do edifício da escola como um edifício icónico na cidade através do trabalho na sua aparência exterior, deixando em segundo plano o tratamento espacial e a sua adequação às necessidades dos alunos de forma a tornar o espaço da escola um que fosse, realmente, capaz de cumprir as suas funções de passar conhecimento e, ao mesmo tempo, proporcionar a experiência mais agradável possível aos alunos.

> *"It is striking that even modern architecture scarcely responded to this development, though this "heroic" style professed to be the face of social reform. Modernist architects were most concerned instead with*

larger windows and greater transparency, chiefly oriented to the world outside"[4]

Apesar de a aparência do edifício mudar ao longo dos anos, a essência da organização interior manteve-se intocada ao longo de décadas.

"There is no better example of architecture seen as largely a question of exteriors than schools. Their internal arrangement has always been the same: classrooms as opaque boxes off long straight corridors purely for circulation and for hanging coats. And though new ideas on education emerged, unrelievedly calling for greater independence among pupils and expressing increasing doubt about traditional teacher-fronted lessons, these never resulted in breaking down the classroom as a self-contained bastion."[5]

Tal como podemos deduzir das palavras de Hertzberger, as alterações nos projetos escolares foram maioritariamente motivadas pela vontade de melhorar a sua aparência exterior, não considerando a organização interior como tendo tanta importância como a forma do edifício e o seu alçado.

Contudo, o espaço da sala de aula, apesar de ser visto como o único protagonista funcional nos projetos das escolas, e de certamente ter sido alvo de grandes estudos para responder às necessidades dos alunos do século XIX, alterou-se muito pouco desde aí. A sala de aula comum não passa de quatro paredes, com pequenas janelas em apenas uma delas, normalmente opostas à porta, que dão lugar a um espaço retangular ou quadrado,

[4] Hertzberger, Herman, 2008, p. 13, tradução livre da autora: "É chocante que até a arquitetura moderna mal respondeu a este desenvolvimento, embora este estilo "heroico" professasse ser a cara da reforma social. Arquitetos modernistas estavam mais preocupados com janelas maiores e maior transparência, maioritariamente orientada para o mundo exterior."

[5] Hertzberger, Herman, 2008, p. 13, tradução livre da autora: "Não existe melhor exemplo de arquitetura vista maioritariamente como uma questão de exteriores do que as escolas. A sua organização interna sempre foi a mesma: salas de aula como caixas opacas num corredor longo e linear utilizado puramente para circulação e para pendurar casacos. E, apesar de novas ideias quanto à educação surgirem, clamando incessantemente por uma maior independência entre os alunos e expressando dúvidas crescentes sobre as aulas tradicionais dirigidas por professores, isso nunca resultou na destruição da sala de aula como um bastião independente."

geralmente pouco iluminado, onde os alunos se sentam em fileiras de mesas, encarando o professor, para que este tenha a melhor visibilidade possível sobre todos os alunos enquanto lhes passa conhecimento. Será este espaço – um espaço de controlo absoluto por parte de um dos lados, onde não há lugar para discussão e partilha de opiniões – o mais adequado para o ensino das crianças do século XXI? Certamente que não, essas salas de aula têm por base os valores do século XIX, associados ao respeito, ordem e hierarquia. Hoje, contudo, os valores são outros: grupo, partilha, autonomia, originalidade, etc…

As condições adequadas a cada tarefa são o que nos permite atingir a máxima produtividade num espaço. Assim, cada espaço deve ser adequado ao uso que é pretendido do mesmo, sendo que, no caso das escolas pela enorme diversidade de atividades que devem comportar, sendo que cada uma requer diferentes modos de utilização do espaço, devem ser favorecidas as salas polivalentes, com a possibilidade de alteração completa do espaço, utilizando painéis móveis, diferentes disposições de luz artificial, entre outros.



Figura 3- Uma aula no século XX, o Professor como figura principal



Figura 4 - Um sistema de ensino dogmático

É importante compreender que as necessidades das crianças mudam de geração em geração, e são estas necessidades que devem ditar a forma como pensamos o espaço de uma sala de aula. Então, sem adaptar as condições da sala de aula às necessidades da geração atual, não podemos exigir o máximo de produtividade dos seus utilizadores.
Johannes Duiker no seu trabalho intitulado "A escola saudável para a criança saudável" afirmou:

> *"Banished between four walls in overfull classes, bound for hours on end to subject matter that is often not understood, often into the evening in poor light, under more or less rigid discipline – this is how children spend their young lives of joy and gaiety. That which the adult casts off when not coerced by necessity and life's cares, is what the child must bear."*[6]

A escola é mais do que um conjunto de salas de aula, é um edifício completo formado por uma série de espaços coletivos que devem ter uma hierarquia claramente definida, dando lugar a uma sucessão de diferentes espaços com diferentes funções, sempre com o objetivo de responder às necessidades dos alunos.

> *"(Social) space is not a thing among other things, nor a product among other products: rather subsumes things produced and encompasses their interrelationships in their coexistence and simultaneity - their (relative) order and/or (relative) disorder. It is the outcome of a sequence and set of operations, and thus cannot be -reduced to the rank of a simple object. At the same time there is nothing imagined, unreal or 'ideal' about it as compared, for example, with science, representations, ideas or dreams. Itself the outcome of past actions, social space is what permits fresh actions to occur ... while suggesting*

[6] Duiker, Johannes, 1927, apud Hertzberger, Herman, 2008, p. 14, tradução livre da autora: "Desterrados entre quatro paredes em aulas sobrelotadas, presos durante horas a fio com assuntos que muitas vezes não são compreendidos, muitas vezes à noite com pouca luz, sob disciplina que pode ser mais ou menos rígida - é assim que as crianças passam suas vidas de alegria e prazer. Aquilo que o adulto rejeita quando não é coagido pela necessidade e pelos cuidados da vida, é o que a criança deve suportar."

others and prohibiting yet others. Among these actions, some serve production, others consumption (i.e. the enjoyment of the fruits of production). Social space implies a great diversity of knowledge."[7]

Sendo a escola um espaço social, de partilha e crescimento, cada espaço deve ter a sua função, existindo ao mesmo tempo que todos os outros, completando os outros, um conjunto de espaços individuais que dão lugar a um conjunto coerente e completo de espaços que respondem a todas as diferentes necessidades do programa. Então, as salas de aula, são complementadas por corredores, refeitório, zonas de lazer, áreas dedicadas a atividades calmas e silenciosas, outras utilizadas para atividades barulhentas, zonas que promovem a independência das crianças e outras que incentivam a partilha e a convivência entre elas.

Assim, a qualidade espacial de cada espaço diferenciado e a consequente sucessão de espaços e qualidade das ligações espaciais e, também, a ligação de cada um desses espaços e da sua organização com o sistema de ensino aplicado incluindo a pertinência desse sistema, são os grandes fatores a ter em consideração quando analisamos o projeto de uma escola.

"The designer of schools must inevitably engage with the dialects of modern education. We are still building schools for education, where pupils are taught what society expects of them and what they have to know to be able to do to stand firm and develop in the society in which they are rooted. It is also about granting space for learning in a broader sense; it's not just a question of satisfying

[7] Levebvre, Henri, 1991, p. 73, tradução livre da autora: "O espaço (social) não é uma coisa entre outras coisas, nem um produto entre outros produtos: antes, subsume as coisas produzidas e engloba suas inter-relações na sua coexistência e simultaneidade – na sua ordem (relativa) e / ou desordem (relativa). É o resultado de uma sequência e conjunto de operações e, portanto, não pode ser reduzido à categoria de um objeto simples. Ao mesmo tempo, não há nada imaginário, irreal ou "ideal" sobre o espaço social quando comparado, por exemplo, com a ciência, representações, ideias ou sonhos. Sendo ele mesmo o resultado de ações passadas, o espaço social é o que permite que novas ações ocorram... enquanto sugere outras e proíbe outras ainda. De entre essas ações, algumas servem à produção, outras ao consumo (ou seja, o gozo dos frutos da produção). O espaço social implica uma grande diversidade de conhecimentos."

and thus adapting to the requirements made of you but of passing comment, not just accepting but thinking for yourself. Not just adapting to the world, then, but getting the world to adapt to you, to become suited to you."[8]

A típica escola portuguesa é constituída por um conjunto de salas retangulares, sem qualquer diferenciação de espaços, organizadas em filas voltadas para os professores, que são acedidas através de longos corredores monótonos que não têm qualquer finalidade para além de servirem como local de passagem dos alunos que se dirigem para as suas salas. Para além do conjunto de salas iguais e dos corredores monótonos, as escolas apresentam, por vezes, espaços como uma biblioteca e uma cantina, espaços estes que são quase sempre completamente definidos entre 4 paredes e não dão qualquer possibilidade de expansão para o exterior ou adaptações a outras atividades que não as previstas no programa. Por último, temos o espaço exterior de recreio que, apesar de ser pensado de forma a permitir as mais diversas atividades, não permite a mais importante na maioria dos casos: a ligação entre interior e exterior. Tendo em conta que as crianças aprendem de forma sensorial, uma criança deve ter liberdade de aprender com o mundo que a rodeia, a ligação entre a sala de aula e o exterior, por exemplo, é bastante importante, as crianças devem aprender tanto no interior como no exterior, fator que não é tido em conta no desenho dos espaços exteriores das escolas atuais.

A compartimentação dos espaços nas escolas é, então, o maior problema que observamos. A falta de comunicação entre todos os espaços,

[8] Hertzberger, Herman, 2008, p. 68, tradução livre da autora: "O designer das escolas deve-se inevitavelmente envolver com os dialetos da educação moderna. Ainda estamos a construir escolas de educação, onde os alunos aprendem o que a sociedade espera deles e o que precisam de saber para se manterem firmes e evoluírem na sociedade em que estão enraizados. Trata-se também de conceder espaço de aprendizagem num sentido mais amplo; não é apenas uma questão de satisfazer e, portanto, de nos adaptarmos aos requisitos feitos a nós baseados em comentários, não é apenas aceitar, mas pensar por nós mesmos. Não apenas adaptando-se ao mundo, então, mas fazendo com que o mundo se adapte a nós, se torne adequado a nós."

salas de aula, corredores, zonas de lazer quebra completamente a dinâmica que deveria existir num ambiente onde o ensino é a prioridade.

> *"Schools must be equipped for two fundamentally opposing conditions: on the one hand you should be able to concentrate (pupils' powers of concentration are generally not their strongest quality) and on the other an open system should be aspired to, one where you are together with the others and there is much to see and do, where you can explore what the world has to offer and where your horizons are widened and your curiosity aroused."*[9]

O ser humano aprende de forma continua e, por esse motivo, não devem existir estas barreiras entre área de ensino, área de comer, área de leitura, área de recreio, etc. Todos os espaços devem estar conectados e permitir que o processo de aprendizagem seja uma jornada continua pela escola, um percurso dinâmico com a possibilidade de integração das mais diversas atividades. Essa seria a forma mais eficaz de garantir a produtividade dos alunos e a eficiência dos métodos de ensino.

[9] Hertzberger, Herman, 2008, p. 80, tradução livre da autora: "As escolas devem estar equipadas para duas condições fundamentalmente opostas: por um lado deve ser possível concentrarmo-nos (o poder de concentração dos pupilos não é a sua melhor qualidade) e por outro lado, um sistema aberto devia ser desejado, um sistema onde estamos em conjunto com os outros e existem imensas coisas para ver e para fazer, onde podemos explorar o que o mundo tem para oferecer e onde os nossos horizontes são alargados e a curiosidade despertada."



Figura 5 - Utilização dos corredores como prolongamento da sala de aula, Monchy School, Arnhem



Figura 6 - Zona de estudo fora da sala de aula, Arnhem

> *"All productive activity is defined less by invariable or constant factors than by the incessant to-and-fro between temporality (succession, concatenation) and spatiality (simultaneity, synchronicity). This form is inseparable from orientation towards a goal - and thus also from functionality (the end and meaning of the action, the energy utilized for the satisfaction of a 'need') and from the structure set in motion (know-how, skills, gestures and co-operation in work, etc.). The formal relationships which allow separate actions to form a coherent whole cannot be detached from the material preconditions of individual and collective activity; and this holds true whether the aim is to move a rock, to hunt game, or to make a simple or complex object."*[10]

Assim, pode concluir-se que divisão literal e completa dos espaços das escolas é o maior problema observado nos edifícios da maior parte das escolas portuguesas em funcionamento. A falta de uma ligação e até "contaminação" entre os espaços e as suas funções, que permita uma maior liberdade de circulação e utilização dos mesmos por parte dos alunos, tornou-se na maior barreira que impede a evolução das escolas para um edifício mais ajustado às necessidades atuais.

[10] Levebvre, Henri, 1991, p. 71, tradução livre da autora: "*Toda atividade produtiva é definida menos por fatores invariáveis ou constantes do que pelo incessante vaivém entre temporalidade (sucessão, concatenação) e espacialidade (simultaneidade, sincronicidade). Esta forma é indissociável da orientação para um objetivo - e, portanto, também da funcionalidade (o fim e sentido da ação, a energia utilizada para a satisfação de uma 'necessidade') e da estrutura posta em movimento (saber-fazer, habilidades gestos e cooperação no trabalho, etc.). As relações formais que permitem que ações separadas formem um todo coerente não podem ser separadas das pré-condições materiais da atividade individual e coletiva; e isso é verdadeiro quer o objetivo seja mover uma pedra, caçar ou fazer um objeto simples ou complexo.*"

1.2. O tratamento do espaço e qualidade do edifício

> *"If there is one area where making space presents a special challenge for architecture, it is in designing schools."*[11]

Ao longo da história, a resposta ao programa da sala de aula tornou-se mecanizada: uns retângulos, em planta e em corte, sem variações espaciais no seu interior – não existem quaisquer diferenciações de espaço –, um conjunto de mesas organizadas em filas viradas para o quadro que se localiza na parede mais próxima da mesa do professor.

No princípio, forma como as salas de aula foram desenhadas, faziam todo o sentido, tendo em conta o objetivo daquele espaço e as circunstâncias exteriores da sociedade daquele tempo, criando um modelo que naquela altura era o ideal, mas com o passar do tempo não se adaptou às mudanças de cada geração, tornando-se num modelo "velho de séculos" – expressão utilizada no livro A Escola Ideal de Rui Braz, Daniela Ladiana e Nuno Lacerda. Isto é, há cem anos, por exemplo, o grande objetivo da escola era passar conhecimento, educação e maneiras aos alunos, da forma mais eficaz possível. Não deviam existir distrações nem possibilidades de questionar o que lhes era ensinado. O ensino era baseado no dogmatismo, os alunos eram incentivados a aceitar e simplesmente decorar o que lhes era dito no interior da sala de aula. Para além disso, a postura das crianças na escola e a sua utilização do espaço era completamente diferente do que vemos hoje em dia. As poucas crianças afortunadas o suficiente para frequentarem a escola, passavam apenas pouco tempo no local a aprender apenas o suficiente para poderem cumprir o seu trabalho ou para terem a possibilidade de seguir os seus estudos, enquanto o restante tempo era habitualmente passado em casa a cumprir os seus deveres de trabalho na família. Assim, a melhor forma de garantir isso era, precisamente, garantindo ao professor uma posição de

[11] Hertzberger, Herman, 2008, p. 20, tradução livre da autora: "Se existe uma área em que a produção de espaço apresenta um desafio especial para a arquitetura, é no desenho das escolas."

domínio completo da sala, onde podia controlar todos os alunos que o encaravam, e reduzir a existência de elementos que se destacassem, como áreas diferenciadas no interior das salas de aula ou janelas, por exemplo.

> *"Classrooms have traditionally been the principal building stones of schools. All over the world, children have been brought together in classrooms since the earliest times. The teacher at the blackboard passes on knowledge. So, the spatial conditions of the classrooms should mainly serve to aid the pupils' concentration, which should be distracted as little as possible, while the teacher should have the best possible overview."*[12]

Assim, é importante garantir a adaptação das condições das salas de aula às necessidades dos alunos. Isto é, não estamos a lidar com o mesmo tipo de alunos, de objetivos, nem de conhecimento, então, como podemos sequer ponderar que é possível cumprir estes novos objetivos propostos utilizando os mesmos meios e espaços de ensino?

Atualmente, as crianças crescem rodeadas de tecnologia, a maior parte sabe mexer num telemóvel antes sequer de aprender a ler e a escrever. Cada vez são mais comuns os filhos únicos, e com o passar do tempo nota-se que as crianças aparentam ter mais dificuldades em integrar-se na sociedade do que em aprender as matérias teóricas da escola. Estas pequenas mudanças provocadas pela evolução natural do ser humano requerem atenção da parte de quem projeta uma escola.

[12] Hertzberger, Herman, 2008, p. 23, tradução livre da autora: "As salas de aula têm sido tradicionalmente as principais fundações dos edifícios das escolas. Em todo o mundo, crianças são agrupadas em salas de aula desde os primórdios do tempo. O professor, no quadro preto, passa o conhecimento. Então, as condições espaciais das salas de aula devem servir maioritariamente para ajudar na concentração dos pupilos, que deviam ser distraídos o mínimo possível, enquanto o professor deve ter a melhor visão geral possível."



Figura 7 - Introdução das tecnologias no sistema educativo



Figura 8 - Diversidade de atividades didáticas proporcionadas pela utilização de novos sistemas tecnológicos

Porém, a adaptação a estas novas circunstâncias, as novas necessidades dos alunos, requerem tanto alterações no sistema de ensino, como no edifício escolar tipo que nós conhecemos. As alterações no sistema de ensino requerem novos espaços e, mais ainda, um diferente tratamento dos espaços que já existem.

Assim, serão em seguida analisados com mais detalhe os espaços necessários para possibilitar a construção de uma escola que permita alcançar os objetivos dos alunos e do sistema de ensino, e a forma como os mesmos devem ser tratados e dispostos para que seja possível garantir o melhor funcionamento da escola nos dias que correm.

1.2.1. O programa e organização da escola

Passamos tanto tempo na escola como em casa enquanto crescemos. Assim sendo, é indispensável que a escola nos proporcione esse sentimento de pertença, que coloque ao nosso dispor um conjunto de espaços que garantam o cumprimento de todas as nossas necessidades, tanto a nível do ensino e aprendizagem, como das necessidades quotidianas.

Assim, o processo de projetar deve utilizar una análise das necessidades dos alunos e professores, os "clientes" do projeto. Isto permitir-nos-á definir um programa para o projeto, será possível determinar quais os espaços essenciais à escola. Em simultâneo, o programa será trabalhado de forma a compreender como se deve organizar para que os alunos possam tirar o máximo proveito da escola.

Em primeiro lugar vêm as salas de aula, como já é habitual. Sendo que esta dissertação se baseia num projeto de uma escola primária, tendo em consideração o número não muito elevado de alunos, serão necessárias 4 salas de aula, uma para cada ano é suficiente. As salas de aula, contudo, são também as primeiras a sofrer alterações.

O Método de Montessori, uma tipologia alternativa à tipologia em questão, destaca-se por se focar no desenvolvimento da criança, tanto intelectual como social, não apenas em ensinar forçosamente um programa escolar sistematizado, passa por tirar o máximo proveito da 'mente absorvente' de que Montessori fala. Aqui, as salas de aula devem ser dinâmicas e compartimentadas. Deve existir uma grande flexibilidade do espaço de forma a garantir a sua adaptação às diferentes atividades que fazem parte do plano curricular das escolas, que devem incluir desde lições teóricas, a métodos mais didáticos que potenciem a aprendizagem sensorial das crianças, com grande foco no movimento através dos espaços. "Mental development must be connected with movement and be dependent on it. It is vital that educational theory and practice should become informed by this

idea."[13] Para garantir isso, é necessário pensar numa forma de dividir o espaço que não crie barreiras, pois, para além do movimento, também a convivência e partilha de conhecimento e opiniões são bastante valorizadas, uma forma de separar as diferentes atividades que acontecem no interior do espaço sem romper a unidade do grupo. "The more articulated or modelled a space is, the more possibilities for more differentiated learning it has to offer."[14]

O papel do professor neste sistema altera-se: deixa de ser uma figura de autoridade absoluta que controla tudo o que acontece e passa a ser apenas um mentor, uma pessoa que acompanha o desenvolvimento autónomo da criança oferecendo-lhe as ferramentas que necessita para cada ocasião. Agora são as crianças que têm maior poder de decisão, deve-lhes ser permitido escolherem o que preferem aprender e de que forma querem aprender; podem decidir sentar-se onde quiserem, não existem lugares fixos, podem optar por trabalhar em grupo ou individualmente, etc.

Para concretizar estas ideias seria necessário repensar a sala de aula em conjunto com todos os outros espaços. A sala de aula deve organizar-se de forma flexível, permitindo várias disposições para o mobiliário, mantendo a sua funcionalidade ao longo de diferentes atividades. Essa flexibilidade deve permitir, também, a compartimentação de espaços quando necessário, ou a total abertura que dê aso ao movimento e à partilha e convívio, garantindo sempre uma grande diversidade de espaços, independentemente da forma como estão a ser utilizados.

[13] Montessori, Maria, 1995, p. 142, tradução livre da autora: "O desenvolvimento mental deve estar ligado ao movimento e depender deste. É vital que as teorias e práticas educativas sejam conhecedoras desta ideia."

[14] Hertzberger, Herman, 2008, p. 35, tradução livre do original: "Quanto mais articulado e modulado um espaço é, mais são as possibilidades para uma aprendizagem mais diversificada que este tem para oferecer"



Figura 9 - Permeabilidade dos espaços da escola, Extended Schools, Arnhem

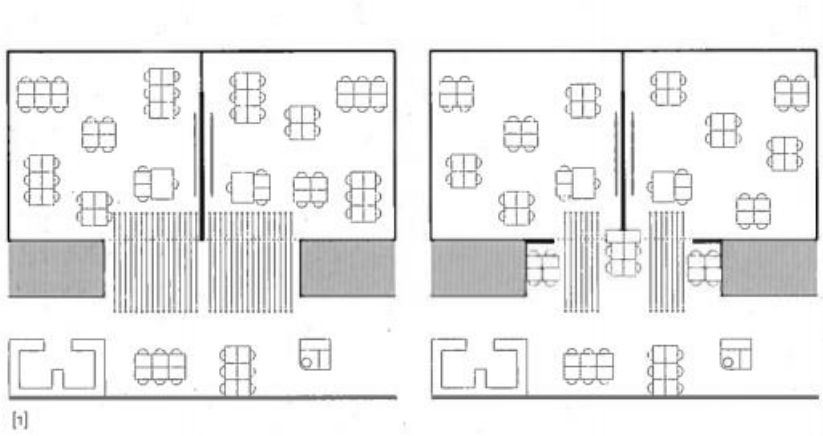


Figura 10 - Planta ilustrativa da ligação entre os espaços da sala de aula e do corredor, Extended Schools, Arnhem

> *"Wherever traditional classroom-based education is not given exclusively and so the teacher is not the constant focus of attention, the need exists for nooks and niches to work in, more or less screened-off or shielded places where one or more pupils can concentrate on their own work. This was mainly the case in schools with alternative pedagogy with their exclusive ideas about education, where children were encouraged to work independently."*[15]

Ainda em relação à sala de aula, a abertura deve estender-se ao exterior. A luz natural e contacto visual com o exterior são importantes, porém, num sistema de aprendizagem por métodos sensoriais e interativos é fulcral que as crianças tenham acesso ao exterior, pois o espaço exterior permite a adição de mais uma enorme quantidade de atividades didáticas.

A ligação da sala de aula com o corredor passa a funcionar como de ponto de variação na linearidade do corredor, a transição dos espaços pode gerar áreas de abertura no espaço do corredor, alterando o seu ritmo, espaços esses que podem ser nichos para estudo individual, por exemplo, ou áreas maiores que permitam o estudo autónomo ou em grupo fora da sala de aula, mas sempre na proximidade do professor.

As diferentes atividades que acontecem nesta área, o constante movimento de alunos a passarem, geram uma dinâmica diferente da que existe no interior da sala, promovendo a cooperação e convivência com alunos de outros anos. A sala de aula é o palco central das matérias teóricas, mas é importante que existam estas tensões entre espaços, estas variações na dinâmica do edifício para despertar o interesse dos alunos e promover a aprendizagem sensorial.

---

[15] Hertzberger, Herman, 2008, p. 24, tradução livre da autora: "Em todos os lugares onde a educação baseada na sala de aula não é exclusiva e, então, o professor não é o constante centro das atenções, existe a necessidade de nichos e recantos para trabalhar, lugares mais ou menos blindados ou protegidos onde um ou mais pupilos se podem concentrar no seu próprio trabalho. Este era o caso principalmente em escolas com pedagogias alternativas, com as suas ideias exclusivas sobre a educação, onde as crianças eram encorajadas a trabalhar de forma independente."

> *"So schools must provide "nests", places with sufficient shelter, tending towards a centre and with dimensions that permit individuals but also groups of varying size to immerse themselves in their work. And then there is the surrounding space which arouses your curiosity and incites confrontation."*[16]

É fundamental que exista comunicação entre os vários espaços para melhorar a sua qualidade individual e a do edifício total, os espaços de sala de aula não podem ser vistos como espaços fechados e completamente independentes, toda a escola depende da fluidez e contaminação dos espaços entre si. "Visible boundaries, such as walls or enclosures in general, give rise for their part to an appearance of separation between spaces where in fact what exists is an ambiguous continuity."[17]

Assim, começam a integrar-se outras áreas que não a sala de aula em atividades educativas. Deixa de existir a exclusividade das salas de aula como locais de aprendizagem. A partir do momento em que se abre a sala de aula para o corredor e para o espaço de recreio, começa a haver uma continuidade do espaço de ensino que permite uma aprendizagem constante. Todas as atividades podem ser utilizadas como material educativo.

> *"As a result, the partition walls between classrooms and corridors became more open, raising the claim made by each class on a portion of the corridor, which gradually came to be regarded as part of their domain. In time, the centre of classroom teaching and learning activity shifted to the entrails of the building.*
> *So classrooms no longer acted as bastions with just windows to the outside world and turning away from the corridors, but instead opened up to them and even encroached on them. This changed*

[16]Hertzberger, Herman, 2008, p. 35, tradução livre da autora: "Então, as escolas devem providenciar "ninhos", áreas suficientemente abrigadas, que tendam para um centro e com dimensões que permitam aos indivíduos, mas, também, a grupos de variadas dimensões que se engolfem no seu trabalho. E, depois, existe o espaço circundante, que desperta a sua curiosidade e incita confronto."

[17] Levebvre, Henri, 1991, p. 87, tradução da autora: "Limites visíveis, como paredes ou invólucros em geral, dão origem, por sua vez, a uma aparência de separação entre espaços onde de fato o que existe é uma continuidade ambígua."

the nature of these cavernous, chilly ancillary spaces, which were usually too long and too tall and often dimly lit, into living and working space theoretically equal in quality to the classrooms themselves and deserving of daylight and sun."[18]

[18] Hertzberger, Herman, 2008, p. 36 e 37, tradução livre da autora: "Como resultado, as paredes divisórias entre salas de aula e corredores tornaram-se mais abertas, aumentando a reivindicação feita por cada turma numa parte do corredor, que gradualmente passou a ser considerada como parte de seu domínio. Com o tempo, o centro da atividade de ensino e aprendizagem em sala de aula mudou para as entranhas do prédio.

Assim, as salas de aula já não funcionavam como bastiões com apenas janelas para o mundo exterior e afastando-se dos corredores, mas abrindo-se para os mesmos e até mesmo invadindo-os. Isso mudou a natureza destes espaços auxiliares cavernosos e frios, que geralmente eram muito longos e muito altos e muitas vezes mal iluminados, para um espaço de vida e de trabalho teoricamente igual em qualidade às próprias salas de aula e merecedor de luz do dia e sol."



Figura 11- Nichos de trabalho integrados no corredor pelo prolongamento do parapeito da janela, Montessori School, Delft

Esta invasão dos corredores por parte dos alunos, a possibilidade que têm de utilizar do espaço dos mesmos dando a estas zonas que antes seriam apenas um local de passagem, diferentes motivos para parar e utilizar o espaço, transforma o que antes seria apenas espaço de circulação em área útil à aprendizagem. Esta apropriação do que seria espaço público, transformando-o numa zona que teria a sua parte de semi-privado, a forma como os diferentes nichos ou áreas de estudo ao longo do corredor nos mostram diferentes pessoas e as mais variadas atividades, é o ponto mais importante na dissolução da ideia de compartimentação da escola.

Tal como acontece com os corredores, também os outros espaços mais públicos das escolas necessitam uma reformulação que lhes permita adaptarem-se a esta nova dinâmica contrastes e movimentos constantes geradas pela diversidade encontrada ao longo do corredor. Espaços como a cantina e a biblioteca devem tirar partido das suas dimensões e permitir uma maior polivalência na sua utilização, e participar nesta nova dinâmica de contaminação de funções entre os espaços.

Em suma, a escola é uma experiência conjunta, de partilha de conhecimento entre professores e alunos de forma orgânica, onde todas as discussões têm o seu lugar e o mais importante é aprender a questionar e analisar cada pedaço de informação que nos é transmitido. Para permitir essa mudança no sistema de ensino é necessário adaptar também o edifício da escola, levando a novas ideias de utilização e tratamento dos espaços que o compõem.

"In spatial terms, it is essential that the cramped patterns of thought still adhered to by school-builders should be abandoned in favour of more varied, more changeable and, most of all, more open space forms that incite greater concentration but also greater exchange, that give a more expansive view of the world. And it takes a lot more to achieve this than just demolishing walls, leaving large open areas where everyone is a bother to everyone else."[19]

[19] Hertzberger, Herman, 2008, p. 69, tradução livre do original: "Em termos espaciais, é essencial que os padrões restritos ainda aderidos por parte dos construtores de escolas sejam abandonados a favor de formas mais variadas, mais mutáveis e, acima de tudo, mais abertas, que incitem uma maior concentração, mas também maiores trocas, que dão uma visão mais alargada do mundo. E é preciso muito mais do que simplesmente demolir paredes para alcançar isso, deixando grandes áreas abertas onde toda a gente perturba toda a gente."

1.3. Escola Primária da Azurara: análise

1.3.1. O local

A escola localiza-se na freguesia da Azurara, uma freguesia do concelho de Vila do Conde, distrito do Porto. Esta freguesia, localizada junto ao mar, é das mais desenvolvidas do concelho, devido à sua proximidade com o centro da cidade de Vila do Conde. O Rio Ave marca a fronteira entre as duas, existindo uma ponte de ligação. Do lado oposto localiza-se a freguesia Árvore, detentora de maior densidade populacional.

No passado, Azurara tornou-se bastante conhecida pelo seu estaleiro, onde barcos, naus e caravelas foram produzidos e utilizados na jornada dos descobrimentos de Portugal. Vila do Conde tornou-se num dos mais importantes portos marítimos portugueses, sendo o estaleiro ainda hoje uma referência a nível nacional.

A agricultura e a pecuária são outras atividades que ocupam a população de Vila do Conde. Por este motivo, existem grandes áreas agrícolas nas suas freguesias, onde a densidade populacional é reduzida, tal como verificamos, por exemplo, na zona da escola em questão.

A freguesia é atravessada pela Estrada Nacional 13, um dos principais itinerários rodoviários do Norte, que liga a cidade do Porto a Valença. A EN13 é a principal rua da freguesia, a que tem mais movimento e concentração de serviços, como pequenas lojas, bombas de gasolina, etc. Para além disso, a linha B do metro do Porto, que liga o centro da cidade à Póvoa de Varzim, tem, também, uma estação em Azurara.

Ao nível de serviços de primeira necessidade, como serviços de saúde e supermercados, todos se concentram na capital do município. A freguesia de Azurara apresenta apenas pequenas lojas de venda de bens alimentares, e o hospital e centro de saúde mais próximos localizam-se no centro de Vila do Conde, assim como os supermercados. Existe um complexo desportivo para a prática de futsal e um parque infantil. os edifícios excecionais desta freguesia são maioritariamente igrejas ou edifícios religiosos.



Figura 12 - Azurara



Figura 13 - Percurso da EN13 através da freguesia de Azurara, até Vila do Conde

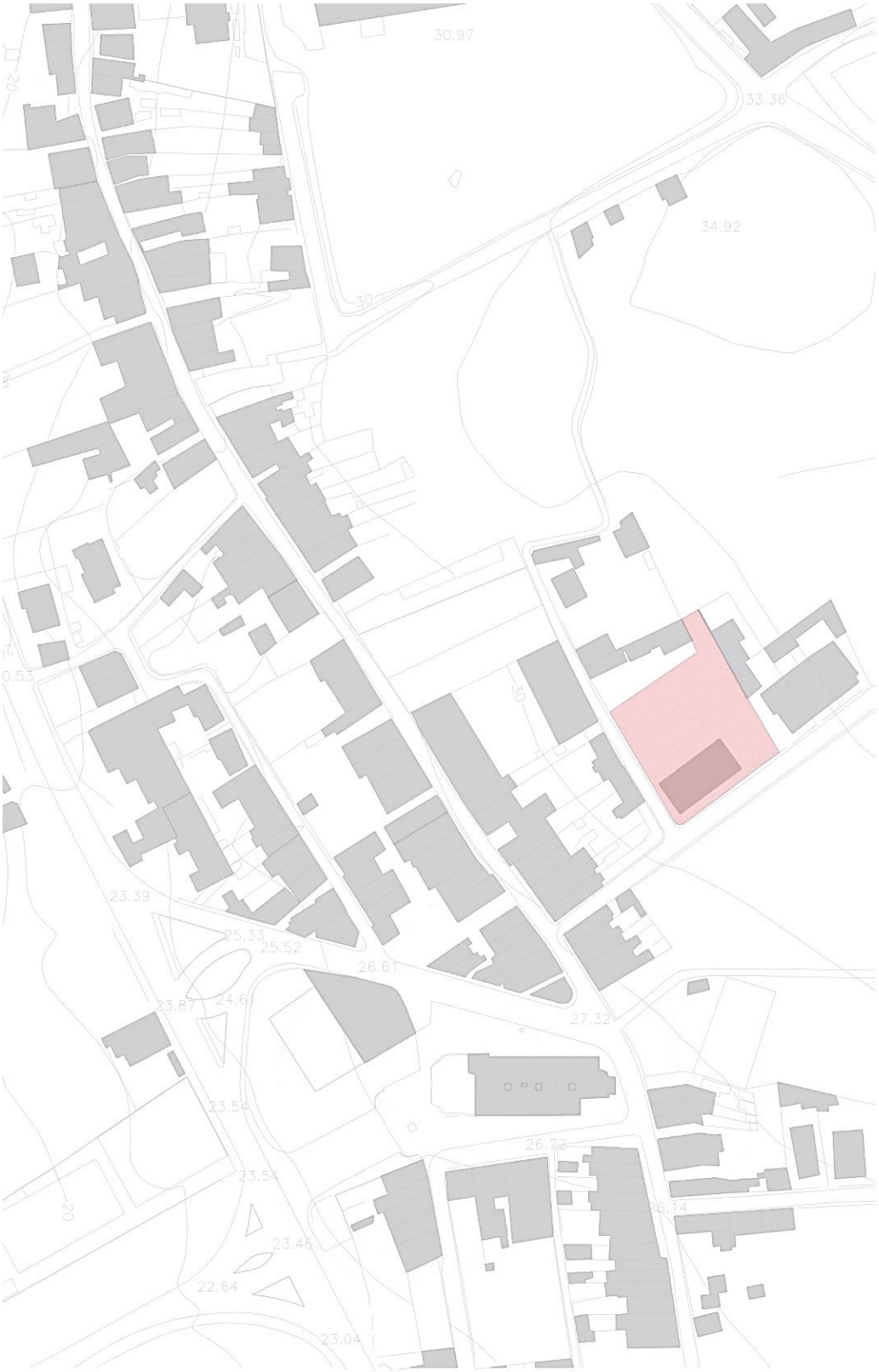


Figura 14 – Planta de Azurara, escala 1:2000

Do património da cidade fazem parte a Azenha Quinhentista do Rio Ave, o Farol da Azurara, o Pelourinho, um Cruzeiro e um conjunto de igrejas e ermidas.

A freguesia tem apenas uma escola Primária, construída em 1946.

A escola primária da Azurara tornou-se num marco para a aldeia, um edifício excecional que se destacava de tudo o resto, tanto pelas suas dimensões como pelo alçado. A localização central, bastante próxima da Igreja Matriz da Azurara, torna evidente a importância deste edifício no contexto da aldeia. Ao longo dos anos foi perdendo protagonismo na malha da vila e manteve-se sempre como um edifício afastado da zona de maior movimento que era a área ligada ao atravessamento da EN13.

Assim, a área onde se localiza a escola atual, manteve-se bastante rural, rodeada por terrenos agrícolas, com um reduzido número de moradias nas suas imediações.

1.3.2. A evolução da construção da escola

Numa primeira fase, duas salas, para a sexo masculino, com um alpendre na zona traseira compõem o edifício escolar. Este edifício apresentava já uma ideia de modulação em que cada módulo era composto por uma sala e um vestíbulo que fazia a ligação entre a primeira e o exterior. Existe um eixo de simetria central e existem, assim, dois módulos espelhados de uma sala mais um vestíbulo. O alpendre no alçado posterior apresentava-se como a zona exterior coberta onde as crianças podiam ter o seu espaço de recreio mesmo em dias chuvosos e, também, como a área onde os serviços não ligados ao ensino se localizavam, nomeadamente as casas de banho e, possivelmente, uma zona de arrumos.

A simetria do módulo em planta verifica-se, também, no alçado principal. Assim, neste alçado existem duas portas de igual importância, uma no extremo esquerdo e outra no extremo direito do alçado, com 6 grandes vãos de janela, 3 para cada sala, com uma linha de simetria central facilmente identificável.

Pela informação encontrada no arquivo municipal, nomeadamente documentos com autorizações de construção e orçamentos de obras, é possível afirmar que este edifício terá sido construído com base na tipologia da região do Douro[20] para escolas primárias.

A abertura de 3 grandes vãos na sala de aula e a simetria entre os módulos também se apresentam como características desta tipologia, no seu modelo de escola de dois módulos para ambos os sexos. Mas, apenas estas características não seriam suficientes para eliminar a possibilidade de pertencer a outras tipologias que existiram anteriormente, como a tipologia de Adães Bermudes, por exemplo, que era bastante comum no princípio do século XX. O detalhe que integra esta escola na Tipologia da Região do Douro é, precisamente, o alpendre na zona posterior da escola. A existência de um

[20] Tipologia da região do Douro, Plano dos Centenários, apud. Gaspar, Marta, "Escolas Primárias do Porto. Uma refexão sobre o moderno", prova final de licenciatura, 2002

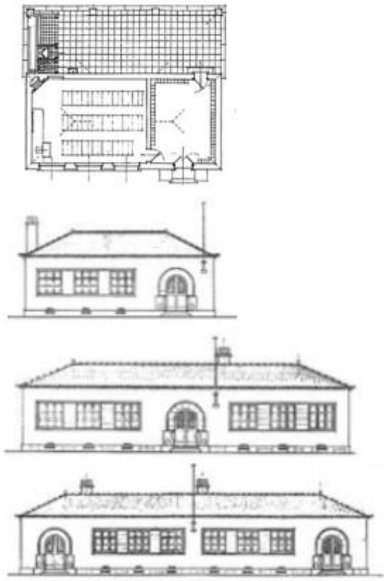
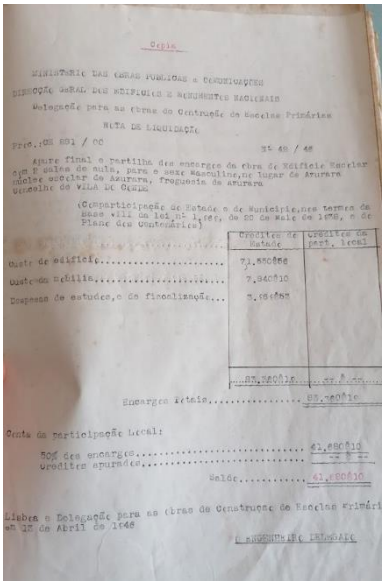


Figura 15- Evolução da Tipologia do Douro, módulo único, dois módulos do mesmo sexo e dois módulos para sexos diferentes



Cópia

MINISTÉRIO DAS OBRAS PÚBLICAS E COMUNICAÇÕES

DIRECÇÃO GERAL DOS EDIFÍCIOS E MONUMENTOS NACIONAIS

Delegação para as Obras de Construção de Escolas Primárias

NOTA DE LIQUIDAÇÃO

Proc.:DS 601 / CC 31 48 / 46

Ajuste final e partilha dos encargos da obra de Edifício Escolar com 2 salas de aula, para o sexo Masculino, no lugar de Azurara (escolar escolar de Azurara, freguesia de Azurara Concelho de VILA DO CONDE

(Comparticipação do Estado e do Município, nos termos da base VIII da lei n.º 1:167, de 20 de Maio de 1938, e do Plano das Conferências)

	Créditos do Estado	Créditos de part. local
Custo de edifício.....	71.850$00	
Custo do mobília.....	7.940$10	
Despesas de estudos,e de fiscalização...	3.050$00	
	82.840$10	82.840$10
Encargos iniciais.....		82.840$10

Conta de participação local:

50% dos encargos..... 41.420$10

Créditos apurados..... 41.420$10

Saldo..... 41.420$10

Lisboa e Delegação para as Obras de Construção de Escolas Primári em 25 de Abril de 1946

O ENGENHEIRO ADJUNTO

Figura 16 - Nota de liquidação da obra da escola da Azurara, em 1946

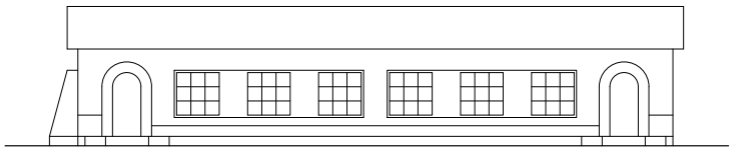


Figura 17 - Presumível alçado da primeira construção da Escola Primária da Azurara

alpendre onde se localizam os serviços como, por exemplo, a casa de banho, é uma característica desta tipologia. [figura 16]

Pela informação encontrada no arquivo municipal, em 1969, houve uma intervenção na escola para possibilitar a sua ampliação: o piso rés-do-chão foi mantido, mantiveram-se os módulos das duas salas, as duas entradas e o alpendre; a única adição ao edifício foi o piso superior com mais dois módulos – a escola passou a ter quatro salas de aula. Assim, a escola terá agora dois pisos, com dois módulos simétricos. Os vestíbulos laterais contêm, também, as escadas de acesso ao piso de cima.

Ao nível do alçado manteve-se a simetria do mesmo, a única alteração que se verificou foi no espaço das portas no piso inferior, quando se replica o módulo no primeiro piso, este espaço passa a estar preenchido por uma janela diferente das janelas quadrangulares da sala de aula, esta é uma janela mais estreita, com a padieira arredondada.

Para além disso, também o terreno da escola foi aumentado, passando agora a existir uma grande área de recreio a Norte do edifício.

Esta foi a última grande alteração sofrida pela escola até aos dias de hoje, sendo que a atual escola primária da Azurara é, então, o mesmo edifício de 4 salas da expansão de 1969. Recentemente teve lugar uma remodelação, onde foram substituídos os quadros das salas, as caixilharias das janelas e as escadas em madeira dos vestíbulos passaram a ter uma estrutura em betão.

Quanto à sua estrutura, o edifício apresenta um sistema estrutural baseado em paredes portantes, ou seja, as paredes exteriores em alvenaria de granito suportam-se a si próprias e funcionam como suporte de todos os outros elementos estruturais do edifício. Estas paredes têm uma espessura de cerca de 50cm. Em oposição, as paredes interiores que marcam a divisão entre as salas de aula e os vestíbulos são bastante menos espessas, com espessuras de cerca de 15cm. O pavimento em soalho tem a sua durabilidade garantida por não assentar no solo. A laje entre pisos é, presumivelmente, uma laje em betão suportada pelas paredes de alvenaria de pedra. A cobertura de duas águas é possível devido a uma estrutura de suporte em madeira.

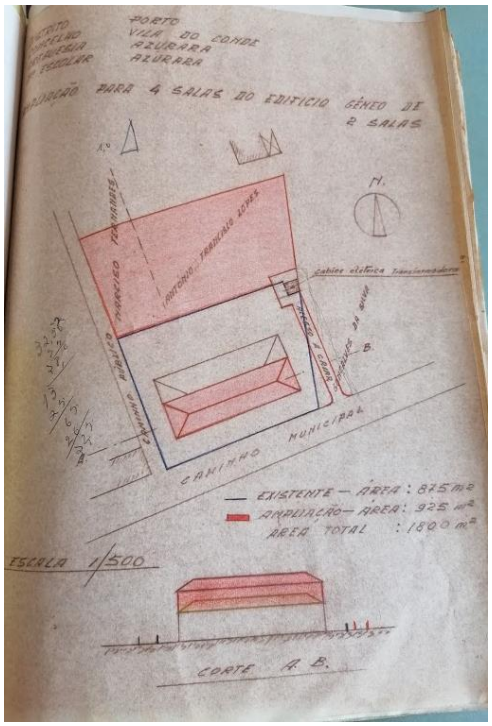


Figura 18 - Projeto para expansão da escola, 1969

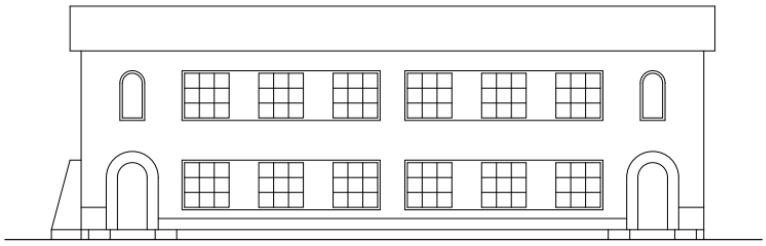


Figura 19 - Alçado da escola após a expansão, mantido até a atualidade

Com a sua entrada principal na Rua Rita da Conceição Martins, a escola Primária da Azurara apresenta dois pequenos portões. A entrada na escola primária é feita por um pequeno portão, centrado no alçado do edifício principal não estando, portanto, alinhado com nenhuma das duas portas que dão acesso ao edifício. No extremo este do muro que delimita a área de recreio da escola nesta rua, existe o segundo pequeno portão que dá acesso ao jardim de infância que se localiza no interior do quarteirão e, por esse motivo, o acesso ao edifício é feito através do atravessamento do terreno da escola no extremo este do mesmo. Este atravessamento está parcialmente separado do terreno da escola primária, por um canteiro com um pequeno jardim. Contudo, é possível o acesso das crianças do jardim de infância ao pátio da escola.

Começando pelo edifício principal e único edifício da escola primária, este localiza-se no canto sudoeste do terreno, alinhado com o muro que contorna o terreno, paralelo à Rua Rita da Conceição Martins e apresenta duas entradas localizadas nos extremos do alçado principal de forma simétrica. As duas grandes portas verdes e arredondadas, com um contorno em pedra aparente, sobressaem bastante no alçado.

Para além das entradas, também todos os outros vãos e detalhes do alçado apresentam uma rigorosa simetria em relação a um eixo central no alçado. Esta simetria do alçado transparece no interior do edifício: cada uma das duas entradas dá acesso a um vestíbulo exatamente igual ao que existe do outro lado. Este vestíbulo funciona como antecâmara para uma sala no piso rés-do-chão, e como área de distribuição, através das escadas de acesso ao piso superior, onde existe mais uma sala de aula semelhante à do rés do chão, cuja antecâmara é um pequeno mezanino que abre para o lado das escadas e tem como fonte de luz natural a janela mais pequena que sobressai no alçado por cima da porta principal.

Entrando em cada uma das salas de aula, apercebemo-nos de um quadro na parede que contem a porta e três grandes janelas que abrem a sala para a Rua Rita da Conceição Martins, viradas para sudeste. Em volta de toda a sala existe um lambril em madeira com 1,20cm de altura, que coincide, na parede das janelas, com a soleira das mesmas. Estas janelas



Figura 20 - Escola Primária da Azurara



Figura 21 - Porta Este

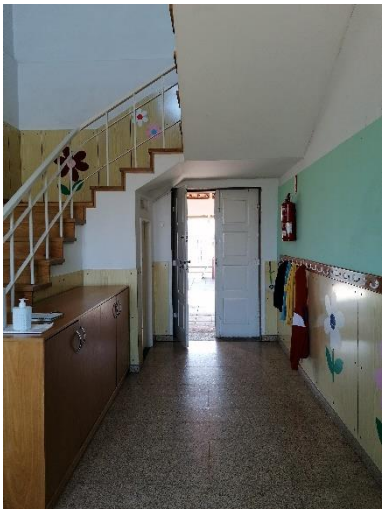


Figura 22 - O vestíbulo, a partir da porta, com acesso ao alpendre



Figura 23 - Sala de aula



Figura 24- O vestíbulo, a partir da porta do alpendre



Figura 25 - Espaço de acesso à sala de aula no primeiro piso

são quadradas e dividem-se em 9 quadrados menores semelhantes, sendo a caixilharia de alumínio (uma substituição da original em madeira), com uma janela de batente de uma folha na coluna central, ocupando os dois quadrados inferiores.

Através do vestíbulo temos acesso, também, através de um vão oposto ao da entrada principal, ao alpendre que faz a transição entre o edifício da escola e o espaço de recreio a Norte do edifício.

A norte do edifício que contem as salas de aula, localiza-se o alpendre que, para além de funcionar como zona de transição entre interior e exterior do edifício, enquanto funciona como espaço exterior coberto que pode ser utilizado em dias de chuva, contém, também, dois compartimentos que definem dois volumes distintos. Um volume central contendo os sanitários, que divide o espaço do alpendre em dois lados, mantendo a regra da simetria exata que se verifica no alçado principal; para além do volume central, existe outro volume que contém a sala dos professores no extremo nordeste do edifício.

Enquanto o primeiro volume de casas de banho, que contém 3 compartimentos e um pequeno pátio com dois lavatórios para cada um dos lados da escola mantém a simetria de toda a planta, o segundo volume da sala dos professores, localizado no extremo do alpendre, termina a ideia de simetria, fazendo com que o alpendre não tenha qualquer simetria nem em planta nem em alçado.

O alçado tardoz apresenta, então, uma clara distinção entre rés-do-chão e primeiro andar. Para além da saliência ao nível do volume provocada pelo alpendre, onde é visível a cobertura em telha que separa os dois pisos, existe, também um grande contraste entre ambos os pisos. O primeiro piso apresenta uma parede branca cega, pois as duas salas de aula e os dois vestíbulos que o compõem viram-se unicamente para o lado oposto onde se localiza a entrada da escola. Enquanto no rés-do-chão, os dois volumes apresentam janelas que, em oposição às do alçado principal são de reduzidas, mas mantêm a forma quadrada das primeiras. Todas as janelas se localizam a uma cota alta, impedindo uma relação visual direta entre interior e exterior.



Figura 26 - Os três grandes vãos que se repetem nas quatro salas de aula



Figura 27 - Espaço do alpendre

Ora, ao longo dos anos, este alçado foi ganhando importância, apesar de manter uma muito menor importância do que o alçado principal. Isto deve-se ao facto de que este é o alçado que define o espaço exterior da escola, dedicado ao recreio. A crescente importância do alçado não é apenas consequência da também crescente importância dada ao espaço do recreio nas escolas, mas deve-se, sobretudo, ao facto de que o espaço

exterior da escola sofreu também um grande aumento aquando das obras de expansão da mesma, tendo o terreno da escola duplicado em tamanho, sem que a área de implantação do edifício fosse alterada, levando assim a um aumento significativo do espaço de recreio.

Quanto aos alçados laterais, ambos são paredes cegas, caiadas de branco, sem qualquer abertura.

Assim, estão apresentados todos os espaços que constituem a escola e podemos fazer uma análise do programa e da distribuição do mesmo.

Ora, quanto ao nível de espaços essenciais para o funcionamento de uma escola, destacam-se como prioritários as salas de aula, sanitários, sala de professores, refeitório e espaço exterior de recreio. De seguida, considerando as necessidades atuais do sistema de educação, existe a biblioteca e uma zona interior polivalente que ofereça liberdade de utilização por parte dos alunos ou docentes para as mais diversas atividades, desde brincadeiras de intervalo, a estudar, a jogos em grupo ou individuais, palestras, entre outros…

Deste modo, podemos afirmar que a atual escola apresenta algumas falhas ao nível do programa que devem ser corrigidas com a maior brevidade possível. Isto é, a escola tem, de facto, quatro salas de aula, uma para cada ano, sanitários, sala de professores e espaço exterior tanto coberto (na zona do alpendre) como completamente exterior. Contudo, a inexistência de alguns espaços essenciais é preocupante. Isto é, a escola atual não tem um refeitório, não tem nenhum espaço interior que promova a interação entre os alunos, não tem nenhuma zona de estudo ou partilha de conhecimento para além das salas de aula, etc.



Figura 28- Alçado tardoz da escola



Figura 29 - Linha de árvores ao longo do pátio

Para além de todas essas falhas ao nível do programa, é necessário também considerar a organização e conexão espacial. Neste momento, a divisão do edifício em dois lados quase autónomos, quebra completamente a dinâmica que deve existir numa escola, pois dificulta a convivência, partilha e comunicação entre alunos de diferentes turmas. Para além disso, a falta zonas de ligação entre diferentes espaços que poderiam gerar áreas "públicas" e ajudar a hierarquizar os mesmos, é clara. Nesta escola não existem corredores ou zonas comuns a todos os alunos, pois as duas portas laterais e os vestíbulos levaram a que à redução dos espaços de circulação, tornando quase impossível uma renovação da escola que vise melhorar as condições de ensino e adaptá-las à geração atual de alunos mantendo a planta e organização espacial da mesma.

Assim, torna-se clara a necessidade de uma requalificação urgente desta escola, sendo que vai ser proposto de seguida um projeto de requalificação que leva em consideração todos os pontos enunciados anteriormente, aquando da análise do panorama geral das escolas e necessidades dos alunos e do sistema de ensino. Existem diversos pontos que justificam esta necessidade, contudo, os mais flagrantes são, certamente, a necessidade de criação de um refeitório, uma biblioteca/espaço de estudo fora da sala de aula, áreas de convívio e partilha de conhecimento e, acima de tudo, um ambiente que estimule a curiosidade das crianças, potenciando a sua capacidade de aprender tanto autonomamente como com os seus colegas e mentores, assim como, áreas de ensino que sejam mais adequadas às necessidades dos alunos atuais e do sistema de ensino e novas pedagogias que se têm mostrado bastante mais eficazes do que a utilizada nesta escola.

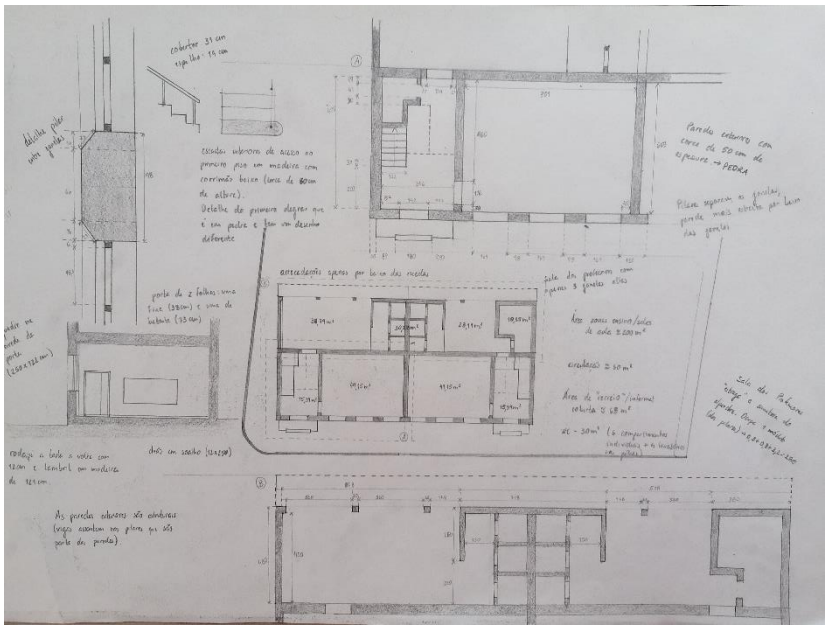


Figura 30 - Desenhos de um levantamento ao edifício

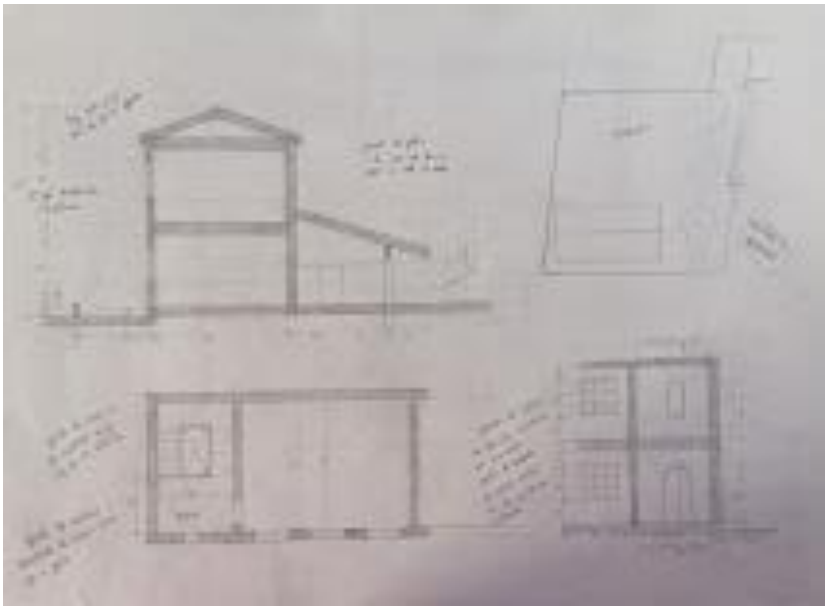


Figura 31 - Detalhes do levantamento

1.4. A nova Escola Primária da Azurara

> *"Making space is applying structure where emptiness or chaos once prevailed. Learning, then, is a way of creating space in one's head; space for other aspects, ideas, relations, interpretations, associations. So learning is perhaps the finest imaginable approach to the concept of space."*[21]

Conhecendo a Escola Primária da Azurara, a primeira deficiência do edifício de que nos apercebemos é ao nível programático: a falta de espaços comuns, especialmente uma cantina é o primeiro aspeto a destacar.

Mas, um estudo mais aprofundado ao edifício, tornou evidente que as deficiências não eram apenas ao nível do programa, mas, também, ao nível do espaço, desde o tratamento espacial, materialidade, iluminação, relações espaciais, entre outros.

Assim, o principal objetivo deste projeto foi a renovação do espaço da escola, colmatando as lacunas a nível do programa e alterando a dinâmica espacial do edifício.

Pretende-se que o edifício seja visto como um conjunto de espaços dinâmicos que permitem a sua utilização para as mais variadas funções, cujas ligações entre estes geram espaços úteis, criando uma sucessão espacial muito diversificada.

Da mesma forma, é essencial que cada um dos espaços que compõe o conjunto permita a coexistência de diversas atividades simultâneas, levando a que as funções de cada um se cruzem entre si, sobrepondo-se e complementando-se, com o único objetivo de servir o conjunto geral dos espaços que compõem a nova escola.

---

[21] Hertzberger, Herman, 2008, p. 67, tradução livre da autora: "Criar espaço é aplicar estrutura onde antes prevalecia o vazio ou o caos. Aprender, então, é uma forma de criar espaço na cabeça; espaço para outros aspetos, ideias, relações, interpretações, associações. Portanto, aprender é talvez a melhor abordagem imaginável para o conceito de espaço."

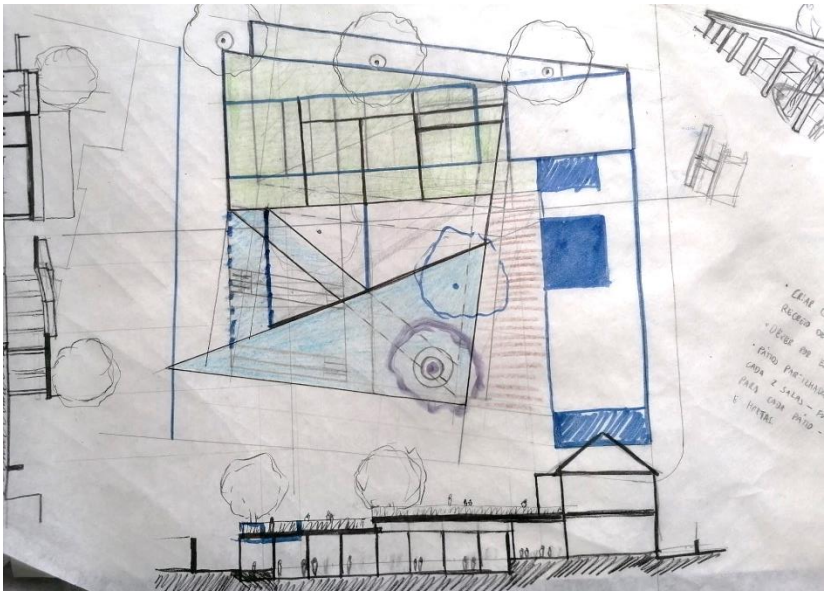


Figura 32 - Experiências com o espaço exterior

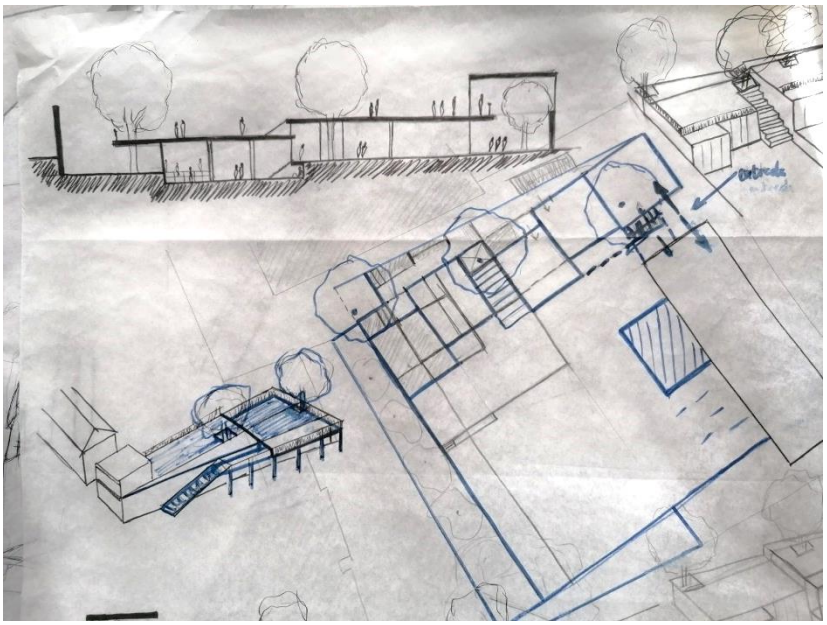


Figura 33 - Desenvolvimento do acesso à cobertura

1.4.1. Desafios para o novo espaço da escola

O primeiro desafio da renovação surge logo à partida, como consequência da opção por renovar e não destruir.

Assim, o primeiro passo necessário passou por analisar o edifício existente e decidir quais os elementos a manter. Optou-se por manter o edifício da escola, mas não integralmente. O alpendre deixa de ter lugar no projeto, pois a sala dos professores e casas de banho passarão para o interior do edifício, assim como áreas informais. Desta forma, mantém-se apenas o edifício das salas de aula, sendo que este vai sofrer bastantes alterações no seu interior.

No espaço exterior da escola existem quatro árvores entre o edifício e o limite do terreno. As árvores serão mantidas, opção que reflete a importância do projeto no tema da proteção dos recursos naturais. Este é outro dos desafios propostos neste projeto.

A renovação do espaço deve ter em conta o impacto ambiental do mesmo. Assim, devem ser consideradas todas as possibilidades de aproveitamento dos materiais existentes na escola atual, não apenas através da preservação do edifício existente, mas pela possível reutilização dos materiais que constituíam as partes do edifício que serão retiradas, nomeadamente o alpendre, cujas vigas e traves de madeira podem ser utilizadas no novo projeto, ainda que para outras finalidades. Esta valorização das qualidades intrínsecas dos materiais que permite a sua reutilização é mais um dos desafios deste projeto.

Atendendo aos desafios enumerados, a opção da renovação da escola propõe uma expansão horizontal, ocupando o terreno exterior da escola. Esta opção deve-se ao facto de que espaços com ligação ao exterior são mais cativantes para as crianças, oferecendo melhor integração das atividades letivas que, habitualmente, decorrem no interior, também no espaço exterior.

Desta forma, a expansão horizontal traduz-se na adição de um novo corpo, perpendicular ao corpo existente, do lado este do terreno, criando uma maior definição de um espaço exterior aberto a oeste.

Ao ocupar o terreno exterior da escola com um novo volume, desenha-se uma cobertura acessível para que o espaço exterior da escola se mantenha em termos de tamanho. A cobertura é a única área ajardinada do projeto, com um jardim que replica as dimensões do edifício da escola antiga, garantindo, a possibilidade de reaproveitamento das águas pluviais. O acesso à mesma é feito por uma rampa que nos leva desde a entrada do edifício até à cobertura, pontualmente perfurada pelas árvores que foram mantidas, animando esse percurso ascendente. Esta rampa marca, também, a transição entre dois espaços da escola: o espaço da primária e da pré-primária.

A ligação entre os dois volumes ortogonais é feita por um outro volume, que funciona como rótula do projeto, sendo a simultaneamente o espaço de entrada e de distribuição que dá acesso a todos os espaços da escola.

Assim, na planta de implantação, destacam-se agora três volumes. O antigo edifício da escola, um novo edifício de apenas um piso com a cobertura acessível perpendicular a este, e um volume de ligação, com a altura do edifício da escola antiga. Origina-se um percurso em forma de 'L' nos espaços interiores e uma maior definição de espaços exteriores com duas áreas distintas a diferentes cotas, com diferentes pavimentos.

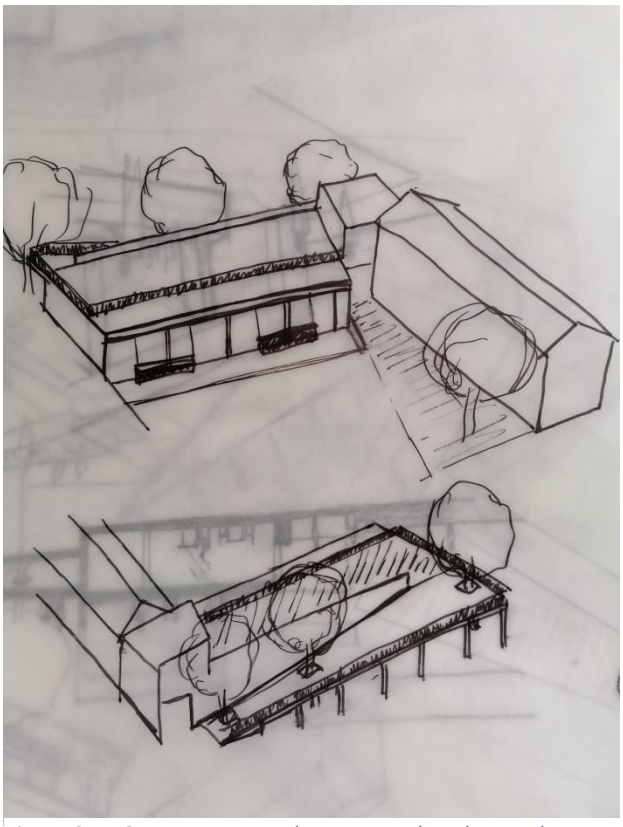


Figura 34 - O percurso ascendente marcado pela guarda

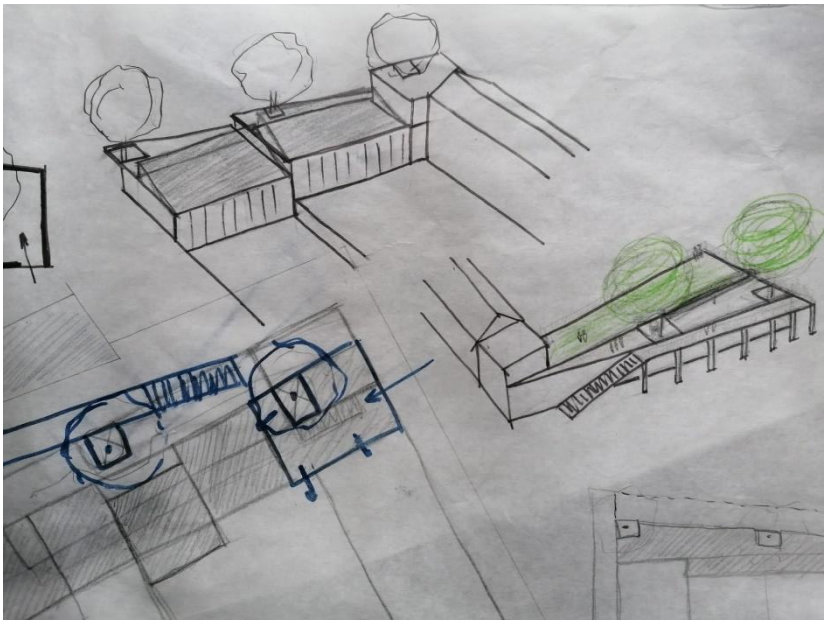


Figura 35 - As árvores como parte do edifício



Figura 36 – Planta de Implantação, 1:500

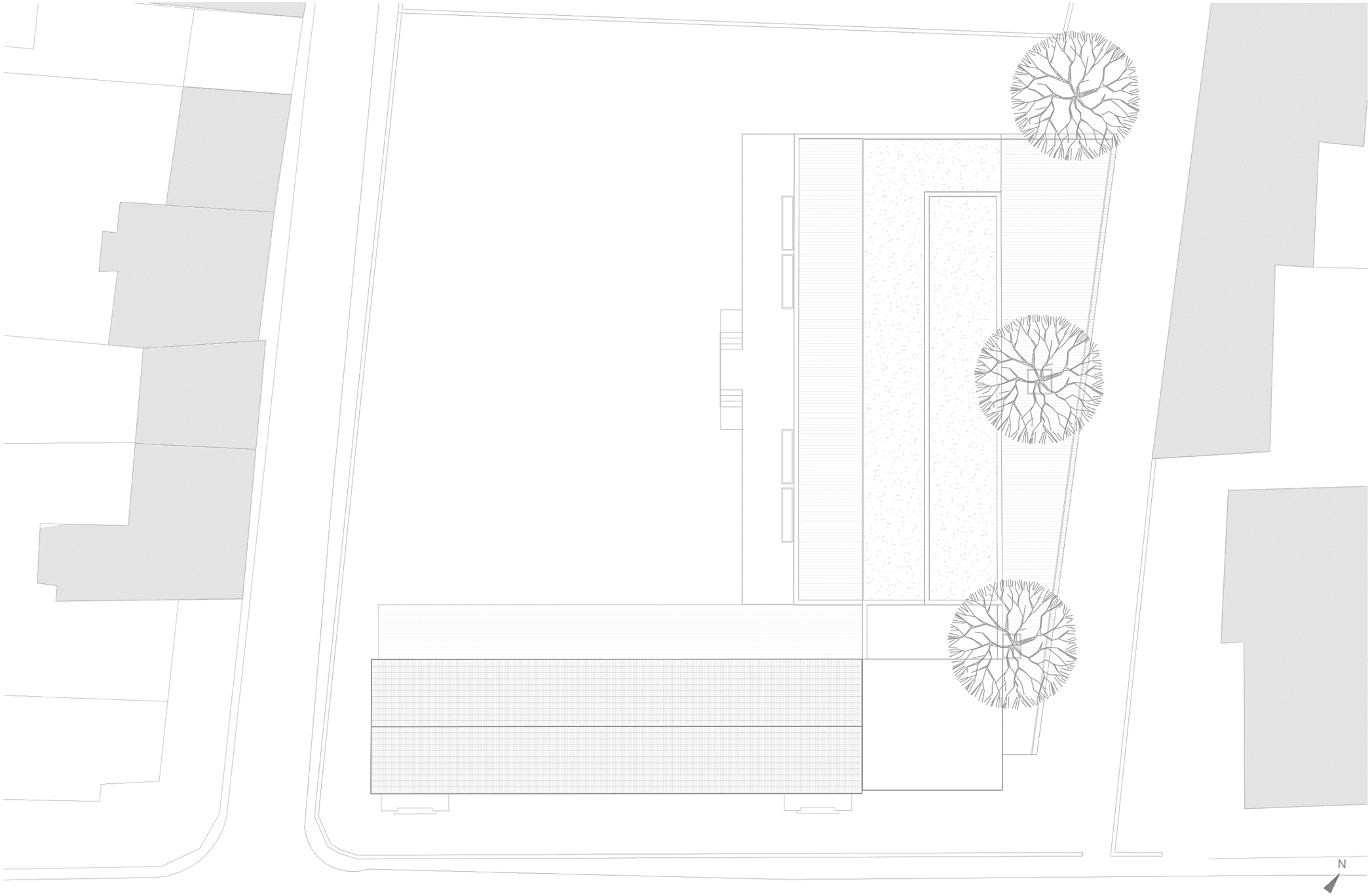


Figura 37 – Planta Coberturas, 1:200

1.4.2. Organização do espaço da escola

> *"… a school without bare circulation corridors where every corner is a possible corner of learning; such a differentiated place capacity is equally desirable from a pedagogical point of view."*[22]

Começou-se por criar uma hierarquia de privacidade dos espaços, definido as salas de aula como espaços mais privados e criando percurso de aproximação às mesmas. Apesar de já existirem 4 salas de aula no edifício antigo, estas não proporcionam as condições pedagógicas aspiradas neste projeto, levando à opção de propor 4 novas salas de aula que vão substituir as existentes. Foi precisamente a sala de aula o primeiro compartimento a ser desenhado para o projeto – que terá por base as ideias que Herman Hertzberger expôs no seu livro "Space and Learning: lessons in architecture 3" e que foram selecionadas e enumeradas anteriormente nesta dissertação – a sala de aula que a geração atual precisa.

Polivalência e diferenciação de espaços são palavras de ordem do projeto, palavras que entram em confronto e se complementam simultaneamente, que geram uma grande variedade tensões, dinâmicas e atmosferas em todo o projeto.

A entrada no terreno da escola é feita pelo extremo Este do mesmo, onde já se localizava o acesso da escola pré-primária, passando a ser partilhado por ambas as escolas.

A partir daí, temos acesso à entrada no edifício da escola, feita lateralmente, no novo volume mais alto, pelo mesmo ponto de onde podemos aceder à rampa que nos leva à cobertura do novo edifício. O átrio de entrada, com pé direito duplo e uma abundância de luz natural permitida pelas grandes janelas altas ao nível do primeiro piso, ocupa todo o volume de ligação entre os dois corpos, e é o ponto central a partir do qual temos acesso a todos os

[22] Hertzberger, Herman, 2008, p. 45, tradução livre da autora: "… uma escola sem corredores de circulação vazios, onde cada esquina é um possível canto de aprendizagem; essa capacidade de lugar diferenciado é igualmente desejável do ponto de vista pedagógico."

espaços. Aqui encontra-se uma área de receção oposta à porta de entrada e o restante espaço é pontuado por grandes pilares de madeira, com dois pisos, sendo deixado em aberto garantindo uma grande flexibilidade de utilização ao mesmo. As dimensões deste espaço devem-se à sua importância funcional, permitindo que este adquira variadas funções, desde local de entrada, a zona de convívio ou de atividades de grupo, ao local onde as crianças estarão juntas, ao final do dia, enquanto aguardam os seus pais.

A partir daqui acede-se ao edifício antigo, que alberga os espaços mais públicos do programa. Neste corpo, existe um espaço de circulação linear junto ao alçado principal que tira partido das aberturas ritmadas das 6 grandes janelas do mesmo, e atravessa todos os espaços.

O piso inferior organiza-se através de dois núcleos fechados: são estes que moldam o espaço. A necessidade de trabalhar todos os espaços de forma a alcançar a polivalência dos mesmos, levou à opção por criar dois núcleos fechados que contêm os dois únicos espaços do programa que não permitem a polivalência desejada: a cozinha e as casas de banho, mantendo os restantes como uma sucessão fluida de espaços que se complementam. Assim, o corredor de distribuição leva-nos desde a entrada neste corpo, que coincide com o vestíbulo Este do antigo projeto – tendo uma porta para o exterior mantida do edifício antigo – onde se localizam os acessos ao piso superior, através do primeiro núcleo que contem as casas de banho, até à cantina, cujo espaço é delimitado pelos dois núcleos, dos quais a cozinha remata o percurso, tendo acesso ao exterior através da outra porta do antigo edifício. A cantina e o espaço de entrada dedicado aos acessos verticais têm novas janelas abertas para o pátio, sendo que na zona da cantina essa abertura permite o acesso direto ao mesmo. Assim, este prolonga-se para o exterior, garantindo dois aspetos: uma maior diversificação de espaços que permite a execução das suas funções em diferentes atmosferas, podendo os alunos utilizar o espaço exterior para refeições; e uma maior diversificação das funções permitidas nesse espaço, ao garantir as condições necessárias à realização de outras atividades, sem pôr em causa a possibilidade de cumprir a sua função inicial, como palestras ou atividades em grupo.

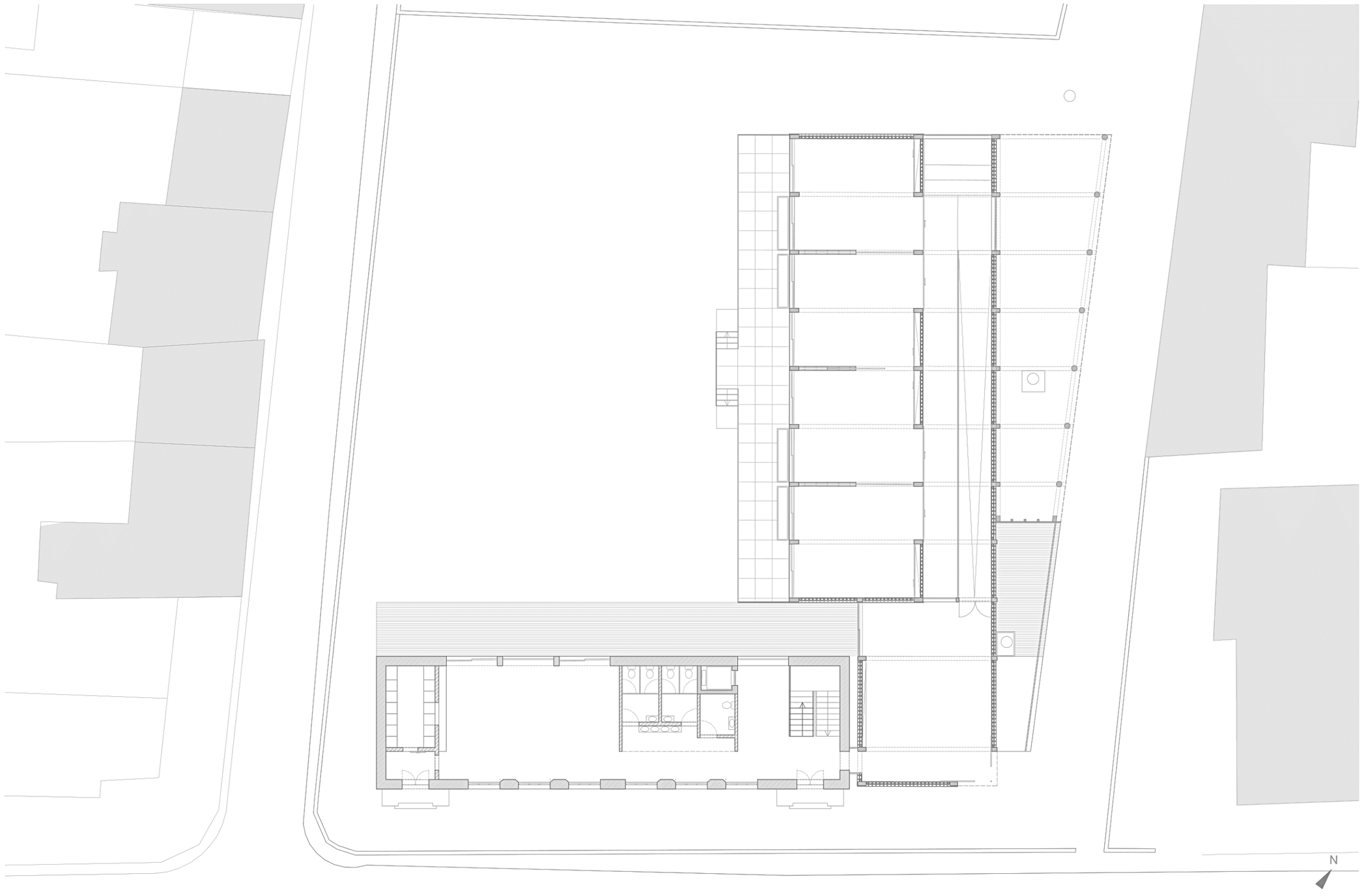


Figura 38 - Planta Piso 0, 1:200

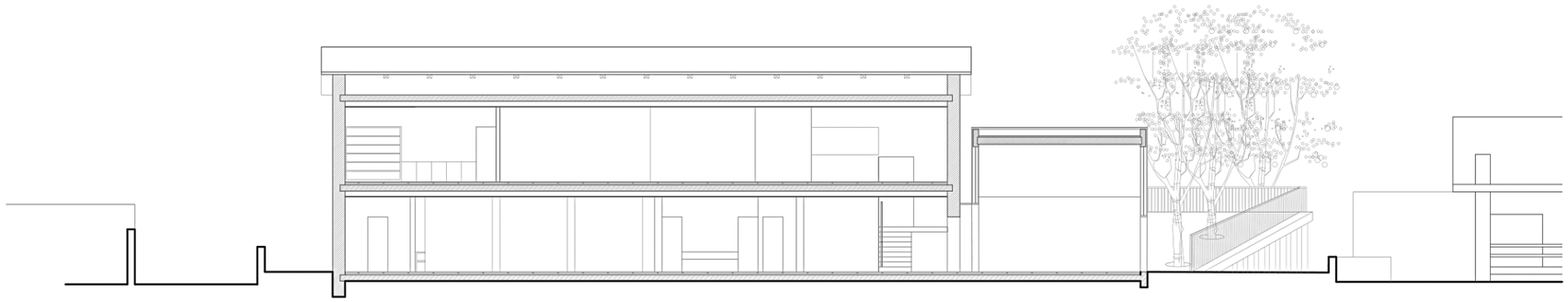


Figura 39 – Corte AA, 1:200

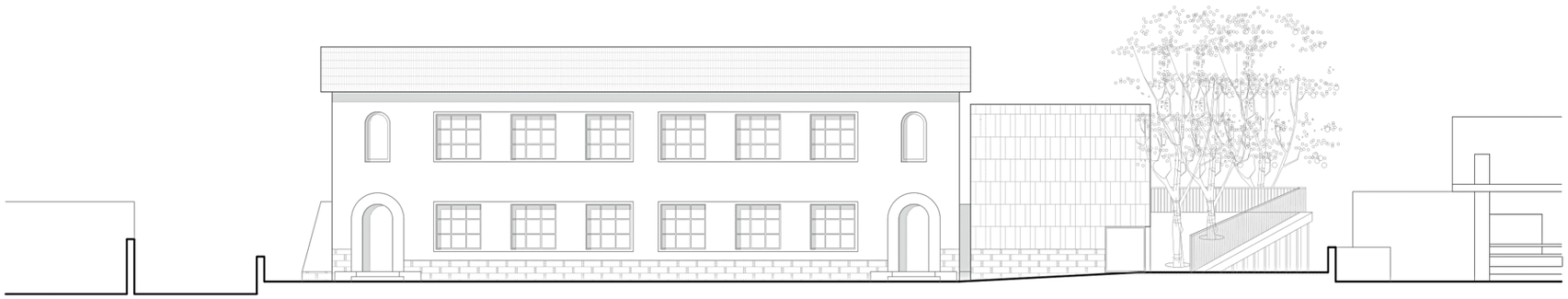


Figura 40 – Corte BB', 1:200

O piso superior, que pode ser acedido pelas escadas ou elevador, localizados junto ao acesso a este edifício, replica o corredor do piso inferior, sendo que este permite a utilização do seu espaço para a colocação de mesas para estudo individual, que podem ser utilizadas como espaço de apoio à biblioteca ou locais de reuniões rápidas e informais. Mais uma vez, o espaço é moldado por dois núcleos: as casas de banho e a área reservada a professores. Ficam como espaços fluidos a biblioteca, o corredor de distribuição, a pequena área que serve os acessos verticais, onde se localiza uma janela diferente das que se encontram ao longo do corredor – a janela mais pequena com a padieira arredondada visível por cima da porta no alçado – e a biblioteca. Entre os núcleos surge o espaço da biblioteca que permite uma abertura para o corredor, sugerindo uma contaminação de funções entre os dois espaços, podendo absorver a área de mesas individuais, dando a possibilidade de criar diferentes atmosferas que permitem a utilização do espaço para diferentes funções respondendo às diferentes necessidades dos alunos.

O percurso do corredor termina na entrada para o núcleo dos professores, onde se encontra uma sala de professores e uma sala de reuniões. Estas salas estão localizadas no ponto mais afastado da entrada deste edifício, sendo o percurso até aqui pautado por um aumento gradual da calma e privacidade. A sua localização próxima à área do corredor ligada às mesas de estudo individual permite a utilização deste espaço por parte, também, dos professores, para apoios individualizados ou reuniões com os alunos.

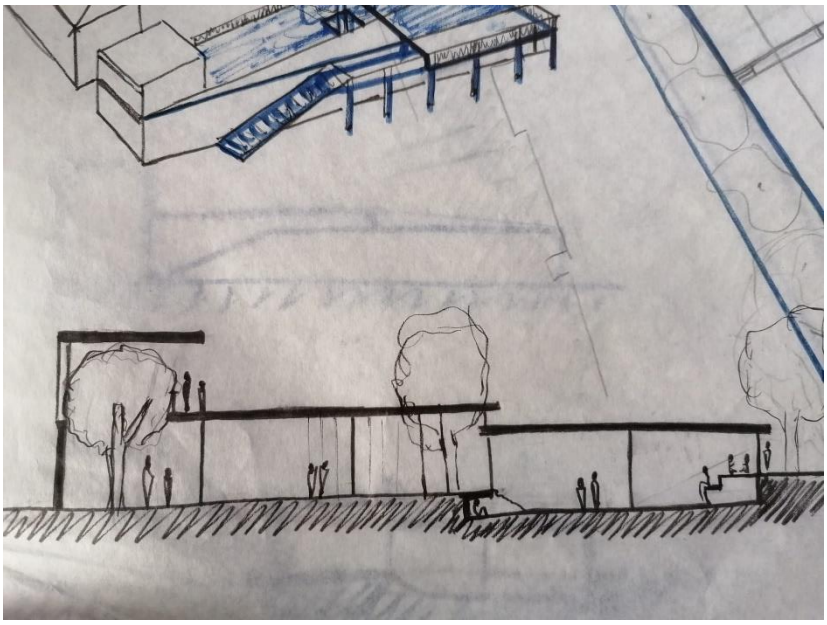


Figura 41 – Ligação entre espaço de entrada e corredor

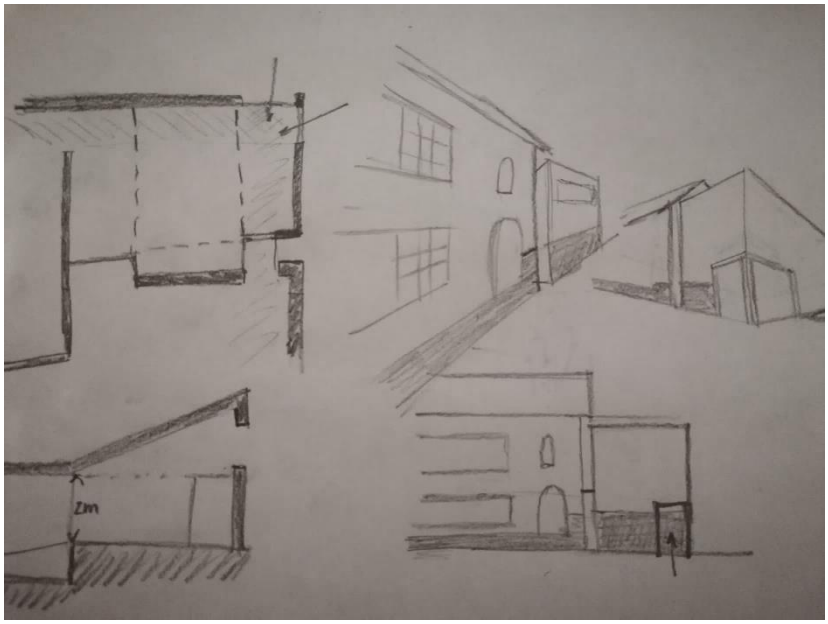


Figura 42 – Articulação entre volume existente e expansão

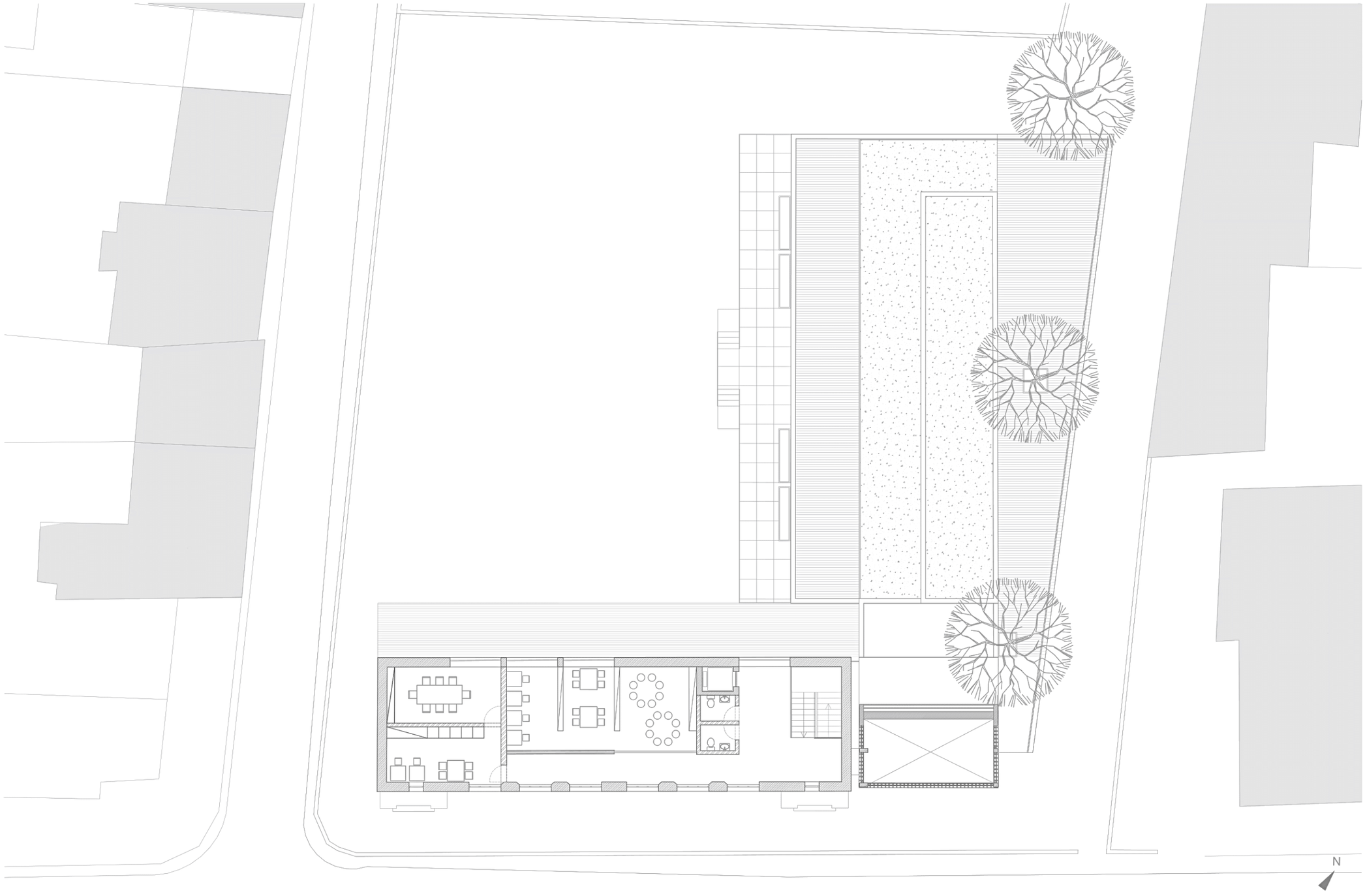


Figura 43 – Planta piso 1, 1:200

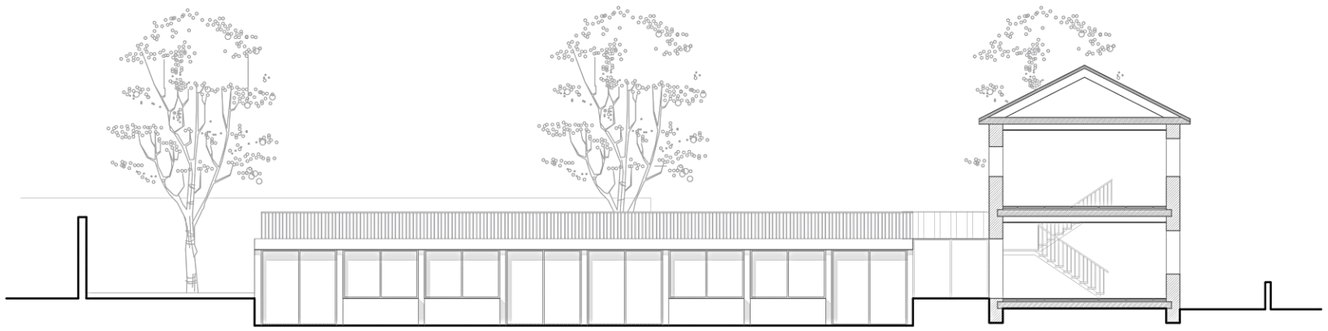


Figura 44 – Corte CC', 1:200

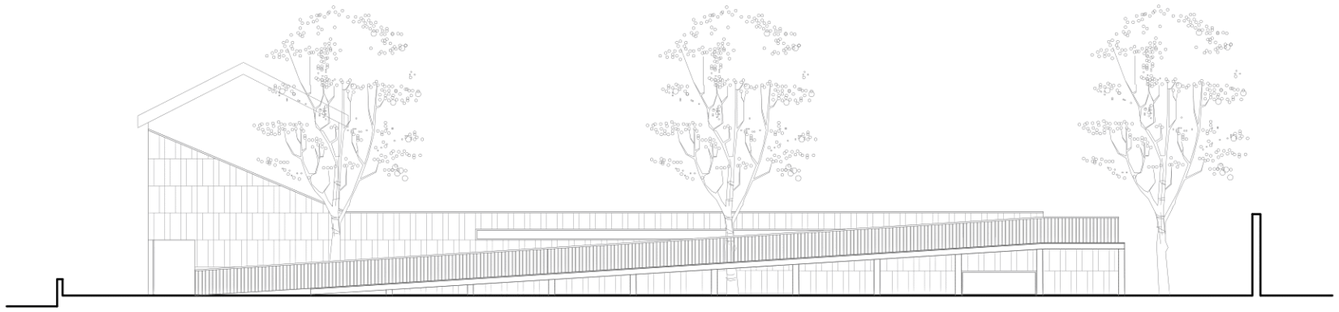


Figura 45 – Corte DD', 1:200

Do lado oposto, no átrio de entrada, temos o acesso ao novo corpo, que contém as salas de aula. Este está a uma cota ligeiramente mais baixa e o acesso é feito através de uma rampa de reduzida inclinação que entra no edifício e se apresenta oposta à grande rampa exterior que leva à cobertura.

Ao longo do percurso descendente, é possível observar, de um lado, o percurso ascendente do exterior através de grandes janelas que permitem a entrada de luz para a zona de circulação e, do outro lado, as salas de aula que podem abrir para a mesma. A rampa culmina num ponto central do espaço de distribuição que dá acesso a todas as salas de aula.

O espaço de distribuição assume um papel muito importante no projeto pela variedade de espaços e atmosferas que consegue comportar ao longo do seu percurso. As dimensões deste permitem a criação de espaços diferenciados associados às salas de aula, próximos das entradas das mesmas, que concedem aos alunos liberdade de utilização, quer para atividades curriculares, quer para atividades de recreio. Numa das extremidades, o espaço que serve as salas dos alunos mais velhos, onde uma sucessão de degraus formados por armários baixos funcionam como um pequeno anfiteatro interior, que pode ser utilizado como espaço de leitura, por exemplo, ou como local de apresentação de trabalhos, dada a sua cota mais alta, este funciona, simultaneamente como um pequeno palco que permitiria esse tipo de ocupações. No extremo oposto, junto ao princípio da rampa de acesso ao edifício, encontra-se outra área de estar, a uma cota inferior à da rampa nesse ponto, que serve as salas dos alunos mais novos. Este espaço, é mais recatado, pois o percurso da rampa está separado do mesmo, apesar da constante relação visual, e alberga uma área de estar comum, com um banco corrido e armários, onde podem ser integradas mesas de apoio, e uma área onde os alunos podem ter o seu espaço individual. Estes espaços individuais ganham forma em pequenos nichos criados por baixo da plataforma da rampa, que transmitem sensações de calma e proteção aos alunos que procurem estas.

Estes espaços podem ser utilizados durante as aulas, oferecendo mais um espaço diferenciado às mesmas onde os alunos podem trabalhar de forma autónoma garantindo a proximidade do professor, ou nos intervalos,

especialmente em dias de chuva, transformando o que seria um corredor num espaço de aprendizagem e, ao mesmo tempo, de brincadeira e recreio. Esta flexibilidade de funções ao longo deste espaço contribui para a dinâmica do edifício, criando um percurso pontuado por diferentes atmosferas, que se alteram constantemente, uma sucessão de acontecimentos e cenários ao longo deste corpo do edifício.

Os acessos às salas de aulas agrupam-se em pares, sendo feitos através de portas de correr que permitem uma abertura das salas para a área de circulação. Esta abertura é um ponto de tensão entre duas atmosferas diferentes: a calma e o silêncio da sala de aula em oposição ao ambiente frenético da zona de circulação; esta tensão é resolvida pela criação dos espaços de estar ao longo do percurso, associados às salas de aula, que funcionam como um espaço de transição e filtram parcialmente a energia das crianças que vêm do intervalo. A fluidez das transições entre espaços permite que o edifício tenha um carater totalmente flexível, sem limites rígidos para a execução de nenhuma função: todos os espaços podem ser utilizados para qualquer função necessária, podendo cada um dar lugar a várias atividades diferentes em simultâneo.

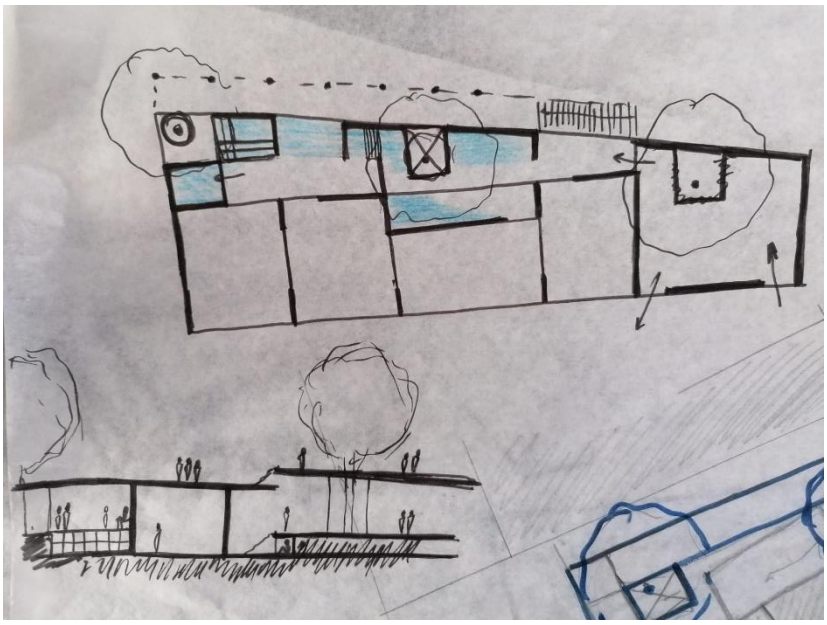


Figura 46 - Espaços de estar ao longo do corredor

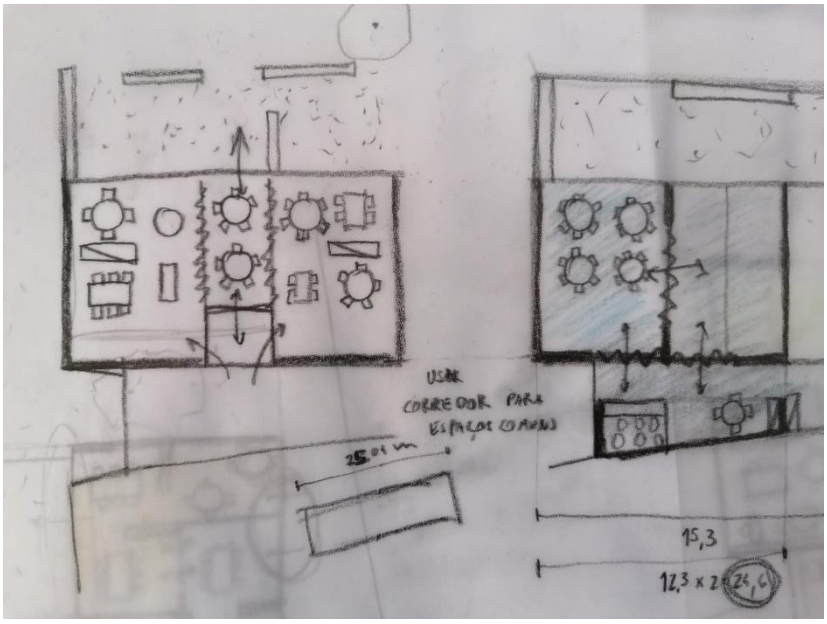


Figura 47 - Estudo das relações entre as salas de aula e os espaços circundantes

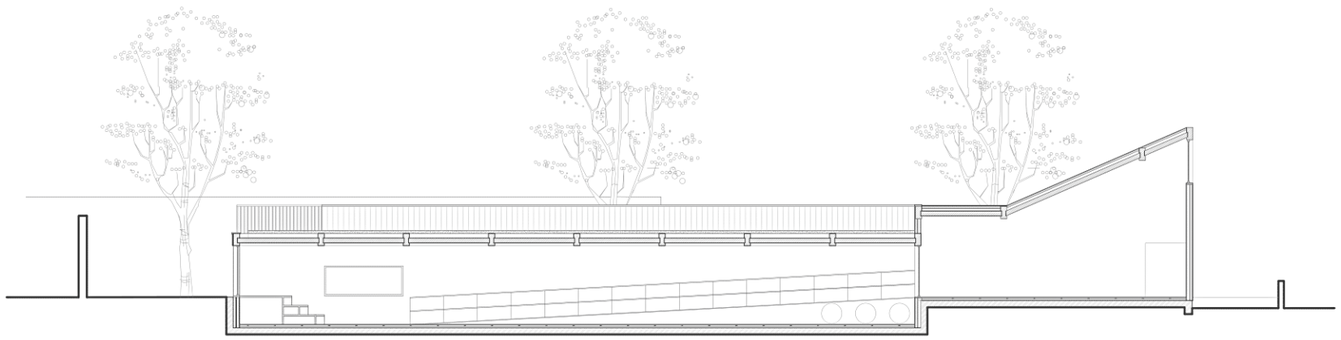


Figura 48 – Corte EE', 1:200

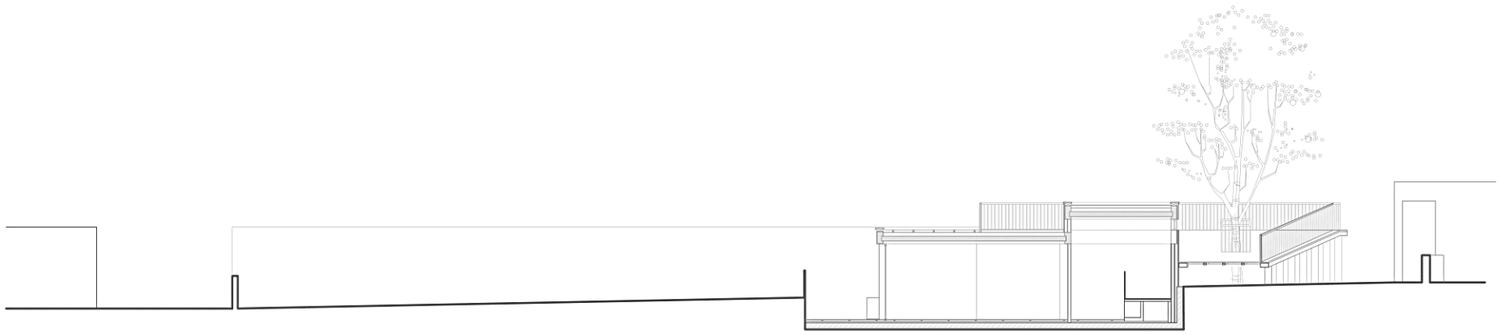


Figura 49 – Corte FF', 1:200

As salas de aula permitem a coexistência de variadas atividades em simultâneo, através de uma planta flexível que garante a possibilidade de diferenciação de espaços, através de painéis móveis, mobiliário ou diferenças no pavimento.

A importância do trabalho de grupo e convivência entre alunos de diferentes idades leva à necessidade de ligação de espaços designados para diferentes anos, isto é, as salas de aula são agrupadas duas a duas, divididas por uma porta de correr, que cria a possibilidade de as salas funcionarem de forma independente ou de se abrirem e associarem em uma só grande sala que comporta duas turmas, permitindo a cooperação e convívio entre crianças de diferentes anos para atividades letivas ou extracurriculares.

O acesso ao exterior a partir da sala de aula é fundamental num sistema de flexibilidade e polivalência dos espaços. O espaço exterior deve funcionar como um prolongamento do espaço de ensino – existem diversas atividades didáticas que implicam a utilização de espaços exteriores. Apesar de as salas de aula estarem a uma cota mais baixa que o grande pátio exterior, o acesso ao exterior é garantido através da criação de um pátio secundário continuo onde podem ocorrer atividades curriculares. Este pátio inclui um sistema de hortas associado à fachada, em que cada sala apresenta uma porta de correr por onde é feito esse acesso, e uma janela, sob a qual existem os tabuleiros a serem plantados pelos alunos funcionado como pequenas hortas que estes podem ver crescer desde o interior da sala de aula. Assim como um sistema de compostagem associado às escadas de acesso ao pátio principal do recreio, com o contentor do mesmo por baixo das escadas.

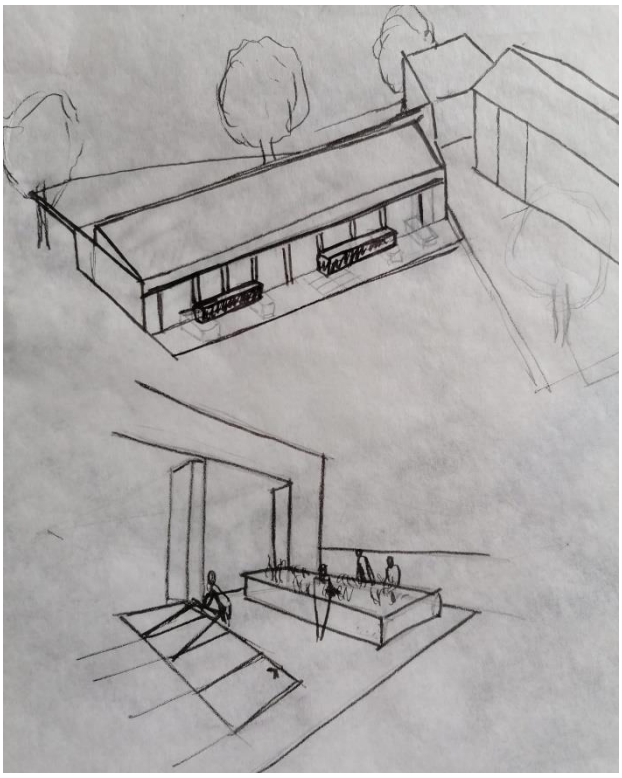


Figura 50 - Utilização das atividades do exterior para desenho do alçado

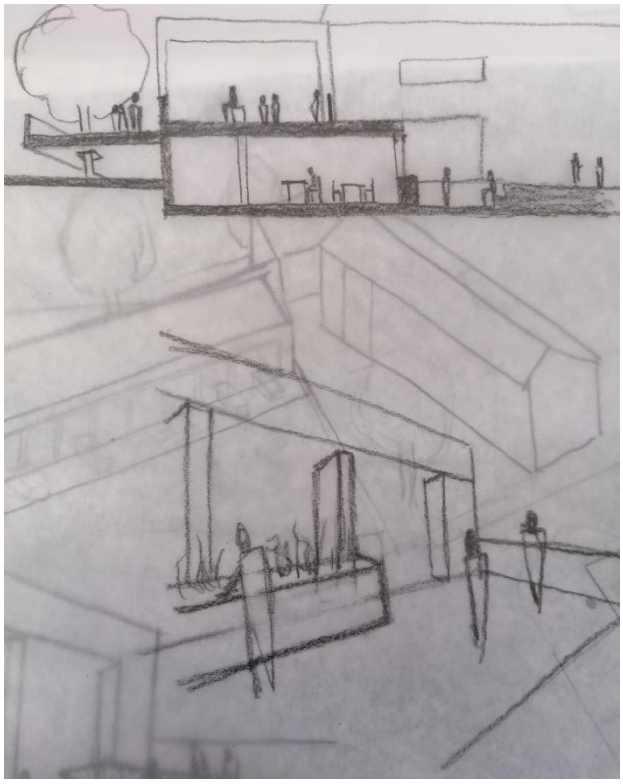


Figura 51 - Articulação das salas de aula com os pátios

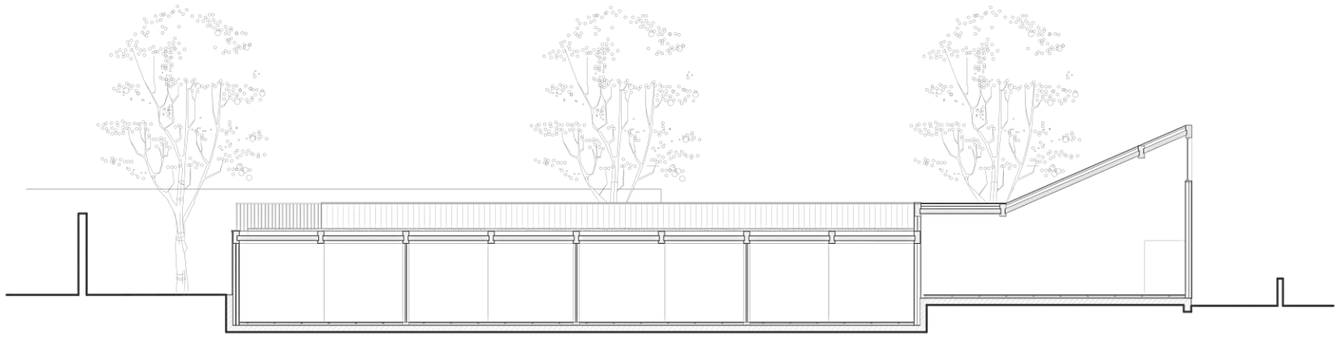


Figura 52 – Corte GG', 1:200

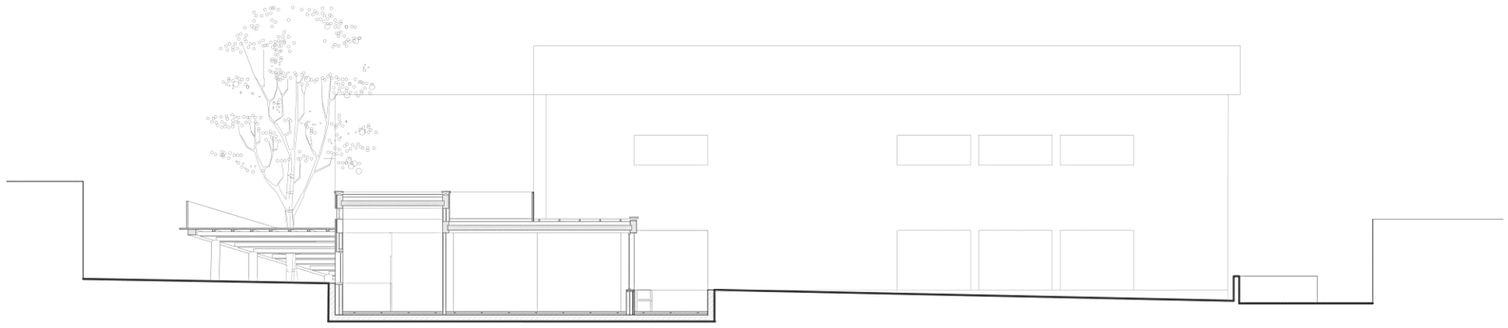


Figura 53 – Corte HH', 1:200

O espaço exterior é hierarquizado através da diferenciação de cotas. Junto a cada um dos edifícios, existem áreas mais pequenas que pretendem servir os espaços interiores dos mesmos, fazendo a transição para o exterior. A acesso ao pátio principal é feito por uma porta no volume da entrada, que acede o pátio por um deck de madeira que vai alargando, dando continuidade à linha do edifício do corpo das salas de aula. Esse deck leva-nos até ao espaço exterior da cantina, onde existem mesas e uma árvore. Por manter uma cota constante, nesse ponto, o deck está ligeiramente elevado em relação ao pátio, pois este apresenta uma ligeira pendente.

Junto às salas de aula existem os pátios que as servem a uma cota mais baixa. Estes podem ser acedidos também a partir do exterior, por qualquer uma das escadas de acesso que se distribuem ao longo dos mesmos. Este espaço de pátio é, mais pequeno do que que existia anteriormente, contudo, o espaço que foi ocupado existe agora a uma cota mais alta, na cobertura do edifício.

O acesso à cobertura é feito desde o ponto de entrada, através de uma rampa de grandes dimensões que convida a subida dos visitantes até ao topo, através de um percurso pontuado por árvores que rompem a estrutura do mesmo, dando uma dinâmica divertida e convidativa ao percurso. Na cobertura existe um grande espaço ajardinado, o único no projeto, que não vai até ao extremo da mesma. Todo o percurso de ascensão e o jardim são delimitados por uma guarda continua, contruída com um ripado vertical, que pauta o ritmo e os limites do espaço, mantendo sempre uma grande transparência.

Em suma, propõe-se uma reformulação radical da escola inicial, que funcionava quase como um conjunto de espaços independentes, com uma grande rigidez na forma de responder ao programa proposto, em que cada espaço tinha apenas uma função específica, existiam poucas áreas dedicadas ao convívio e à partilha de conhecimento. Agora, os espaços são pensados para serem partilhados e complementarem-se, havendo uma contaminação funcional entre todos, qualquer local da escola pode funcionar como espaço de ensino, de partilha, de convívio. Uma segunda casa para os alunos, onde podem ser introduzidos à experiência da vida.

PARTE 2 – Contextualização dos sistemas construtivos atuais

Ocorrida ao longo de cerca de 100 anos, distribuídos pelo final do século XVIII e princípio do século XIX, o processo da revolução industrial foi o mais longo processo considerado como uma revolução da história da humanidade. Este não foi uma guerra ou luta pelos direitos de uma sociedade precária, mas antes, uma mudança de mentalidades e costumes com o objetivo de melhorar as perspetivas de futuro da sociedade que habitava o mundo inteiro naquela época, um movimento mundial que se aplicaria a todas as cidades em desenvolvimento do mundo. As várias mudanças em diferentes campos e o período tão extenso tornam complicado definir ao certo datas de princípio e fim, por isso, será considerado, tal como no livro de Charles More, que ocorreu entre os anos 1750-1850[23]

A Revolução Industrial foi a revolução que permitiu a existência de um crescimento sustentável voltado para um futuro que previa um aumento populacional, e pretendia melhorar as condições de vida da população.

Tal como foi sentido na economia, o impacto na arquitetura foi, também, enorme. As principais mudanças notam-se no urbanismo e nos materiais construtivos e métodos de construção.

No que diz respeito ao urbanismo, o crescimento exponencial das cidades levou à necessidade de adaptação a novas circunstâncias, reduções de áreas úteis, reformulação e densificação da malha urbana, alargamento de estradas e um princípio de hierarquização das zonas das cidades.

A nível de materiais e métodos construtivos, nota-se um grande aumento da utilização do ferro e vidro. A nível de métodos construtivos, a grande diferença está na automação da produção de elementos construtivos, por exemplo, a produção de janelas que antes era feita artesanalmente, normalmente, por mais do que um trabalhador, utilizava agora novas máquinas, produto da inovação da revolução industrial, tornando-se num processo mais rápido e preciso, com menos desperdícios.

[23] (More, 2000, p. 2 e 3) "Choosing a fairly expansive period avoids having to justify particular dates as 'turning points'. 1750 and 1850 are chronological conveniences (…)"

> *"Greater efficiency in factor use can also be achieved by innovation – the adoption of a change which yields a more effective use of resources or provides some new service or item of consumption. Resources might be used more effectively because of a newly invented machine or through an improvement in organisation."*[24]

Por conseguinte, esta eficácia garantida pela inovadora utilização de recursos permitiu o crescimento sustentável das populações, a grande velocidade a que as cidades conseguiram crescer foi algo singular na história da humanidade, a rapidez com que se construíram as cidades nunca poderia ter sido imaginada antes do princípio da revolução.

Este longo processo de industrialização e automação gerado pela Revolução industrial introduziu a possibilidade da produção em série, com a eficiência das máquinas a tornar o processo mais rápido e barato, permitindo grandes avanços na forma de pensar edifícios. A geometria e matemática passam a estar ainda mais presentes na arquitetura, com uma tentativa de definição de medidas padrão para diferentes elementos.

Ao longo da sua vida, Le Corbusier estudou regras matemáticas e proporções baseadas no corpo humano para criar um sistema de medidas que permitisse "mecanizar" a construção, a base para desenhar arquitetura, o que o próprio chamou de Modulor.[25].

Assim, com a utilização de medidas padrão e a mecanização da construção, surge uma crescente utilização de elementos pré-fabricados e medidas pré-definidas, que levam, ultimamente, à utilização de métodos construtivos que permitem uma maior eficácia na produção de forma a minimizar os desperdícios e gastos energéticos.

---

[24] More, Charles, 2000, p. 11, tradução livre tradução livre da autora: "uma maior eficácia no fator de uso pode também ser alcançada pela inovação – a adoção de uma mudança que obriga a uma utilização mais eficaz dos recursos ou garante novos serviços ou artigo de consumo. Os recursos podem ser utilizados de maneira mais eficaz devido a uma nova máquina inventada ou pelo melhoramento na organização."

[25] Le Corbusier, 1956, "a harmonious measure to the human scale universally applicable to architecture and mechanics"

2.1. Modos de construir e os seus problemas

> *"The job of the architect is actually to demarcate a piece of infinite space and place it in an enclosure. The most elementary form of such an enclosure, the simple compartment (the nucleus of human shelter), is our starting point for the following deliberations. What principles apply when extending this single room in the horizontal and vertical directions to form complex room conglomerates? In doing so, how do we alter the structure of the resulting buildings?"*[26]

O desejo de evoluir da construção de abrigos individuais para o que se aproximaria hoje de edifícios públicos, os grandes edifícios que tinham como objetivo acolher aglomerados de pessoas e festividades, foi muito importante na evolução dos métodos construtivos. A necessidade de criar espaços mais amplos levou, inevitavelmente, à reformulação da forma de construir e adaptação às novas circunstâncias, de forma que se conseguissem construir vãos maiores e paredes mais altas.

> *"If the volume is enlarged, however, the dimensions of the structurally relevant parts also have to increase: the structural depth of ther oof and the thickness of the walls. But this is possible only up to a certain degree – until the load-carrying capacities of the materials are reached, thus forcing a change to the construction system."*[27]

---

[26] Desplazes, 2005, p. 243, tradução livre da autora: "O trabalho do arquiteto é, na verdade, demarcar um pedaço de espaço infinito e encerrá-lo num espaço fechado. A forma mais elementar de tal encerramento, o compartimento simples (o núcleo de abrigo humano), é o nosso ponto de partida para as seguintedes liberações. Quais princípios se aplicam ao estender este único compartimento nas direções horizontal e vertical para formar complexos conglomerados de salas? Ao fazer isso, como alteramos a estrutura dos edifícios resultantes?"

[27] Desplazes, 2005, p. 243, tradução livre da autora: "Se o volume é aumentado, contudo, as dimensões das partes estruturalmente relevantes também têm que aumentar: a profundidade estrutural do telhado e a espessura das paredes. Mas, isto só é possível até um certo ponto – até as capacidades de suporte de carga dos materiais serem atingidas, deste modo, obrigando a uma mudança no sistema construtivo."

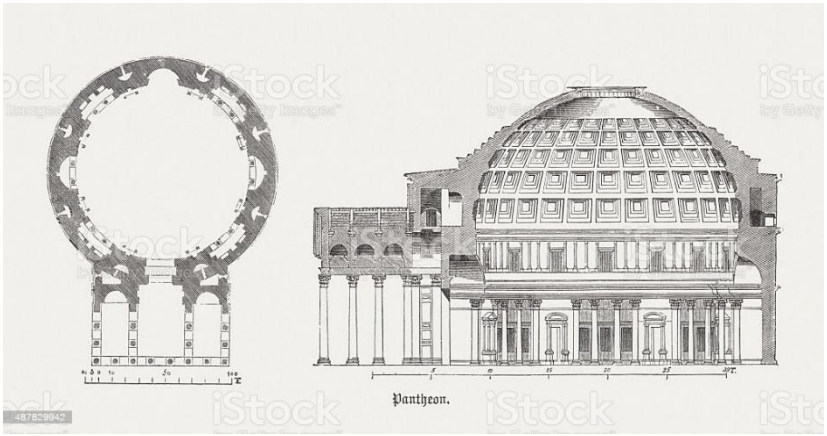


Figura 54 - Inovação construtiva, Panteão de Roma

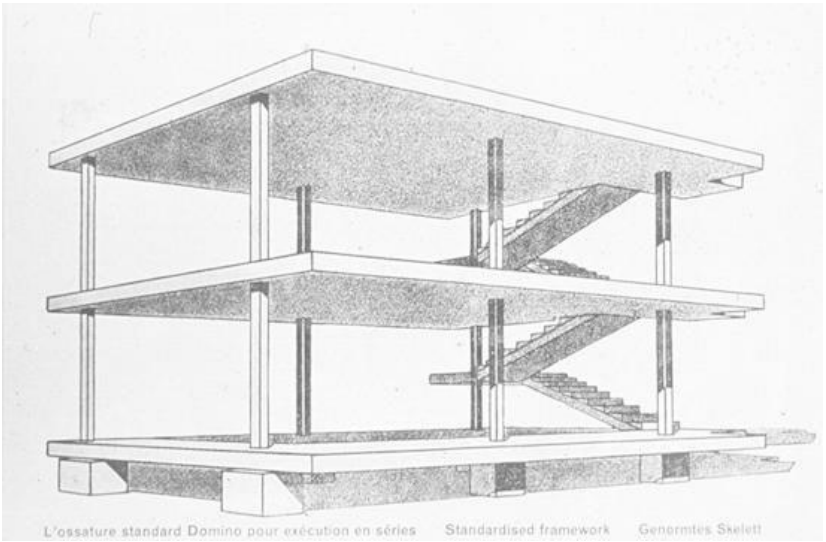


Figura 55 - O sistema estrutural de espessuras reduzidas da Casa Domino, Le Corbusier

O Panteão e a Casa Domino de Le Corbusier demonstram todos os obstáculos que podem ser ultrapassados quando a vontade e necessidade humana assim o exigem: a utilização de caixotões na cúpula do Panteão que permitiram a sua construção sem a necessidade de qualquer elemento estrutural no centro do espaço foi o princípio dos processos que permitiram alcançar a reduzida espessura de lajes da Casa Domino.

Por sua vez, sendo um edifício construído através da adição de "peças independentes", a casa Domino introduz a pré-fabricação, uma forma de produção mais rápida e eficiente dos elementos estruturais.

> *"The impetus behind systemised building (a term which still has to be defined) is due to many reasons. However, it is always accompanied by the desire to achieve optimised working procedures, whether in the planning, production or processing."*[28]

[28] Desplazes, 2005, p. 278, tradução livre da autora: "O impacto por trás da construção sistematizada (um termo que ainda tem que ser definido) deve-se a várias razões. Contudo, é sempre acompanhada pelo desejo de atingir procedimentos de trabalho otimizados, quer no planeamento, produção ou processamento"

2.1.1. Pré-Fabricação

> *"A minimal but relatively widely supported consensus on the dimensions of building components forms the basis for the modern building industry. So we can speak of systemised building because the quality and dimensions of individual components (primarily semi-finished goods, e.g. wood-based boards, metal sections, etc.) are defined by the relevant standards (SIA, DIN, etc.)."*[29]

Os métodos construtivos atuais são maioritariamente baseados em medidas pré-definidas e tratamento industrial dos materiais usados em construção. Antes de definir o material a ser utilizado num projeto, devem ser tidas em conta uma grande variedade de condicionantes que se prendem com os processos de pré-fabricação, sendo os mais influentes ligados a medidas, formas e acabamentos.

Um fator muito importante a considerar são as características físicas dos materiais (ex.: condutividade térmica, absorção acústica, sensação táctil, etc.), que podem muitas vezes ser otimizadas através de processos industriais aquando dos tratamentos dos materiais.

A pré-fabricação pode ser incorporada na construção de edifícios através da utilização de medidas padrão em elementos como janelas, vigas, prefis, etc., ou pela utilização de desenhos pré-definidos para sistemas de encaixe ou ligação, como acontece, por exemplo, na construção em madeira.

A difusão de sistemas baseados na pré-fabricação leva a uma tendência para a modulação da construção. Sistemas de construção modular são cada vez mais utilizados, como uma forma de otimizar o tempo de construção e a utilização de recursos, permitindo uma diminuição nos preços associados à indústria da construção, por utilizar menos mão de obra e, acima de tudo, reduzir o desperdício de materiais.

---

[29] Desplazes, 2005, p. 278, tradução livre da autora: "Um simplista, mas relativamente apoiado, consenso nas dimensões de componentes de construção forma a base da indústria de construção moderna. Então, podemos falar de construção sistematizada, porque a qualidade e dimensões de componentes individuais (maioritariamente bens semiacabados, ex.: placas de madeira, perfis de madeira, etc.) são definidos pelos standards relevantes (SIA, DIN, etc.)."

2.2. E a sustentabilidade?

Foi em 1987 que, na United Nations Brundtland Commission, se formou a definição de sustentabilidade que ainda hoje é aceite. Esta definição dizia que um desenvolvimento sustentável deve "assegurar o cumprimento das necessidades da geração presente sem pôr em causa a capacidade de as gerações futuras cumprirem as suas próprias necessidades."[30].

A necessidade de criar esta definição surge da tentativa de corrigir um acumular de efeitos negativos causados pelos novos métodos de design introduzidos pela Revolução Industrial. Esses efeitos negativos, ligados quase todos aos recursos naturais, caracterizam-se pela libertação em enormes quantidades de substâncias tóxicas para o ar, água e solo, as quantidades gigantes de desperdícios, a produção de materiais tóxicos, a exaustão da exploração de recursos naturais sem considerar utilizações futuras e, por fim, a diminuição de práticas culturais e diversidade no design.

As consequências tornaram-se visíveis ainda no século XVIII, "o ar de Londres estava tão sujo com poluentes aéreos, especialmente emissões de carvão queimado, que as pessoas trocavam os punhos e colarinhos ao final do dia"[31], mas aí ainda não se sabia inteiramente as consequências que isto teria na saúde pública e no futuro do nosso planeta.

As grandes ameaças destes novos métodos de produção foram a sobre-exploração de recursos naturais e a falta de preocupação com o seu fim de vida.

[30] Report of the World Commission on Environment and Development Our Common Future, United Nations, 1987, p. 15, tradução livre do original: "ensure that it meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs."

[31] McCdonough & Braungart, 2002, p. 20, tradução livre do original: "London air was so grimy from airborne pollutants, especially emissions from burning coal, that people would change their cuffs and collars at the end of the day."



Figura 56 - Cultura de produção e desperdício



Figura 57 - Representação da sobreexploração dos recursos naturais

> *"Early industries relied on a seemingly endless supply of natural "capital." Ore, timber, water, grain, cattle, coal, land - these were the raw materials for the production systems that made goods for the masses, and they still are today"*[32]

Vários anos mais tarde, surgiram planos para alterar a forma como construímos com metas claras para 2030. Essas metas implicam a obrigação de mudanças drásticas na forma de construção e utilização dos materiais que se verificam nos métodos construtivos atuais.

> *"Today our understanding of nature has dramatically changed. New studies indicate that the oceans, the air, the mountains, and the plants and animals that inhabit them are more vulnerable than early innovators ever imagined. But modern industries still operate according to paradigms that developed when humans had a very different sense of the world. Neither the health of natural systems, nor an aware ness of their delicacy, complexity, and interconnectedness, have been part of the industrial design agenda. At its deepest foundation, the industrial infrastructure we have today is linear: it is focused on making a product and getting it to a customer quickly and cheaply without considering much else."*[33]

Então, a construção é encarada, maioritariamente, como um processo que dita o início e o fim da vida de todos os materiais que a compõe. Ou seja, suponhamos que se vai construir um edifício em madeira. A forma mais comum de pensar é que será utilizada madeira retirada diretamente da floresta, esta será aplicada no edifício e, quando o edifício deixar de ser

---

[32] McCdonough & Braungart, 2002, p. 24, tradução livre da autora: "As indústrias pioneiras dependiam de, aparentemente, infinitas provisões de "capital" natural. Metais, madeira, água, cereais, gado, carvão, território – estas eram as matérias-primas para os sistemas de produção de bens para a população, e ainda o são hoje."

[33] McCdonough & Braungart, 2002, p. 24, tradução livre da autora: *"Hoje a nossa compreensão da natureza mudou dramaticamente. Novos estudos mostram que os oceanos, o ar, as montanhas, e as plantas e animais que os habitam são mais vulneráveis do que os inovadores anteriores consideraram. Mas as industrias modernas continuam a operar de acordo com paradigmas desenvolvidos quando os humanos tinham uma ideia muito diferente do mundo. Nem a saúde de sistemas naturais, nem a consciência da sua delicadeza, complexidade e interligação, têm sido parte da agenda dos processos de design industrial. Na sua fundação, a infra-estrutura industrial que temos hoje é linear: foca-se em fazer um produto chegar ao cliente mais rápido e barato sem ter em conta muitas mais coisas."*

necessário, será demolido e a madeira utilizada (assim como todos os outros materiais) será depositada num aterro e nunca mais será usada a não ser, talvez, para produção de calor ao ser queimada. Esta forma de utilização de materiais, considerando que a sua vida tem um princípio e um fim, cuja sua durabilidade é definida pelo período de uma única utilização, é o que foi definido como economia linear dos materiais. Os materiais são extraídos, processados, utilizados na construção e, por fim, dispostos num aterro sem qualquer plano para utilizações futuras que possam ajudar a reduzir os efeitos negativos sentidos pela sua produção.

> *"All of nature's industry relies on energy from the sun, which can be viewed as a form of current, constantly renewing income. Humans, by contrast, extract and burn fossil fuels such as coal and petrochemicals that have been deposited deep below the Earth's surface, supplementing them with energy produced through waste-incineration processes and nuclear reactors that create additional problems."*[34]

As principais consequências destes métodos de construção e produção são, então, não apenas a exploração exaustiva de recursos que, a este ritmo de exploração, se tornam em recursos não renováveis, mas também a poluição causada pela sua exploração, produção e tratamento.

Contudo, novos conceitos têm sido criados nas últimas décadas, para tentar resolver os problemas que foram surgindo ao longo dos tempos, causados pela adoção das ideias introduzidas pela Revolução Industrial. Conceitos de sustentabilidade e crescimento sustentável têm sido palavras de ordem nos últimos anos pois, devido ao uso abusivo de matérias-primas não-sustentáveis e agentes poluentes, entre outros, o futuro da humanidade parece estar em risco. Com o avançar dos anos e a opção por manter hábitos introduzidos há 200 anos, cada vez parece haver menos condições para a

[34] McCdonough & Braungart, 2002, p. 31, tradução livre da autora: *"Todas as indústrias da natureza dependem da energia do sol, que pode ser vista como uma forma de rendimento constantemente renovável. Os humanos, em contraste, extraem e queimam combustíveis fósseis como carvão e petro-químicos que estão depositados muito abaixo da superfície terrestre, complementando-os com energia produzida por processos de incineração de resíduos e reatores nucleares que criam problemas adicionais."*

vida humana num futuro que, ao contrário de o que se pensa, não está assim tão distante.

Surge, então, a necessidade de construir uma sociedade a pensar no futuro, uma sociedade com hábitos diferentes dos que vemos, onde tudo muda, até a arquitetura e a forma de construir. As novas metas impostas pela União Europeia implicam a obrigação de que uma construção tenha uma percentagem de pelo menos 50% inserida num sistema circular de recursos energéticos, materiais e de resíduos, em contraste com as construções baseadas quase totalmente num sistema linear que temos hoje em dia.

> *"To deliver the European Green Deal, there is a need to rethink policies for clean energy supply across the economy, industry, production and consumption, large-scale infrastructure, transport, food and agriculture, construction, taxation and social benefits. To achieve these aims, it is essential to increase the value given to protecting and restoring natural ecosystems, to the sustainable use of resources and to improving human health. This is where transformational change is most needed and potentially most beneficial for the EU economy, society and natural environment. The EU should also promote and invest in the necessary digital transformation and tools as these are essential enablers of the changes."*[35]

Existe, a partir de agora, a necessidade de repensar a forma como usamos as matérias-primas na construção, a forma como os materiais são utilizados e despojados quando termina a sua utilidade num edifício terá que mudar.

[35] In COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE EUROPEAN COUNCIL, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS The European Green Deal
COM/2019/640 final

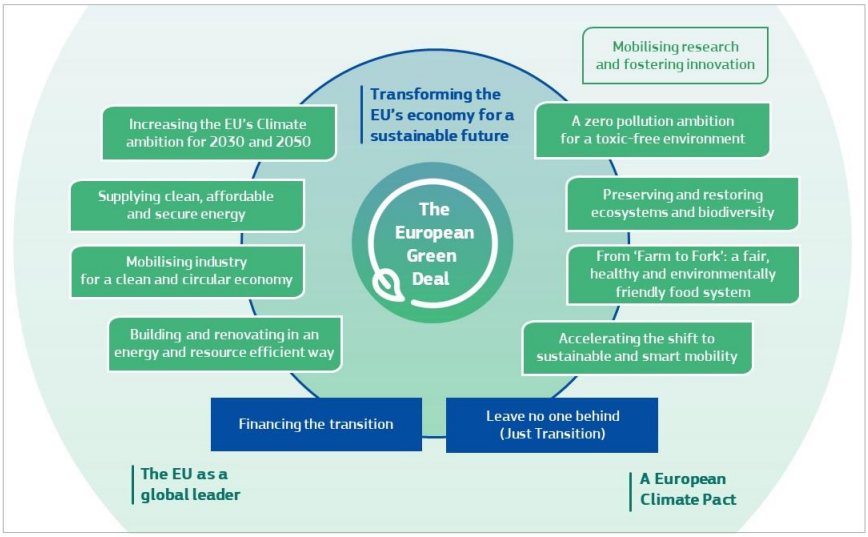


Figura 58 – Plano da União Europeia para atingir os objetivos de sustentabilidade

2.3. Economia Circular

> *"brute force energy doesn't make good sense as a dominant strategy over the long term. You wouldn't want to depend on savings for all of your daily expenditures, so why rely on savings to meet all of humanity's energy needs?"*[36]

A forma de construir atual depende de uma ideia que os recursos a serem utilizados numa construção devem ser retirados da natureza ou produzidos pela primeira vez para aquela utilização. A ideia de que todos os recursos naturais são limitados ainda não está a ser avaliada com cuidado suficiente e as medidas necessárias para evitar o esgotamento dos mesmos precisam de ser reforçadas. *"Im Wesentlichen haben wir immer noch eine Linearwirtschaft, keine Kreislaufwirtschaft. Das ist ökologisch fatal, ökonomisch leicht fertig und sozial unintelligent."*[37]

A União Europeia traçou um objetivo para o futuro próximo que procura a mudança dos hábitos de utilização dos recursos, que deverá iniciar durante o projeto. A mudança de paradigma em que a construção, baseada numa economia linear, caracterizada pela exploração, utilização e, por fim, livrar-se dos materiais, se transforme numa atividade baseada numa economia circular sustentada na reutilização e reciclagem dos materiais.

A maior parte do tempo das nossas vidas é passada no interior dos edifícios. A qualidade dos espaços nestes edifícios é muito importante para definir a nossa qualidade de vida. Aspetos mais técnicos como a materialidade e eficiência energética são definidores da sua qualidade também, pelo impacto que terão nas gerações futuras. O ciclo de vida dos materiais compreende o tempo de vida do edifício, mas, poderá ser

[36] McCdonough & Braungart, 2002, p. 32, tradução livre da autora: "(…) energia de força bruta não faz muito sentido como estratégia dominante para longo curso. Não quereríamos depender de poupanças para todas as nossas necessidades diárias, então, porquê que dependemos de poupanças para alcançar as necessidades energéticas da humanidade?"

[37] Günther Bachmann in Atlas Recycling, 2018, p. 7, tradução livre da autora: "Essencialmente, nós ainda temos uma economia linear, não uma economia circular. Isto é ecologicamente fatal e económica e socialmente pouco inteligente."

reutilizado. No entanto, essa reutilização só poderá ser efetiva se a sua colocação em obra permitir equacionar essa possibilidade. Apesar de o tempo de vida do edifício ser, normalmente, o período mais longo do ciclo de vida dos materiais, considerado comummente com uma duração de cerca de 50 anos, este é composto por todas as fases desde o momento em que é retirado da natureza, tratamento industrial, construção, vida útil do edifício, demolição e, por fim, depósito num aterro. Este é o "ciclo" linear que se deverá transformar num ciclo circular, sem fim, um ciclo que não termina num aterro.

O grande princípio que nos pode ajudar a alcançar este objetivo é a criação de um novo conceito de projeto, uma forma de projetar que se baseia na ideia de que um edifício pode ser considerado um banco de materiais para o futuro. O projeto seria então o desenvolvimento de uma ideia de construção, baseado em processos simples de montagem que possa permitir a sua desmontagem, e que durante a vida do edifício, se possa garantir a fácil manutenção e reparação, para garantir a reciclagem e a reutilização dos materiais no futuro.

Este, ao contrário do conceito de economia linear é, na sua essência um ciclo, uma sucessão de eventos que, no seu expoente máximo de eficiência, não teria fim, voltando sempre ao princípio.

Existem 4 fases no período de vida de um produto numa situação de economia linear que aplicadas à construção se traduzem numa primeira fase de produção dos componentes, em que a matéria-prima é recolhida e tratada; uma segunda fase de construção, que envolve o transporte e aplicação na obra; uma terceira que é o período de utilização; e, por último, a quarta fase, do final de vida, que se verifica na demolição e depósito num aterro.

De forma a fechar o ciclo, a teoria de economia circular sugere que após a fase 3 se volte à fase 1. Para ser possível essa alteração, é necessário introduzir outras fases intermédias que compreendem a reciclagem e reutilização para que, após ser utilizado, um componente possa ser reaproveitado renovado e reaproveitado para outros usos. Desta forma, o ciclo passaria pelas seguintes fases: produção dos componentes, construção, período de utilização, reciclagem, e voltava ao início.

Assim, enquanto a economia linear se baseia num modelo de produção de retirar da natureza e destruir após uma única utilização, a economia circular tem uma abordagem mais contida que pretende minimizar a exploração de recursos naturais, a produção de resíduos e desperdícios energéticos. Isto é garantido através do prolongamento do período de vida dos materiais pela utilização em mais do que um edifício, que permite o fecho do ciclo circular da sua utilização e da conservação de energia.

Para possibilitar estas adaptações, é essencial ajustar, também, a forma atual de projetar um edifício. Seria necessário projetar com o futuro em mente, pensar na forma como cada componente utilizado pode ser reutilizado no futuro, na forma como o edifício vai ser construído, mas, também, desconstruído no final do seu tempo de vida.



Figura 59 - Esquema ilustrativo do sistema de economia linear

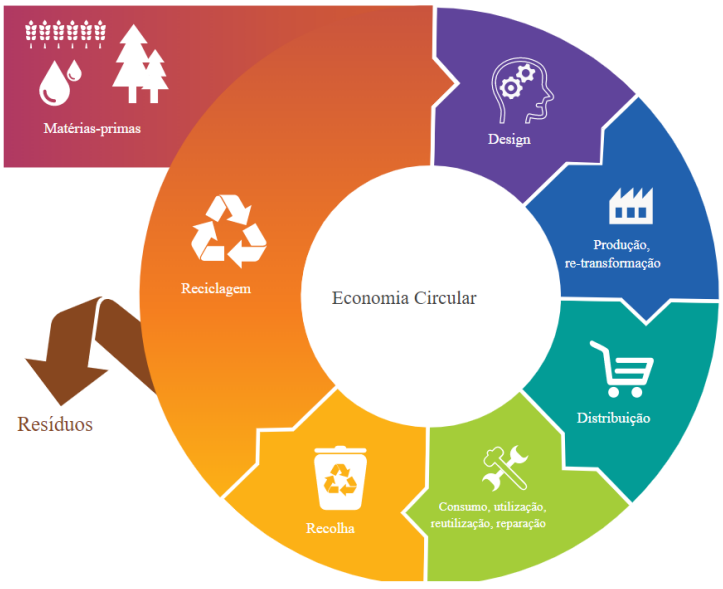


Figura 60 – Implicações do conceito de economia circular

2.4. A crescente necessidade de reciclagem e reutilização

> *"Dem Rückbau bzw. Abbruch kommt hinsichtlich der Verwertungsmöglichkeiten eine Schlüsselfunktion zu, denn je selektiver der Rückbau bzw. Abbruch erfolgt, desto sortenreiner lassen sich die verbauten Materialien zurückgewinnen und desto einfacher die Qualitätsanforderungen an die Rezyklate erfüllen. Die Verfahren und die eingesetzten Techniken spielen dabei eine große Rolle."*[38]

Reciclagem e reutilização são processos bastante diferentes e podem ocorrer em conjunto ou ser completamente independentes. Enquanto os dois se baseiam no mesmo princípio de transformar o que seria considerado desperdício num novo produto, os processos para chegar a esse fim são bastante diferentes. Na reciclagem, o produto que seria desperdiçado passa por uma série de processos industriais que permitem transformá-lo em algo novo, muitas vezes com funções diferentes; numa reutilização, o produto é recuperado sem passar por grandes transformações e é utilizado de novo, mantendo o produto anterior, mesmo que seja utilizado para novas funções.

Analise-se o exemplo das latas de alumínio que são comummente recicladas em oposição a um processo de reutilização de um perfil de alumínio. Uma lata de refrigerante, quando é reciclada é derretida para poder voltar a ser moldada. Quando isto acontece, a tinta e outros componentes utilizados na lata para além do alumínio são derretidos em conjunto com o mesmo, reduzindo a sua pureza e a sua qualidade. Então, para voltar a ter uma qualidade aceitável, na maior parte dos casos, é necessário que seja adicionado mais alumínio puro à "mistura" para que a percentagem de pureza seja atingida. Este processo é por vezes referido como "*downcycling",* por reduzir a qualidade do produto. No caso de latas de refrigerante, as exigências de pureza são reduzidas, mas, para a área da construção, num caixilho, por exemplo, a percentagem de pureza do alumínio tem que ser

[38] Anja Rosen in in Atlas Recycling, 2018, p. 16, tradução livre da autora: "O processo de desmontagem e demolição são um ponto chave no que diz respeito às opções de reciclagem, porque quanto mais seletivo é o processo, mais precisamente os materiais utilizados podem ser recuperados e mais fácil é atingir os requerimentos para materiais reciclados. Os processos e técnicas usadas têm um papel muito importante nisto."

bastante mais elevada, o que significa que a quantidade de alumínio reciclado utilizado na produção de um caixilho é bastante reduzida.

> *"most recycling is actually downcycling; it reduces the quality of a material over time. When plastics other than those found in soda and water bottles are recycled, they are mixed with different plastics to produce a hybrid of lower quality, which is then molded into something amorphous and cheap, such as a park bench or a speed bump. Metals are often downcycled."*[39]

A reutilização baseia-se em manter a qualidade inicial do produto. Para reutilizar uma viga metálica, não é necessário derretê-la para voltar a moldá-la. A maneira mais comum de o fazer é isolar o elemento, retirá-lo da construção e, garantida a sua qualidade, aplicá-lo diretamente noutra construção, ou utilizá-lo para outros fins, mantendo sempre a forma inicial.

Normalmente, os gastos energéticos de reutilização são menores em comparação com reciclagem e a qualidade dos produtos mantém-se. Contudo, é frequente que os gastos energéticos sejam superiores no processo de isolamento dos elementos quando o edifício não foi inicialmente pensado para tal fim. Para além disso, o processo de reutilização, geralmente, apresenta menores emissões de elementos poluentes, pois não depende tanto da indústria e necessita de menos transportes. A nível económico, o processo de reutilização pode ser mais eficiente do que o processo de reciclagem, desde que tenha sido pensado desde o princípio do processo de construção.

> *"Der modulare Aufbau eines Gebäudes verbessert die Chancen auf spätere Wieder- oder Weiterverwendung der einzelnen Bauteile. Oftmals liegt hierin die einzige Option ungenügend*

[39] McCdonough & Braungart, 2002, p. 56, tradução livre da autora: "A maior parte da reciclagem é, na verdade, downcycling; reduz a qualidade de um material ao longo do tempo. Quando plásticos que não são os que se encontram numa garrafa de sumo ou água são reciclados, estes são misturados com outros plásticos para produzir um híbrido de reduzida qualidade, que é depois moldado em algo amorfo e barato, como um banco de jardim ou uma lomba de estrada. Os metais são frequentemente downcycled."

verwertbare mineralische Baustoffe einem echten Recycling zuzuführen.“[40]

A modulação da construção ajuda no processo de separação dos elementos, que é indispensável para possibilitar a reutilização e permite a reciclagem sem que a qualidade do produto inicial seja reduzida drasticamente.

Deve ser dada prioridade à reutilização em relação à reciclagem. Esta última, apesar de se apresentar como uma forma de alcançar a circularidade desejada na utilização dos materiais, deve ser utilizada como último recurso por ser a que apresenta mais desvantagens.

“Recycling is an aspirin. alleviating a rather large collective hangover... overconsumption." (…) "The best way to reduce any environmental impact is not to recycle more, but to produce and dispose of less”[41]

A reciclagem é, por vezes, a única opção, devido ao facto de o conceito de *design for disassembly* ainda estar pouco desenvolvido e os edifícios ainda serem desenhados quase sempre sem um plano para o futuro. Assim, torna-se a solução mais viável devido à fase embrionária em que se encontram as ideias que permitem reutilizações simples. Contudo, deverá haver uma mudança de paradigma e uma maior aposta nas soluções que nos permitem reutilizar materiais e energia no futuro, para que esse futuro possa existir e dar garantias de condições à vida humana.

[40] Annette Hillebrandt in Atlas Recycling, 2018, p. 13, tradução livre da autora: “A estrutura modular de um edifício melhora as hipóteses de uma posterior reutilização ou reciclagem dos componentes individuais. Por vezes, esta é a única opção que nos permite providenciar materiais minerais de construção insuficientes para reciclagem.”

[41] McCdonough & Braungart, 2002, p. 50, tradução livre da autora: “Reciclar é uma aspirina, que alivia uma relativamente enorme ressaca coletiva… o consumismo. (…) A melhor maneira de reduzir o impacto ambiental não é reciclar mais, mas produzir e desperdiçar menos”



Figura 61 – Complexidade da construção do automóvel



Figura 62 - Reciclagem sem separação de componentes reduz o grau de pureza do material

2.4.1. Urban Mining

> *"Ressourcenschonung beginnt bei der Nachnutzung von Land und Gebäudebestand: Jede Weiternutzung hat Vorrang vor der Erschließung weiterer Neubaugebiete."*[42]

O conceito de *Urban Mining*, é um conceito que se baseia na ideia de que um edifício pode ser uma fonte de recursos, podendo os seus componentes voltar a ser utilizados noutros edifícios, ou qualquer outro local depois de o edifício atual chegar ao final do seu período de vida.

Desta forma, é necessário ter em consideração não apenas os anos que o edifício que está a ser projetado deverá durar, mas um futuro de duração desconhecida.

"Nutzungsflexibilität ist die erste Voraussetzung für zukünftigen Re-Use. Die Nutzungsflexibilität wird ganz wesentlich von der Gebäudestruktur bestimmt."[43] Tendo em conta que a estrutura é, normalmente, a parte da construção com mais densidade de massa, e cujos resíduos são, muitas vezes os mais prejudiciais para o ambiente, garantir uma estrutura que permita flexibilidade para diferentes usos, evoluções do edifício e reutilização dos seus componentes é fulcral.

> *"Grundrisse, frei von tragenden Wänden, ermöglichen jederzeit neue Raumaufteilungen. Der Skelettbau – verglichen mit dem Massivbau – bietet die gleiche Leistung bei weit geringerem Materialeinsatz und birgt weiteres Potenzial zum ressourcenschonenden Bauen (…)"*[44].

---

[42] Annette Hillebrandt in Atlas Recycling, 2018, p. 10, tradução livre da autora: *"A conservação de recursos começa com o uso subsequente de território e edifícios existentes: qualquer uso posterior tem prioridade sobre a evolução de novas áreas de desenvolvimento."*

[43] Annette Hillebrandt in Atlas Recycling, 2018, p. 10, tradução da autora: "A flexibilidade é o primeiro requerimento para reutilizações futuras. A flexibilidade de utilização é amplamente determinada pela estrutura do edifício."

[44] Annette Hillebrandt in Atlas Recycling, 2018, p. 10, tradução livre da autora: "Plantas sem paredes portantes permitem novas distribuições e compartimentos a qualquer momento. A construção em esqueleto – comparada à construção solida – oferece o mesmo desempenho com muito menos material e oferece mais potencial para construções que pretender poupar recursos (…)"

O conceito de *urban mining* inclui também a utilização de componentes isolados. Ao desmantelar um edifício de habitação, devemos ser capazes de separar os elementos construtivos facilmente, de forma a que estes possam voltar a ser utilizados. Desta forma os resíduos mandados para o aterro serão reduzidos, assim como a percentagem de desperdícios e a exploração de recursos.

Para que este seja um processo bem-sucedido, é necessário mais do que considerar uma estrutura flexível. Apesar de a estrutura ser um ponto chave, a única forma de tornar o processo eficaz seria garantir que todos os elementos podem ser reaproveitados. Para isso, seria necessário garantir que é possível retirar cada elemento da construção intacto quando esta vai ser demolida. É neste momento que surge o conceito de *Design for Disassembly*.

2.4.2. Design for Disassembly

> *"Rückbaufreundlichkeit der Konstruktion und Recyclingfähigkeit der Materialien sind entscheidende Parameter für ein in die Zukunft gedachtes Urban Mining."*[45]

Para garantir a eficácia do conceito de *urban mining*, é necessário que os elementos das construções sejam facilmente isolados, utilizando o conceito de *design for disassembly*. O princípio base é um sistema que remete à construção com legos. A construção deve ser facilmente desmontável, para isso, o projeto deverá ter em conta a forma de construir como e de desconstruir. Desta forma, cada 'peça' pode ser aproveitado para futuras utilizações pela redução dos danos sofridos na fase de demolição do edifício.

> *"Lösbar miteinander verbundene Konstruktionen als Alternative zu den weitverbreiteten geklebten Verbindungen und Verbundkon struktionen sind schnell und wirtschaftlich zu demontieren. Die dadurch ermöglichte sortenreine Rückgewinnung – ohne Anhaftungen anderer Materialien – ist der Schlüssel zu gewinnbringendem Recycling. Im Sinne eines widerstandsfähigen, nachhaltigen Gebäudes vereinfachen lösbare Verbindungen Reparaturen und Modernisierungen"*[46]

Este tipo de construção de encaixes secos apresenta grandes vantagens em relação às construções com "juntas húmidas" (colas e silicones, por exemplo), pois esse tipo de juntas danificam muitas vezes o material utilizado e são difíceis de remover, na maior parte dos casos, o tempo de remoção é demasiado elevado e o processo é demasiado complexo, acabando por não compensar economicamente. O mesmo acontece com os

[45] Annette Hillebrandt in Atlas Recycling, 2018, p. 13, tradução livre da autora: "A facilidade de desmontagem de uma construção e o caracter reciclável dos materiais são parâmetros decisivos para o urban mining do futuro."

[46] Annette Hillebrandt in Atlas Recycling, 2018, p. 13, tradução livre da autora: "Construções com encaixes desmontáveis, como alternativa às comumente utilizadas conexões com cola e construções compostas, podem ser desmontadas rápido e de maneira mais económica. A recuperação total resultante – sem aditivos de outros materiais – é a chave para uma reciclagem rentável. No sentido de um edifício robusto e sustentável, conexões desmontáveis simplificam reparações e atualizações."

acabamentos: um acabamento natural é preferível a um acabamento com tinta, por exemplo, pois é mais fácil recuperar o material no final do período de vida do edifício, sem grandes tratamentos ou processos de recuperação. *"Derzeit ist es nur mit hohem wirtschaftlichem Aufwand möglich, Gemische aus verschiedenen Stoffgruppen zu separieren, um sie für ein Recycling zu nutzen."*[47]

Muitas vezes é dada preferência à utilização de apenas um material, pois, desta forma, o processo de reciclagem e recuperação é o mesmo para todo o componente. *"Vollständig aus einem einzigen Material konstruierte Bauteile machen die Lösbarkeit ihrer Verbindungen obsolet, da alle Komponenten denselben Verwertungsprozess durchlaufen"*[48]

Estas características são frequentemente observadas em construções em madeira, por exemplo. A construção em madeira permite acabamentos quase naturais, com técnicas de encaixe bastante desenvolvidas ao longo dos anos. Para além disso, é um material adaptável e de fácil manutenção e muito versátil que permite a construção de edifícios utilizando apenas um material.

Os conceitos de *design for disassembly* e *urban mining* combinados permitem-nos instroduzir a circularidade na construção, e aproximar-nos dos objetivos de sustentabilidade. Mas exigem um planeamento antecipado, aquando do processo de projeto, e previsão futuras utilizações dos elementos que utilizamos na construção.

[47] Annette Hillebrandt in Atlas Recycling, 2018, p. 13, tradução livre da autora: "De momento, só é possível separar misturas de diferentes grupos de substâncias com um grande esforço de forma a reciclá-los."

[48] Annette Hillebrandt in Atlas Recycling, 2018, p. 13, tradução livre da autora: "Componentes completamente construídos de um único material ultrapassam o fator de desmontagem, pois todos os componentes passam pelo mesmo processo de reciclagem."



Figura 63- A construção em legos é o melhor exemplo do conceito de design for disassembly

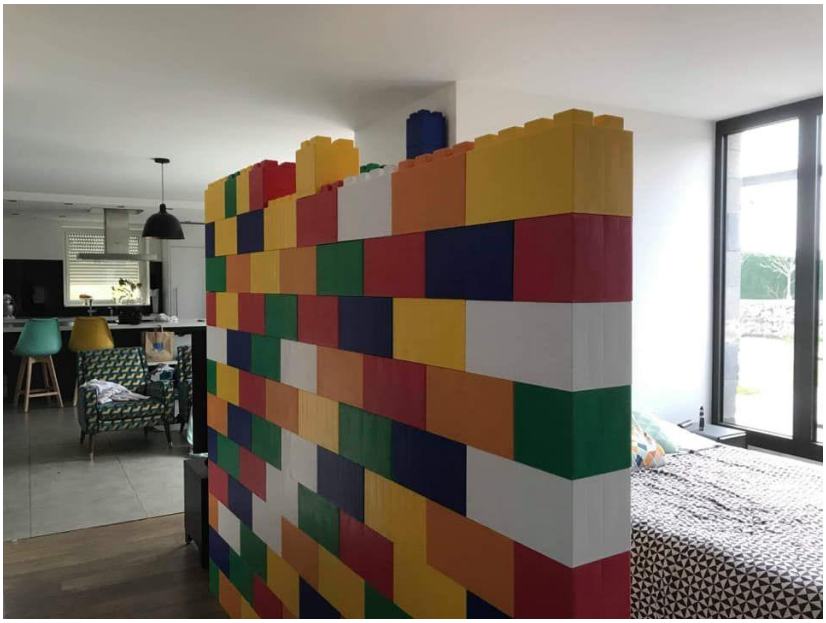


Figura 64 - Utilização de um sistema de LEGO à escala real para paredes divisórias

2.5. Os 3 Ciclos: materiais, energia e resíduos

Um edifício é um conjunto de elementos selecionados e organizados de forma que se complementem e permitam a construção e funcionamento do mesmo, cuja organização é decidida com base nos objetivos a que se propõe. Neste trabalho, o objetivo é alcançar a sustentabilidade na construção, assim sendo, existem fatores específicos a ter em conta que ditam a forma como cada elemento vai ser selecionado e disposto no projeto: o impacto dos materiais escolhidos, os gastos energéticos do edifício e os resíduos poluentes que são lançados na sua construção, em conjunto com os que resultarão da sua demolição.

Assim, seria prudente pensar cada um com base no conceito de economia circular e criar 3 ciclos: um ciclo de materiais, um ciclo energético e um ciclo de resíduos. Cada um destes ciclos pode ser individualizado ou dependente dos outros e todos têm o objetivo de reduzir ao máximo os desperdícios e a necessidade de introdução de novas matérias-primas. *"Waste is food".*[49]

O ciclo de materiais deve ser baseado na ideia de economia circular, na reutilização e reciclagem de materiais, utilizando os conceitos de *urban mining* e *design for disassembly* como base de todos os projetos. O objetivo seria conseguir construir um edifício que, para além de se poder adaptar a alterações de programa ou uso ao longo do tempo, poderia também, no final de vida, ser "desmontado" e completamente reutilizado.

Em oposição, o ciclo energético, não pode ser um ciclo circular. A energia é produzida e utilizada. Após a utilização, deixa de existir, não é possível reutilizá-la, quebrando o ciclo. Então, a energia é sempre um fator linear nos edifícios, que passa pelas fases de produção, armazenamento, utilização, sem voltar ao princípio. Contudo, há fatores específicos a este ciclo que podem reduzir o seu impacto ambiental e as necessidades de produção artificial. Estes métodos estão associados à utilização de energia produzida por fontes naturais, como a energia solar, eólica, hidráulica, geotérmica… A

[49] Expressão utilizada diversas vezes no livro Craddle to Craddle de McCdonough & Braungart que está na base do conceito criado pelos autores.

utilização de energias provenientes de fontes naturais, permite-nos reduzir tanto a produção como os desperdícios, pois a energia é produzida a partir de uma energia já existente que, de outra forma, seria desperdiçada.

O ciclo de resíduos tem três fases distintas: uma durante o período de construção, a segunda durante o período de vida do edifício e, por fim, o final de vida do edifício. Na primeira, é importante perceber que resíduos serão produzidos e desperdiçados para a construção do edifício; na segunda fase, é importante compreender os resíduos produzidos durante o período de utilização do edifício e a forma como estes serão tratados e eliminados; na terceira e última fase, é importante saber o que vai acontecer aos elementos que formam o edifício quando este for demolido, se serão desperdícios mandados para um aterro ou se serão reutilizados, assim como os resíduos produzidos para possibilitar os processos de demolição ou reutilização. O objetivo é que, em todas as fases os desperdícios e produção sejam reduzidos, tal como com o ciclo energético e, se possível, fazer com que este se torne num processo circular em que os resíduos possam ser transformados e reutilizados.

PARTE 3 – Estudo dos ciclos

3.1. Ciclo energético

> *"Manche Materialien werden knapp und entsprechend teurer, andere erzeugen ungewollte Auswirkungen auf Umwelt und Nutzer, wieder andere erfüllen nicht dauerhaft die an sie gestellten Ansprüche. Dies gilt in gleichem Maße für die konventionellen Energieträger: Auch sie sind knapp und verteuern sich zusehends; darüber hinaus gelten sie als wesentliche Verursacher des Klimawandels und weiterer Umweltbelastungen. Die prognostizierte Reichweite nicht erneuerbarer Energieträger wie Erdgas und Erdöl ist geringer als die zu erwartende Lebensdauer vieler Gebäude, nicht nur der Neubauten."*[50]

Quase todas as funcionalidades de um edifício requererem gastos energéticos, controlo de temperatura interior, iluminação artificial, entre outros, e o período de utilização do edifício é o mais longo de todas as fases de vida do mesmo. Ainda assim, é na fase de construção, desde a produção e tratamento de peças até à construção literal do edifício, que é utilizada mais energia.

Assim, por a construção ser a atividade do ser humano que utiliza mais meios, tanto energéticos como materiais e, consequentemente, gera mais desperdícios[51], é importante compreender de que forma é que estes gastos e desperdícios afetam negativamente o ambiente para ser possível reduzir as consequências negativas.

A palavra ciclo não é a mais apropriada para descrever o que acontece com a utilização energética: a energia é produzida para depois ser

[50] Hegger, Fuchs, Stark, Zeumer, 2007, p. 6, tradução livre da autora: "Alguns materiais estão a tornar-se raros e consequentemente mais caros, outros produzem efeitos indesejados no meio ambiente e seus utilizadores, enquanto outros não atingem permanentemente os objetivos a que se propõe. Isto aplica-se de igual forma às fontes de energia convencionais: estas são demasiado escassas e estão a tornar-se cada vez mais caras; também são consideradas como a principal causa das alterações climatéricas e outros tipos de poluição ambiental. A previsão do alcance de fontes de energia não renováveis como o gás natural e o petróleo é inferior à do tempo de vida esperado para muitos edifícios, não apenas edifícios novos."

[51] Hegger, Fuchs, Stark, Zeumer, 2007, p. 6

utilizada e 'desaparecer'. Não é possível reutilizar uma quantidade de energia que já foi utilizada. Por exemplo, no caso de um sistema de aquecimento que funciona a gás, existe um produto inicial que funciona como combustível, o processo de combustão que se dá é o que gera energia que ao aquecer o ar cumpre a sua função, mas nunca voltará à fase anterior em que tem o potencial de aquecer o ar.

Desde a Revolução Industrial, as formas mais utilizadas de produzir energia têm sido através de processos que utilizam recursos naturais finitos, como por exemplo o petróleo, gás natural ou carvão[52]. A sobre-exploração a que estes foram expostos num curto período de tempo, levou a uma redução drástica dos depósitos naturais destes recursos. Assim, as elevadas necessidades energéticas do ser-humano, não podem ser sustentadas por recursos energéticos que levam milhares de anos a formar-se.

A exploração mais rápida do que a formação do recurso não é o único problema associado à utilização deste tipo de recursos energéticos. Existem outros pontos negativos associados à utilização de petróleo, gás natural e carvão para produção de energia, nomeadamente o impacto ambiental que este ato tem, associado à emissão de gases e resíduos poluentes, desde a sua exploração à sua produção e utilização.

Assim, é importante compreender de que forma podem ser ultrapassadas todas estas fragilidades que o atual sistema de produção de energia nos apresenta, desde a descontinuidade no ciclo energético às emissões de substâncias prejudiciais para o meio ambiente.

[52] Hegger, Fuchs, Stark, Zeumer, 2007, p. 39

3.1.1. Emissões de CO_2

Com a Revolução Industrial, a população mundial tem verificado que essa evolução tecnológica parece estar a acelerar, cada vez existem mais soluções e novas invenções que têm como intuito melhorar a qualidade de vida do ser humano.

Porém, todas estas mudanças têm consequências e, na maior parte dos casos, o maior lesado é o meio ambiente. No caso da arquitetura, as mudanças tecnológicas influenciam bastante os métodos construtivos, com formas de construção mais rápidas e eficientes. Quanto a aspetos relacionados com o conforto humano, como a iluminação, a ventilação e o aquecimento artificial, a automação de elementos tecnológicos, como portas automáticas, maior utilização de eletrodomésticos são potenciadores da melhoria de qualidade de vida e, simultaneamente, potenciam a nossa dependência, sobretudo de energia.

Quase todos os eletrodomésticos funcionam através de energia elétrica, sistemas de aquecimento dependem, na maior parte dos casos, de sistemas de combustão, assim como quase todas as máquinas utilizadas na fase de construção, extração e tratamento de materiais.

A combustão é um processo que nos permite obter energia através da mistura de elementos químicos, que podem ser gases ou outras substâncias, em que, essa mistura reage e provoca libertação de energia, normalmente na forma de chama ou calor. Entre as principais substâncias utilizadas como combustível atualmente encontram-se, por exemplo, o petróleo, o carvão e o gás natural. As chamas produzidas fazem com que as partículas que compõe os elementos se movimentem a elevadas velocidades e, consequentemente gerem energia num espaço fechado. Essa energia traduz-se, normalmente, em calor ou luz.

Quase todos os processos de obtenção de energia através de combustão atuais utilizam como combustível substâncias não renováveis, nomeadamente o petróleo ou o gás natural. Os depósitos destas substâncias estão a reduzir drasticamente e é previsível que venham a esgotar-se num futuro próximo. *"Die statistischen Reichweiten konventionell förderbarer, nicht*

erneuerbarer Energiereserven betragen für: • Mineralöl 41 Jahre, • Erdgas 62 Jahre, • Kohle 200 Jahre, • Uran 40 Jahre."[53].

A utilização de carvão como recurso para obtenção de energia, além de ser uma atividade de risco para o ser humano, por provocar vários problemas de saúde e pelo risco constante de desabamento de resíduos é, também, uma atividade de risco para a Natureza. A exploração mineira, para além de destruir o ecossistema em áreas enormes para permitir as escavações, no caso da exploração de carvão, especialmente, são emitidos bastantes gases poluentes para a atmosfera.

As chamas e explosões de uma reação de combustão, apesar de controladas, levam à ocorrência da queima de uma substância e produção de outra, no caso do oxigénio, por exemplo, que é o comburente mais frequentemente utilizado, este é queimado, o que leva, consequentemente, à libertação de dióxido de carbono, que é prejudicial para a atmosfera, enquanto é levada a cabo a destruição das florestas.

O aumento da concentração de dióxido de carbono, para além de ser muito prejudicial para a saúde, traduz-se em alterações ainda mais graves na natureza, sendo o principal causador do aquecimento global. *"Die Temperatur der Erdoberfläche stieg in den vergangenen 100 Jahren um etwa 0,8 °C; von den vergangenen zwölf Jahren (1995 – 2006) gehörten elf zu den wärmsten seit Beginn der Temperaturaufzeichnung."*[54] Em 2020, o aumento verificado já ronda o 1ºC, sendo que nas últimas décadas se têm verificado aumentos na casa dos 0,2ºC por década.

Considerando que a nossa atmosfera não conseguirá superar um aquecimento superior a 2ºC sem sofrer danos irreversíveis, entre os quais, a extinção de várias espécies de seres vivos, o degelo dos glaciares que provocará a subida do nível da água, e visto que, o aumento da concentração

[53] Hegger, Fuchs, Stark, Zeumer, 2007, p. 41, tradução livre da autora: "O alcance estatístico das reservas de energia não renováveis convencionais é de: petróleo 41 anos, gás natural 62 anos, carvão 200 anos, urânio 40 anos."

[54] Hegger, Fuchs, Stark, Zeumer, 2007, p. 39, tradução livre da autora: "A temperatura da superfície terrestre aumentou cerca de 0.8ºC nos últimos 100 anos; dos últimos 12 anos (1995-2006), onze foram dos mais quentes desde que se começou a registar temperaturas."

de dióxido de carbono na atmosfera tende a aumentar de forma exponencial, esta subida da temperatura global pode demorar apenas umas décadas, é necessário tomar medidas, alterações drásticas na forma humana de habitar o planeta. Muitas dessas alterações vão ter impacto na arquitetura e construção. É urgente reduzir o consumo energético e utilizar fontes energéticas que não emitam CO_2 durante a produção.

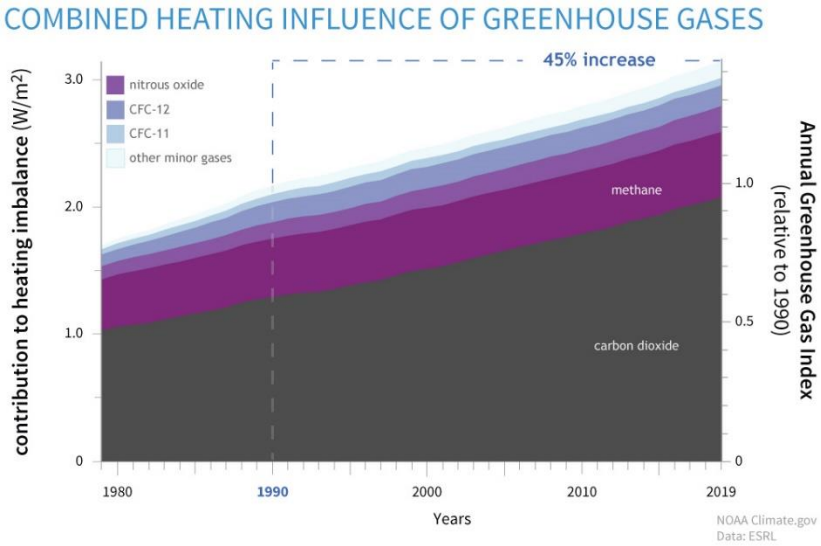


Figura 65 – A quantidade de gases de efeito estufa acumulados na atmosfera sofreu um aumento de 45% nos últimos 30 anos

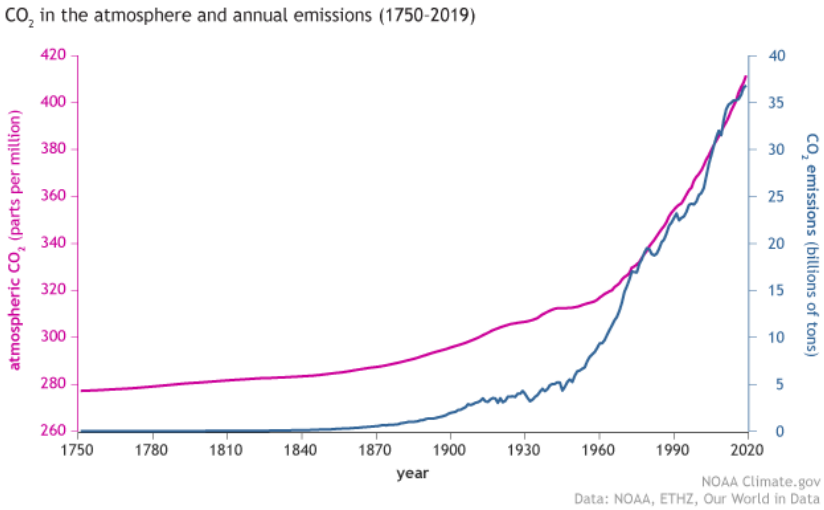


Figura 66 - Gráfico que mostra a concentração de oxigénio na atmosfera (cor-de-rosa) em relação às emissões de CO2 (azul)

3.1.2. Ciclo dos despedícios

Existem várias fases no processo de construir: após o projeto vem a exploração ou obtenção da matéria-prima, depois transporte para fábrica ou local de tratamento, o tratamento do material, novo transporte para a obra, construção literal, período de utilização do edifício e, por fim, a demolição do mesmo. Todas estas fases apresentam necessidades energéticas diferentes que podem ser reduzidas, podendo algumas chegar mesmo a ser quase anuladas.

A fase de projeto é a mais importante para garantir os objetivos de sustentabilidade, pois é nesse momento que são tomadas todas as decisões que permitirão atingir esses objetivos, influenciando os gastos energéticos, emissões de carbono, utilização de recursos renováveis energéticos e materiais. Idealmente, pelo projeto de um edifício flexível, capaz evitar demolição que é dos principais geradores de resíduos prejudiciais e emissões de CO_2 para a atmosfera, associado a elevados gastos energéticos.

Assim, os fatores energético e material não se podem separar, visto que a obtenção do material requer gastos energéticos e, muitas vezes, emissões de carbono, tal como a disposição dos mesmos aquando da demolição do edifício. Em adição, as propriedades dos materiais escolhidos podem influenciar os gastos energéticos, nomeadamente o seu coeficiente de condução térmica, transparência ou translucidez, necessidades de tratamentos, dificuldade de aplicação, entre outros.

Começando pela implantação, *"Durch Nachverdichtung werden Landvernichtung und Ressourcenaufwand für neue Infrastrukturen vermieden."*[55]. Este conceito aplica-se à utilização de recursos materiais e energéticos. É possível reduzir os gastos energéticos e emissões de carbono da fase de construção ao garantir uma proximidade estrutural de vários edifícios em construção A proximidade reduz as necessidades de transporte, permite a utilização continua de maquinaria, assim como torna possível prescindir de algumas máquinas. A escolha do material com base no local de

[55] Hillebrandt, Annette in Atlas Recycling, 2018, p. 10, tradução livre da autora: "A densificação reduz a destruição de terrenos e uma poupança de recursos em novas infraestruturas"

implantação, pela utilização de materiais cuja obtenção é possível nas proximidades do local de construção, é outra forma de reduzir o custo energético e emissões de carbono da construção.

Em relação ao desenho do edifício existem dois fatores decisivos: dimensão e forma. *"Die Größe und Form unserer Häuser – auch das unterirdisches Bauvolumen – beeinflussen in erheblichem Maße unseren RessourcenFootprint."*[56]. Num sistema fechado e equilibrado em que não existem alterações, a energia mantém-se constante. No caso da forma, para além de formas complexas serem mais dispendiosas energeticamente para a construção, pois requerem uma maior utilização de recursos, estas também aumentam as possibilidades de haver pontos críticos, nomeadamente pontes térmicas, pondo em causa a estanquidade da construção e, consequentemente, gerando perdas energéticas. No que diz respeito à dimensão, quanto maior a superfície em contacto com o exterior, mais perdas de energia podem ocorres, que impossibilitam a manutenção de níveis de energia constantes no interior, o que significa uma produção constante de energia para que a temperatura se mantenha constante.

Uma forma de reduzir estas perdas é tentar evitar o contacto direto com o exterior através de *buffer-rooms* – compartimentos de transição entre interior e exterior que não requerem uma estanquidade total e toleram alterações de temperatura e iluminação, como, por exemplo, salas semiexteriores.[57]

O desenho deve ser pensado com o máximo de detalhe possível, considerando cada elemento de ligação, cada possível fraqueza no que diz respeito à capacidade estanque do edifício. Existem formas que estão cientificamente provadas como sendo mais eficientes, como o caso da esfera, pois esta é a forma que nos oferece um maior volume com a menor superfície possível. É preciso ponderar entre eficiência e utilidade, nesta fase.

[56] Hillebrandt, Annette in Atlas Recycling, 2018, p. 11, tradução livre da autora: "O tamanho e forma das nossas casas – incluindo o volume de construção subterrâneo – têm um impacto significativo na nossa pegada de recursos."

[57] Hillebrandt, Annette in Atlas Recycling, 2018, p. 11

Quanto à materialidade, as opões devem pautar-se pela escolha com base na proximidade do mesmo. Para além de permitir poupar energia e emissões de carbono em transporte, é uma mais-valia por garantir mão de obra local com qualidade e conhecimento do material.

Existem, mais dois critérios importantes para a escolha dos materiais a utilizar no que diz respeito à eficiência energética: os gastos energéticos envolvidos na sua obtenção e o impacto ambiental da sua utilização. Materiais tradicionais como a madeira ou a pedra, são abundantes no meio ambiente e, por esse motivo, são considerados obtidos através de fontes renováveis. Se compararmos os processos de obtenção de ambos, a obtenção da pedra natural requer gastos energéticos superiores, pois requer o uso de explosivos e de mais maquinaria especializada do que a madeira. Em contrapartida, a utilização de madeira requer o abate de árvores que são a maior fonte de oxigénio do nosso planeta. Contudo, ambos se apresentam como uma melhor hipótese do que o alumínio, por exemplo, que, para além de ser obtido pela atividade mineira, requer uma série de tratamentos antes de ser aplicado numa obra que requerem elevados gastos energéticos e geram gases prejudiciais para a nossa atmosfera. Para além disso, ao longo do período de vida do edifício, enquanto a madeira se apresenta como um material que absorve, em quantidades bastante reduzidas, CO_2, o alumínio faz o oposto e emite pequenas quantidades de CO_2 ao longo de todo o seu período de vida.

No que diz respeito ao futuro do edifício, que deve ser considerado ainda na fase de projeto, um dos parâmetros a considerar tem a ver com a flexibilidade.

Por último, surge o plano para o futuro do edifício, que deve ser considerado ainda na fase de projeto. O fim de vida de um edifício significa, normalmente, a sua demolição, o que implica gastos energéticos elevados pelo ato de demolir mas, também, para transportar os materiais para aterros. Para além disso, ao longo do mesmo são emitidos gases prejudiciais para a atmosfera assim como, mais tarde, já nos aterros, muitas vezes os materiais são queimados ou sofrem outras alterações que implicam consequências negativas para o ambiente.



Figura 67 - A exploração mineira tem um impacto bastante negativo no meio ambiente, pela destruição de ecossistemas e paisagens



Figura 68 - A transformação de energia solar em energia útil garante uma fonte de energia limpa

A demolição do edifício deve ser evitada. A flexibilidade da planta é um fator chave para permitir adaptações do edifício no futuro em vez de demolições ou, em casos mais extremos, utilizar estruturas que permitam alterações. É também importante que o processo de reconstrução não seja energeticamente dispendioso, o que implica que a desconstrução seja fácil e rápida.

Ao considerar estes fatores numa fase inicial do projeto, garantimos um elevado grau de sustentabilidade para o edifício, por permitir uma redução de gastos energéticos e emissões de dióxido de carbono. Contudo, não é suficiente para atingir os objetivos de sustentabilidade propostos pela União Europeia. Em todos os parâmetros está a ser considerada a utilização convencional de energia obtida através de recursos fósseis. Isto implica uma continuidade da sobre-exploração de fontes de energia finitas, e uma produção energética que emite grandes quantidades de CO_2 para a atmosfera. É importante alterar também as fontes de energia que abastecem o edifício.

Estas fontes de energia alternativas já existem e a sua utilização tem vindo a crescer, tornando-se mais acessível economicamente, também. Tal como acontece com os materiais, estas são fontes de energia locais, energia que em vez de ser produzida ou extraída de depósitos esgotáveis, é apenas alterada: energias renováveis. Ao contrário das energias fósseis, estas encontram-se em qualquer local do mundo pois dependem apenas dos elementos naturais: sol, água, vento e terra. Este fator é o mais importante, pois significa que esta energia provém de fontes inesgotáveis, não provocando alterações ao ecossistema quando é obtida. Para além disso, as emissões da sua produção são nulas, por não existir uma produção literal, o que acontece nestes casos é simplesmente um armazenamento de uma energia já existente que será transformado em energia útil quando necessário.

> *"(…) Energie träger, deren Primärressourcen nur begrenzt zur Verfügung stehen – was für Erdöl, Erdgas, Kohle wie Uranerze gilt – und die von der Förderung bis zur Umwandlung und Nutzung schwerwiegende Umweltschäden und Rückstände hinterlassen, rechtfertigen keine Etikettierung als nachhaltig. Energie wende*

bedeutet deshalb Energiewechsel, die Ablösung atomarer und fossiler Energieträger durch erneuerbare. Allein diese sind nachhaltig, weil unerschöpflich und – mit Ausnahme der Bioenergie – emissionsfrei gewinn- und nutzbar."[58]

[58] Hegger, Fuchs, Stark, Zeumer, 2007, p. 14, tradução livre da autora: "(…) fontes de energia cujos recursos primários só estão disponíveis até certo ponto – o que se aplica ao petróleo, gás natural, carvão e compósitos de urânio – e que causam danos ambientais graves e resíduos da produção, conversão e utilização, não justificam ser tratadas como sustentáveis. A transição energética significa mudança de energia, a substituição da energia nuclear e combustíveis fósseis por equivalentes renováveis. Estes, por si só, são sustentáveis porque são inesgotáveis e – com exceção à bioenergia – podem ser obtidos e utilizados sem emissões."

3.1.3. Energias Renováveis

As energias renováveis são o exato oposto das energias obtidas através de fontes de combustível fóssil ou nuclear. Distinguem-se destas pelo impacto ambiental da sua exploração, emissões de substâncias prejudiciais para o ambiente, possibilidade de esgotamento das fontes, localização da fonte e fatores económicos.

As energias fósseis e nucleares exigem de meios de exploração, normalmente minas, que por si só destroem ecossistemas e paisagens em áreas enormes, o que perturba, automaticamente, o equilíbrio na natureza; para além disso, os recursos mecânicos utilizados para estas minas emitem gases prejudiciais para a atmosfera. No caso da energia nuclear, é utilizada água no processo de produção, que fica poluída com substâncias radioativas e polui tudo à sua volta, desde mais água ao solo, por exemplo.

> *"Der Einsatz von atomaren und fossilen Energien bedingt massive Umwelteingriffe mit erdtektonischen Folgen schon bei der Förderung bis hin zu Emissionen in Gewässer, Luft und Erdatmosphäre."*[59].

As fontes de combustíveis fósseis e atómicos são finitas, o que leva a um aumento gradual do seu preço de mercado, por se tornarem cada vez mais escassas e cria uma sensação insegurança para o futuro por haver a possibilidade de se esgotarem.

A localização dos depósitos de combustível também é relevante, visto que estes se encontram em poucos sítios do planeta, muito específicos, o que tem gerado guerras e conflitos socioeconómicos ao longo dos anos. Isto significa que a energia não é acessível para todos.

As fontes de energia não renováveis não são uma opção viável para o futuro e os seus custos vão continuar a aumentar até estas se esgotarem completamente, o que aparentemente vai acontecer num futuro próximo. A alternativa é a transição para energias renováveis.

[59] Hegger, Fuchs, Stark, Zeumer, 2007, p. 14, tradução livre da autora: "A utilização das energias atómica e fóssil obriga intervenções ambientais massivas com consequências na superfície terrestre até emissões para águas, ar e atmosfera terrestre."

Ao contrário das energias não renováveis dependentes de recursos que, apesar de serem naturais, levam milhares de anos a formar-se como o petróleo ou o urânio, as energias renováveis dependem de recursos naturais que estão em constante renovação no nosso ecossistema, nomeadamente o sol, o vento, as marés, o calor da terra, entre outros. Isto significa que as fontes utilizadas são inesgotáveis, eliminando automaticamente o fator de risco de esgotamento no futuro apresentado pelas energias fósseis. *"Allein die unerschöpfliche erneuerbare Energie eröffnet allen Menschen eine dauerhaft gewährleistete Energieversorgung."*[60]

Do mesmo modo, há uma característica intrínseca a todas as fontes de energia renováveis mencionadas anteriormente: existem em todo o lado. Em todo o planeta, não há nenhuma zona que não receba luz solar, que não tenha vento, que não tenha água nas proximidades… Para além disso, esta disponibilidade em toda a parte evita a necessidade de grandes investimentos em infraestruturas pontuais. Desta forma, é evitado entrave das localizações específicas e necessidades de investimento económico que geram conflitos e privilégios.

Esta existência em toda a superfície terrestre permite acabar com as longas cadeias energéticas que geram desperdícios, tudo é mais imediato, não há necessidade de transporte de matérias nem energias ao longo de centenas de quilómetros que levam a desperdícios por dissipação. A produção pode passar a ser local.

> *"Damit verändern sich die Eigentumsverhältnisse für Energieanlagen radikal: Aus scheinbar unumkehrbar monopolisierter Konzentration wird vielfältige Dezentralisierung – bedingt durch die Technologie und die Soziologie erneuerbarer Energien."*[61]

[60] Hegger, Fuchs, Stark, Zeumer, 2007, p. 14, tradução livre da autora: "A energia renovável inesgotável permite uma segurança permanente de fornecimento de energia para toda a gente."

[61] Hegger, Fuchs, Stark, Zeumer, 2007, p. 16, tradução livre da autora: "Isto muda radicalmente a estrutura de posse de plantas energéticas: a concentração monopolizada aparentemente irreversível torna-se numa descentralização diversa – devido à tecnologia e sociologia das energias renováveis"

Ainda considerando fatores económicos, em oposição ao aumento gradual de preço dos combustíveis fósseis, as energias obtidas através de fontes renováveis estão a ficar cada vez mais baratas. É importante o fator de estas não serem finitas para garantir esta descida gradual de preços mas, acima de tudo, está a evolução da tecnologia que nos permite explorar este campo de formas cada vez mais eficientes e simples. Para além disso, estes desenvolvimentos tecnológicos permitem-nos, por fim, acabar com o estigma de que os arquitetos têm de escolher entre valor estético ou valor sustentável. Atualmente, já existem peças desenhadas que nos permitem projetar um edifício sustentável garantindo, também, uma imagem agradável. Assim, a decisão entre estética ou sustentabilidade deixa de ser necessária, os arquitetos podem optar por ambos.

Por último, o ponto chave das energias renováveis: a energia não é literalmente produzida, é, sim, convertida em algo diferente. Isto significa que não existem reações, deixa de existir combustão e emissão de gases, deixamos de ter a necessidade de destruir uma coisa para gerar outra. Em adição, as perdas energéticas que se dão na produção e processamento da energia obtida através de combustíveis fósseis podem ser reduzidas de forma significativa.

De forma a compreender na totalidade todas estas vantagens, tomemos como exemplo a utilização de energia solar. *"Eine Solaranlage ist Energieernte- und Umwandlungsanlage zugleich."*[62]. Normalmente a energia solar é utilizada para produzir eletricidade. Então, o objetivo na construção de um edifício é potenciar essa energia ao máximo de forma a conseguir produzir eletricidade suficiente para que não haja necessidade de obter de empresas que a produzam através de combustíveis fósseis. Para isso são utilizados painéis solares que são introduzidos no edifício. Nos dias de hoje, já é frequente vermos esses painéis nas coberturas dos edifícios, mas, normalmente, não estão completamente integrados na construção e têm uma inclinação que permite receber a luz solar de forma mais direta de forma a

[62] Hegger, Fuchs, Stark, Zeumer, 2007, p. 16, tradução livre da autora: "Um sistema solar é um sistema de recolha e conversão de energia ao mesmo tempo"

rentabilizar mais a sua absorção. Contudo, o desenvolvimento da tecnologia solar já nos permite trabalhar com os painéis de forma mais discreta, introduzindo-os, por exemplo, nas fachadas, apesar de não ser a forma mais eficaz de utilização, já nos permite o equilíbrio desejado com o fator estético. Para além disso, a redução do preço que se tem verificado nas aplicações de painéis solares permite instalar maiores áreas sem modificar significativamente o custo total do projeto.

O sol e as energias que dele provêm, como o vento, as correntes marítimas… são a nossa única fonte de energia "infinita" e livre de emissões prejudiciais ao ambiente. Sendo assim, as energias renováveis são a nossa maior garantia de energia para o futuro:

> *"Dass das natürliche Energiepotenzial noch weit umfangreichere technische Aktivierungen ermöglicht, ergibt sich aus der Tatsache, dass die Sonne mit ihren Derivaten Wind, Wellen, Wasser und Biomasse dem Erdball täglich 15 000-mal mehr Energie liefert, als wir derzeit in Form von atomaren und fossilen Energien verbrauchen."*[63].

Esta quantidade de energia potencial permite-nos afirmar que, no caso de completarmos a 100% a transição energética para a utilização total de energias derivadas de fontes renováveis, o crescimento populacional e eventual aumento das necessidades energéticas da população mundial causado, também, por um desenvolvimento e avanço tecnológico continuo, não é motivo de preocupação pois conseguiria ser sustentado facilmente pela quantidade de energia que pode ser produzida.

Esta declaração leva-nos de encontro à ideia definição de sustentabilidade, que diz que para algo ser considerado sustentável tem que cumprir as necessidades da geração atual sem pôr em causa as opções das gerações futuras.

---

[63] Hegger, Fuchs, Stark, Zeumer, 2007, p. 17, tradução livre da autora: "O facto de que a energia potencial natural permite mais ativações técnicas pelo facto de que o sol, com as suas derivantes vento, ondas, água e biomassa, providencia ao mundo 15.000 vezes mais energia do que a que atualmente produzimos pelo consumo de energias fósseis e atómica."

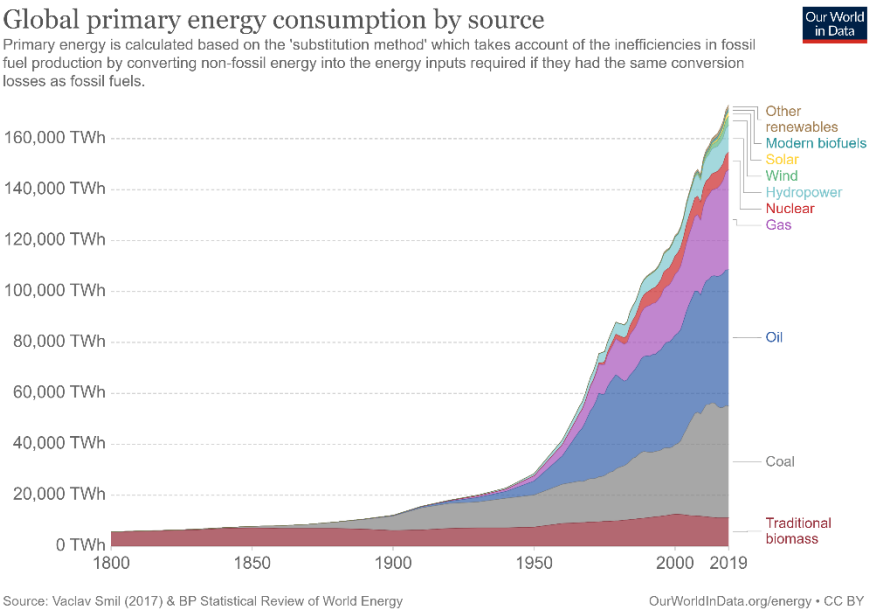


Figura 69 - Gráfico demonstrativo das quantidades de energia consumida por fonte energética

3.1.4. Circularidade do ciclo energético e solução

Para a produção de energia obtida através de combustíveis fósseis: primeiro obtemos a matéria prima (petróleo, carvão, gás natural…), depois esse material é transportado para o local onde vai ser processado, a seguir dá-se a reação que produz energia, após a produção, a energia é transportada para o local onde vai ser utilizada e por fim é utilizada. É importante perceber a linearidade do ciclo de vida da energia aqui referida, pois esta característica também se observa na energia produzida através de fontes renováveis. Então, não deveria este processo linear ser transformado num processo circular, deforma a obter os valores de sustentabilidade desejados?

Infelizmente, não há nenhuma forma de aplicar o conceito de economia circular ao ciclo energético de um edifício. Isto deve-se ao facto de que a energia pode ser armazenada, mas, o gasto energético é um ato irreversível.

Existem, porém, tentativas de utilizar princípios de circularidade na energia utilizada na construção. Isto acontece, quando um edifício é demolido e os desperdícios de material são incinerados. A incineração dos materiais permite produzir calor que se traduz em energia, esta energia tenta compensar a energia que foi utilizada na construção do edifício, contudo, a produção é tão reduzida comparativamente com os gastos apresentados que o processo não é viável. Para além disso, a incineração de materiais provoca a libertação de gases poluentes para a atmosfera, o que nos leva a concluir que este processo devia ser completamente erradicado, pela sua diminuída eficiência e elevado nível de poluição.

Assim, a circularidade não é a solução para o ciclo energético, mas sim a utilização de projeto para construir "edifícios inteligentes", edifícios que, com as suas qualidades, nos permitem poupanças energéticas elevadas, edifícios que não dependem de bens finitos e não apresentam prazo de validade, que já concluíram a transição energética para fontes renováveis.

> *"Bauen ist eine Tätigkeit mit langfristigen Auswirkungen. Eben getroffene Planungsentscheidungen bewegen erhebliche*

Ressourcen. Bei einer derzeit üblichen Lebensdauer von Gebäu den wird der Betrieb eines heute erstellten Gebäudes mit einiger Sicherheit das Ende des Öl- und Gaszeitalters erleben. Wie können Architektur und Technik darauf ausgerichtet werden?"[64]

São necessárias, então, duas grandes alterações: transição energética para energias renováveis e utilização de meios naturais para redução de consumo energético. Contruir um edifício que consiga potenciar ao máximo a utilização de luz natural através de maiores e mais numerosas entradas de luz que, por sua vez, podem funcionar também como um sistema de ventilação natural, já que arrefecer um edifício consome mais energia do que aquecer, por exemplo. Um edifício com uma estrutura que lhe permite flexibilidade, não apenas na fachada, mas, também, na planta ou mesmo na secção do edifício; um edifício que utiliza materiais adequados para proteção térmica tanto em situações de calor como de frio; ou seja um edifício que no momento do seu final de vida não tem obrigatoriamente que ser demolido, pode ser recuperado e adaptado a outras funções, reduzindo, não apenas os desperdícios mas, também, os gastos energéticos do processo de demolição e construção.

Contudo, a questão energética não é a única que nos permite aumentar o grau de sustentabilidade de um edifício, existem outros fatores influentes, alguns tratam-se mesmo de pequenos ajustes, como por exemplo, o consumo de água que pode, este, também, ser tornado num ciclo pelo mesmo sistema utilizado com a energia solar: podemos utilizar sistemas de armazenamento de água da chuva para ser utilizada quando necessário. Isto é, ao projetar, por exemplo, uma moradia com um espaço exterior, uma boa opção seria utilizar um pavimento permeável que permitisse a absorção da água da chuva para um depósito. Esta água armazenada não é própria para consumo, mas pode ser utilizada noutras funções necessárias na casa, como água para o autoclismo na casa de banho ou para regar as plantas. Este sistema pode até ser levado a casos mais extremos de reaproveitamento de

[64] Hegger, Fuchs, Stark, Zeumer, 2007, p. 26, tradução livre da autora: "Dada a longevidade dos edifícios atuais, o período de operação de um edifício construído hoje vai quase de certeza experienciar o fim da era do petróleo e do gás. Como é que a arquitetura e a tecnologia podem ser direcionadas para isso?"

água em que seria instalado, por exemplo, um sistema interno em que a água utilizada para lavar as mãos pode ser reutilizada para outras coisas que não necessitem especificamente de água potável, como lavar a roupa.

Tal como foi mencionado anteriormente, esta seria uma alteração de pouco impacto no grau de sustentabilidade de um edifício, contudo, também foi já referido que um edifício se torna mais sustentável com o acumular de fatores que o mesmo tem em conta. Para além disso, este sistema de reaproveitamento de água tem como base um princípio que é muito importante para alcançarmos os nossos objetivos de sustentabilidade: o conceito de economia circular. Trata-se de passar de uma cultura de usar e deitar fora para uma cultura que tira sempre o máximo de cada elemento, que não permite desperdícios. Este conceito alcança o seu melhor resultado no campo da sustentabilidade quando aplicado aos materiais e, por esse motivo, será, de seguida, estudada com o máximo detalhe essa vertente da construção sustentável.

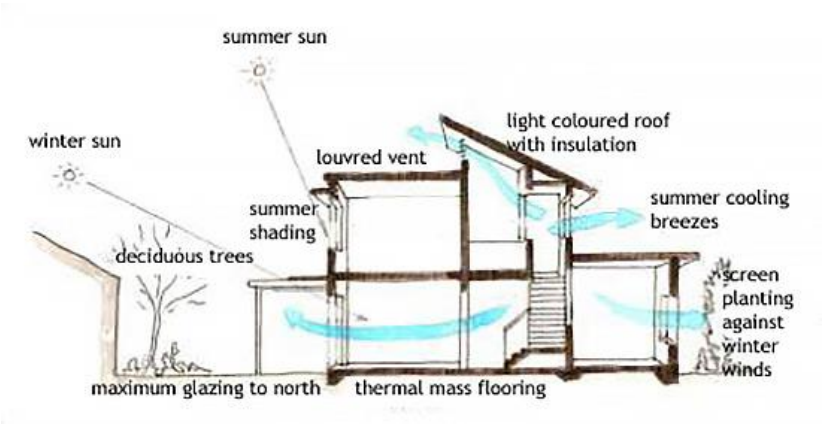


Figura 70 - Utilização de meios naturais para redução dos gastos energéticos

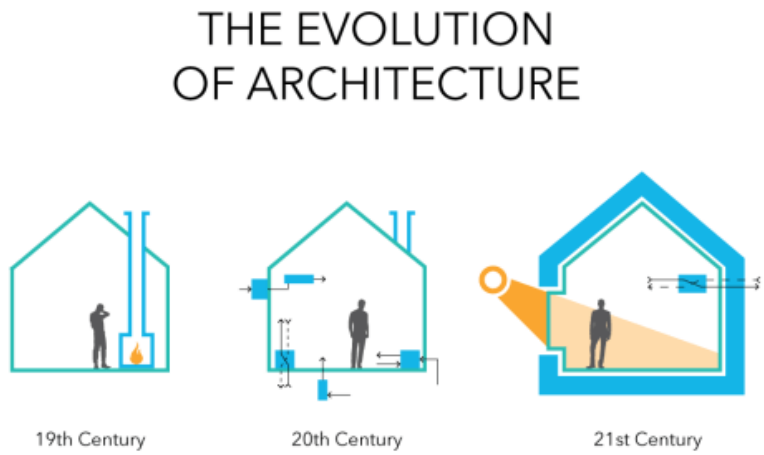


Figura 71 - A crescente importância da eficiência energética

3.2. Ciclo dos materiais

> *"Der Begriff »Lebenszyklus« deutet bereits an, dass natürliche ebenso wie künstliche Systeme einem Kreislauf des Entstehens und Vergehens unterliegen. So beschreibt der Lebenszyklus eines Gebäudes die Zeitspanne, die zwischen dem Bau und dem Abbruch einer Immobilie liegt."*[65]

Atualmente vivemos numa era de respostas quase instantâneas, tudo o que precisamos, conseguimos obter quase imediatamente; com o desenvolvimento da tecnologia nas últimas décadas. Este hábito de conseguir o que precisamos quase instantaneamente tornou-se a única realidade que a geração atual conhece e isso traduz-se na construção.

Esperamos ver os resultados de cada um dos nossos atos refletidos imediatamente num projeto. Talvez por este motivo, apesar de se verificarem grandes avanços na área da sustentabilidade na arquitetura, a maior parte destes avanços se verifiquem associados apenas ao consumo energético e às emissões de carbono, que foram mencionados anteriormente. Apesar de a vertente energética ser um fator chave para alcançar os objetivos de sustentabilidade propostos pela União Europeia para 2030, não é suficiente. A economia circular, que se opõe à ideia tradicional de retirar, construir e deitar fora, apresenta-se como um princípio de regeneração de recursos que tem como objetivo minimizar a exploração dos mesmos, a produção de resíduos, e os desperdícios de energia e água.

Uma abordagem diferente à utilização de materiais na arquitetura é o fator que mais influencia o carater sustentável do edifício. Esta abordagem passará por integrar temas de *design for disassembly* e *urban mining.*

Assim, será analisado o impacto da utilização dos materiais, desde a escolha do material até à forma como é aplicado, a opção por apenas um ou vários materiais, as vantagens e desvantagens dos principais materiais, entre outros. Este tema já foi estudado e existem várias obras escritas sobre

[65] Hegger, Fuchs, Stark, Zeumer, 2007, p. 32, tradução livre da autora: "O termo «ciclo de vida» indica, desde o princípio, que tanto os sistemas naturais como os sistemas artificiais estão sujeitos a um ciclo de criação e decadência. O ciclo de vida de um edifício descreve o período de tempo entre a construção e a demolição de uma propriedade."

o mesmo, sendo dois dos mais relevantes os livros "*Cradle to Cradle"* e "*How Buildings Learn: What happens after they are built from 1994".* Ambas as obras têm o mesmo objetivo: mostrar que a rota mais direta para atingir os objetivos de sustentabilidade requerem mudanças na mentalidade de quem projeta um edifício ou produto, é necessário pensar como tudo vai funcionar no futuro e tentar garantir esse funcionamento com as nossas ações. Assim, ambos sugerem que o ideal é fechar o ciclo de materiais, abandonar a nossa cultura de construir, usar e deitar fora, transformar a nossa sociedade numa sociedade que tem em conta todas a possibilidades de utilizar qualquer objeto no futuro, como por exemplo, um carro que vai para abate e o alumínio do mesmo pode ser fundido e transformado numa lata de refrigerante, isto diminui as necessidades de exploração de matéria-prima, reduzindo gastos energéticos e emissões de substâncias poluentes, por exemplo. Além disso, reduz a sobrecarga exercida na natureza para produção dessas matérias-primas.

Na construção, esta reutilização que permite a circularidade do ciclo não é tão linear, pois há uma exigência de qualidade mínima que necessita de ser alcançada para assegurar a eficiência e qualidade desejada dos edifícios. Contudo, é possível a integração de sistemas que nos levem de encontro a uma economia quase totalmente circular na construção, como será demonstrado nesta dissertação.

A arquitetura é um ramo cada vez mais desafiante, em que não nos podemos preocupar apenas com a funcionalidade e fatores estéticos, não podemos construir edifícios apenas com o objetivo de dar uma boa experiência aos seus utilizadores. Temos que nos propor a construir para o futuro, para assegurar a qualidade de vida das gerações que vêm a seguir a nós. E fazer tudo isto, sem descuidar de nenhum pequeno detalhe que faz uma boa arquitetura.

3.2.1. "*Cradle to Cradle" e "Shearing Layers"*

"The goal is zero: zero waste, zero emissions, zero «ecological footprint»"[66]. Este objetivo, que já vem dos anos noventa e é comum a ambos os livros, tal como a esta dissertação, é o que nos incentiva a tentar compreender de que forma cada livro afirma ser possível de alcançar para perceber qual o motivo que nos impediu de já o ter alcançado ao longo dos últimos 30 anos.

Tal como o nome do livro *"Cradle to Cradle"* afirma, o principal conceito estudado no trabalho de *McDonough e Braungart* é o de acabar com as linhas de produção que criam um produto com um único objetivo, que será destruído ou deitado fora depois de o cumprir. A expressão utilizada para explicar a linha de produção atual ao longo do livro é *"cradle to grave"* (do berço à sepultura). Vivemos numa sociedade que se preocupa com o imediato e com corresponder às necessidades atuais sem preocupações com o futuro, mas é necessário mudar esse pensamento. Este é um livro sobre circularidade de sistemas de produção, o facto de voltar ao início até no seu título transmite isso mesmo – do berço ao berço.

Qualquer coisa que o ser humano cria não desaparece, haverá sempre vestígios: quando construímos um edifício, mesmo que este venha a ser demolido, os materiais utilizados serão depositados num aterro, as emissões de gases poluentes para a atmosfera durante a fase de construção e a de utilização e demolição, já foram lançados e já causaram danos no meio ambiente. Então, porquê continuar a 'criar'? Porquê começar sempre do zero e não utilizar o que já temos?

> *"If humans are truly going to prosper, we will have to learn to imitate nature's highly effective cradle-to-cradle system of nutrient flow and metabolism, in which the very concept of waste does not exist. To eliminate the concept of waste means to design things-products, packaging, and sistems-from the very beginning on the understanding that waste does not exist. It means that the*

[66] McCdonough & Braungart, 2002, p. 60, tradução livre da autora: "O objetivo é zero: zero desperdícios, zero emissões, zero «pegada ecológica»."

valuable nutrients contained in the materials shape and determine the design: form follows evolution, not just function."[67]

A ideia de que a flexibilidade e possibilidade de adaptações futuras é a chave para conseguirmos anular os desperdícios. Com a possibilidade de adaptar produtos a novas funções, é possível criar um ciclo de reutilizações, um ciclo que não começa sempre do zero, do ponto de extração da matéria-prima da natureza, mas da utilização de algo já existente e que já foi trabalhado. Este conceito observa-se nos processos de reutilização e de reciclagem. Mas, como é que podemos aplicar isso à construção de maneira eficaz?

Durante o processo de reciclagem, o produto é reciclado é sempre alterado, enquanto no caso da reutilização, o produto não sofre alterações significativas. A diminuição do grau de pureza dos materiais durante o processo de reciclagem, causada pela mistura de diferentes componentes, implica a redução da sua qualidade, obrigando à utilização deste material para produção de um produto que apresente menos exigência de qualidade.

Um edifício não pode ser integralmente reciclado, não é possível fundir o elemento inteiro. Há necessidade de analisar de que forma é possível separar cada componente de um edifício sem que este se transforme apenas num conjunto de peças sem sentido que acabam por não facilitar assim tanto as possíveis adaptações futuras. Foi isso que fez Stewart Brand no seu livro "How Buildings Learn: What happens after they are built from 1994" com o seu desenvolvimento do trabalho "Shearing Layers" anteriormente introduzido pelo arquiteto Frank Duffy.

[67] McCdonough & Braungart, 2002, p. 103 e 104, tradução livre da autora: "Se os humanos vão prosperar verdadeiramente, teremos de aprender a imitar o sistema de berço-ao-berço de fluxo de nutrientes e metabolismo altamente eficaz da natureza, no qual o conceito de lixo não existe. Para eliminar o conceito de lixo é preciso desenhar coisas – produtos, embalagens, sistemas – desde o princípio com o entendimento que o lixo não existe. Isso significa que os nutrientes valiosos contidos nos materiais formam e determinam o desenho: a evolução define a forma, não apenas a função."

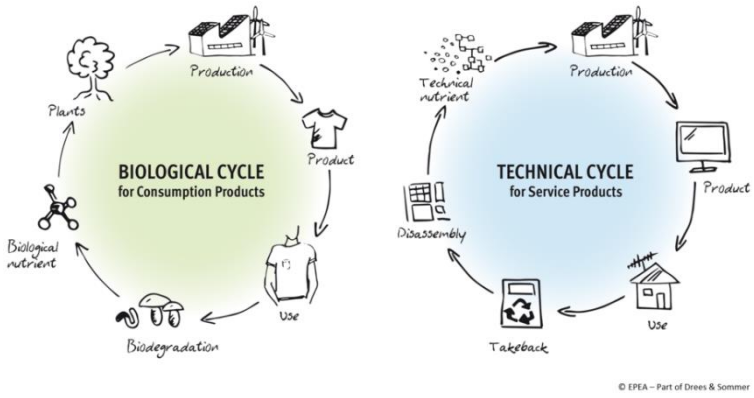


Figura 72 - Tal como na natureza os desperdícios se transformam em nutrientes que potenciam o crescimento, também nas nossas linhas de produção deve haver essa circularidade

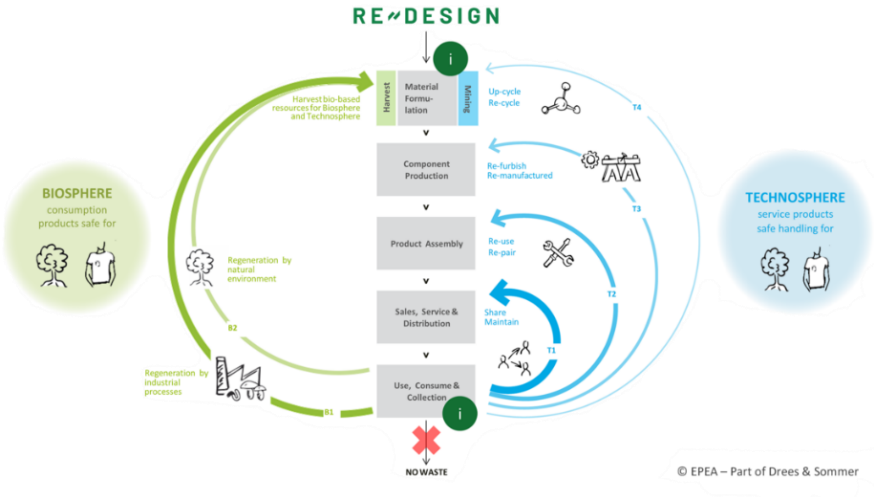


Figura 73 - Existem diferentes opções para reutilização ou reciclagem dos materiais, que podem ser reinseridos em qualquer fase do seu ciclo de vida por diferentes métodos

Cada uma das quatro fases do ciclo de vida de um edifício apresenta diferentes atividades e consequências.

Na primeira fase, fase de produção, os materiais são extraídos, transportados e trabalhados de forma a serem transformados em materiais de construção. Esta fase apresenta várias consequências negativas que incluem os elevados gastos energéticos, e consequentes emissões de carbono, assim como a possível extinção de elementos naturais no caso de exploração de matérias-primas não renováveis. É já um dado adquirido que o campo da construção é um dos que requerem mais gastos energéticos e libertam mais gases poluentes para a atmosfera, principalmente durante o processo de produção de materiais e elementos construtivos.

Na fase de construção, a segunda fase, mais uma vez, há uma enorme necessidade energética e grandes quantidades de emissões prejudiciais para a atmosfera, água e solo. O principal fator destas consequências é a utilização de máquinas, logo uma forma de reduzir os gastos energéticos e emissões prejudiciais para o meio ambiente, seria garantir uma menor necessidade mecânica, tanto em quantidade de maquinaria como em tempo de construção.

Na terceira e mais longa fase do ciclo de vida de um edifício, a fase de utilização, as consequências ambientais devem-se em grande parte à utilização. Os gastos energéticos e desperdícios verificam-se baseados na utilização do edifício, eletricidade, água, etc. Estes gastos podem ser controlados pelo arquiteto através da utilização de painéis solares, e pela utilização de sistemas de recolha e purificação de água, por exemplo.

Por último, chegamos à fase de final de vida: é aqui que se define impacto ambiental que o edifício poderá ter para o futuro. Atualmente, por nos basearmos em princípios de economia linear, o fim de vida de um edifício dita, também, o fim de vida de todos os seus componentes construtivos, e ocorre a demolição do mesmo. Esta demolição, para além de apresentar danos ambientais pelos gastos energéticos e emissões de substâncias, gera também uma enorme quantidade de 'lixo construtivo' que será transportado e depositado em aterros ou queimado para produção de energia. Optando por um sistema de economia circular, este panorama negativo é alterado. No final

de vida do edifício, este seria 'desmontado' separando os diferentes componentes que seriam recuperados, reutilizados ou reciclados, de forma a no futuro poderem dar vida a outro edifício. Sem despercícios, sem necessidade de exploração de nova matéria-prima.

A teoria dos "*Shearing Layers"* de Stewart Brand permite uma fácil introdução da circularidade nesta última fase. Brand identifica o grande problema da nossa forma de fazer arquitetura: *"Architecture, we imagine, is permanent."*[68]. Por vezes assumimos que esse fator permanente significa que não se altera, que será mantida a sua forma inicial para sempre. Mas, a flexibilidade e possibilidade de adaptação é essencial para a classificação de um edifício como sendo sustentável. Stewart Brand estudou formas de tornar essa flexibilidade e adaptabilidade possíveis.

Um edifício não deve ser visto apenas como um conjunto de espaços configurados para ser utilizado de forma confortável que cumprem uma função, mas também como um conjunto de materiais utilizados em conjunto de forma organizada para servir essa função temporariamente, mas que se podem separar e transformar.

O livro How Buildings Learn: What happens after they are built from 1994 baseia-se numa "desconstrução" do conceito de edifício. Trata-se de uma forma de olhar para o edifício que o descreve como um conjunto de diferentes camadas organizadas de maneira a dar forma e sentido ao edifício. A divisão de camadas tem como base os diferentes períodos de vida de cada uma, o que leva Brand a dividir um edifício em 6 camadas: *site, structure, skin, services, space plan* e *stuff*.

Site trata do terreno. O terreno, por ser uma localização no planeta é considerado eterno[69]. As condições geológicas não mudarão, por isso, o arquiteto deve utilizar o clima típico do local como forma de melhorar o carater sustentável do edifício, através de ajustes específicos para o terreno como a orientação solar, dimensões e forma do edifício, etc.

[68] Brand, 1994, p. 2
[69] Brand, 1994, p. 13

Structure é a segunda camada por compreender os elementos cujas alterações implicam maiores custos e complexidade técnica, a alteração da estrutura significa, geralmente, a construção de um novo edifício. Assim, a estrutura é o que define o tempo de vida de um edifício[70].

Skin[71] engloba os acabamentos exteriores. Trata de superfícies com um período de vida significativamente mais curto do que as estruturas, que são frequentemente alteradas para garantir uma adaptação continua do edifício a novas exigências, como eficiência energética ou melhorias estéticas.

Services é a camada que inclui todos os serviços e infraestruturas técnicas: tubagens, cabos, condutas, entre outros. Estes elementos sofrem um grande desgaste e tornam-se desatualizados num período de 7 a 15 anos[72]. As infraestruturas técnicas podem ditar demolição do edifício se não permitirem renovações e adaptações por estarem demasiado emaranhadas com outras camadas. É vital que esta, como todas as outras, camadas sejam acessíveis e separáveis para impedir estas consequências.

Space plan é a organização interior[73]. Esta deve garantir a máxima flexibilidade – quanto mais fácil for alterar a configuração espacial interior, mais possibilidades o edifício tem de sobreviver às várias alterações de função que este terá de ultrapassar ao longo do seu período de vida.

Stuff são todas as 'coisas' no interior do edifício, todos os objetos que podem ser movidos sem qualquer dificuldade ou implicação de alterações ao edifício. *"Furniture is called mobilia in Italian for good reason."*[74]

Um edifício não é um objeto único, mas um conjunto de diferentes elementos com diferentes durações e necessidades. Uma fácil separação de cada um dos elementos é o que torna possível a adaptação a alterações ao longo do tempo de vida do edifício, por isso, é tão importante a divisão por camadas organizadas com base no seu tempo de vida útil.

---

[70] Brand, 1994, p. 13
[71] idem
[72] idem
[73] idem
[74] Brand, 1994, p. 13, tradução livre da autora: "O mobiliário chama-se mobilia em italiano por uma razão."

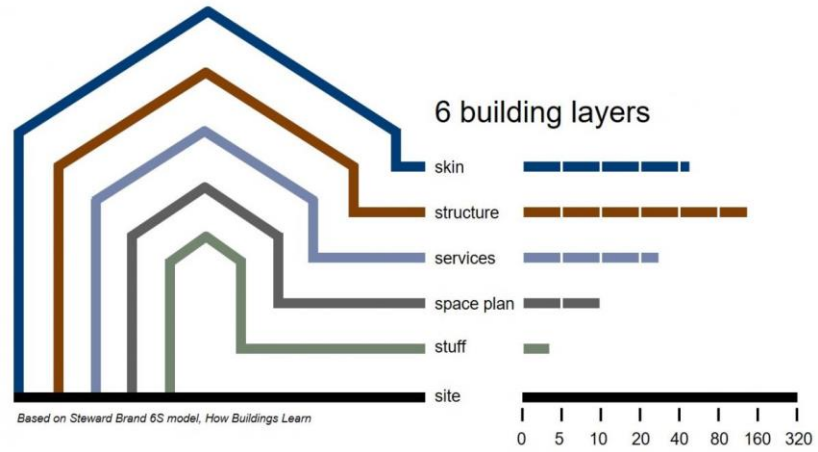


Figura 74 - Ilustração das camadas que compõe o edifício com base na teoria das Shearing Layers

Esta separação dos elementos deve ser utilizada, não apenas neste sentido literal baseado em cronologias, mas também com atenção às exigências colocadas pelas alterações futuras. O objetivo é reduzir os desperdícios e reutilizar o máximo de materiais possível de forma a alcançar uma redução significativa do lixo construtivo. Assim sendo, é importante manter as qualidades físicas inerentes aos materiais e elementos construtivos, durante o tempo de utilização no edifício e o tratamento para permitir a reutilização no futuro. Relembre-se o exemplo do alumínio utilizado para a bicicleta que após o processo de reciclagem não pode voltar a ser utilizado para a mesma função.

Então, para utilizar o máximo de potencial do conceito de economia circular associado à construção, não é suficiente pensar no edifício e na sua flexibilidade. É necessário analisar cada detalhe. A circularidade do ciclo dos materiais é o fator mais importante para garantir as necessidades atuais de sustentabilidade. Para perceber como fechar esse ciclo, é necessário compreender o conceito de construir em camadas criado por Stewart Brand, complementando-o com o de Cradle-to-Cradle de McCdonough e Braungart, levando esta ideia a algo mais detalhado e concreto que é a materialidade na construção.

3.2.2. Produção vs Reciclagem vs Reutilização

É de fundamental importância clarificar que o grande objetivo da utilização de um sistema baseado na ideia de economia circular na construção se traduz numa ideia simples: reduzir a extração de materiais da natureza. Este conceito permite-nos acabar com a exploração desmesurada de fontes de materiais e energias não renováveis, reduzir significativamente gastos energéticos, conservar o equilíbrio do meio ambiente, diminuir a emissão de gases e substâncias prejudiciais para o meio ambiente e, assim, contruir de forma sustentável.

Imaginemos um cenário de construção de um pequeno abrigo, bastante simples, sem qualquer divisão interior, apenas um espaço fechado. Tomando como exemplo uma situação de construção com madeira para esse abrigo, é possível compreender os conceitos de produção de um elemento construtivo em comparação com a reciclagem do mesmo elemento ou com a reutilização deste.

Numa primeira hipótese, usando um método de produção integral dos elementos construtivos, para qualquer tipo de construção, seja em madeira maciça, painéis de madeira ou outros métodos associados à construção em madeira, haverá sempre uma necessidade de passar pelas várias fases do ciclo de construção, desde a produção ao final de vida. Ora, a primeira fase da produção envolve, à partida, uma série de procedimentos injuriosos ao meio ambiente. Começando pela extração da matéria-prima, que inclui consequências ambientais como a desflorestação e as elevadas emissões de carbono geradas pela maquinaria utilizada e transporte. Após esta primeira fase da extração da matéria prima, há um transporte da matéria em bruto para o local onde este vai ser processado e receber o tratamento para o tornar apto a ser utilizado na construção. Este transporte, mais uma vez, implica emissões de CO_2 e outras substâncias lesivas para a atmosfera. No local de tratamento do material, este vai ser sujeito a vários processos de transformação que, mais uma vez, apresentam consequências negativas, agora mais ligados à poluição fabril, maioritariamente poluição atmosférica

derivada da emissão de gases, mas, também, a geração de resíduos poluentes da água e solo (por exemplo, no caso dos metais).

Numa segunda hipótese, em que se opta pela utilização de materiais reciclados, já se verifica uma redução das consequências ambientais. Contudo, também neste caso se verificam efeitos negativos, apesar de menos significativos. A opção pela reciclagem permite-nos afastar a necessidade da exploração e extração da matéria-prima e substituí-la pela procura de materiais residuais que possam ser reciclados. A fonte de material é deixada intacta, o que beneficia automaticamente o ecossistema, e os percursos de transporte são, geralmente, mais curtos. Porém, tal como acontece no caso de produção integral, também na reciclagem o material é sujeito a vários processos de tratamento e alteração. É importante frisar que, para um material poder ser reciclado garantindo a qualidade do produto futuro, existem várias condicionantes, isto é, para manter a qualidade desejada é necessário garantir um certo nível de pureza, e na maior parte dos casos, os processos de tratamento incluem a aplicação de elementos húmidos, nomeadamente tintas, vernizes, resinas, etc., que dificultam o processo de reciclagem no futuro pois são demasiado difíceis de separar do elemento desejado, levando muitas vezes à opção pela não separação e consequente redução drástica do grau de pureza do material reciclado. No caso da madeira existem já algumas soluções que apresentam elevada qualidade e são já bastante utilizadas, como por exemplo, o MDF. O MDF é um material composto pela aglutinação de fibras de madeira que são compactadas e dão forma a um material que pode chegar a ser homogéneo. Na maior parte das vezes o MDF é criado através de processos de reciclagem que utilizam madeira residual ou inutilizada, e é um caso de sucesso na reciclagem. O reduzido impacto ambiental negativo deve-se processos de tratamento e modificação do produto inicial para gerar o produto final.

Por último, surge a hipótese de reutilização. O conceito desta última como o da reciclagem, tem como base a ideia de dar uma nova vida a um material já utilizado. Contudo, existe um detalhe que torna este princípio mais vantajoso: a reutilização de um produto normalmente é quase direta, não necessita de processos mecânicos ou tratamentos que se mostram

prejudiciais ecologicamente. Existem algumas circunstâncias a garantir para permitir a reutilização direta e, assim, garantir a utilização do máximo de potencial desta ideia. São estas a possibilidade de separação fácil de cada elemento de diferentes materiais utilizados, o que implica uma redução da utilização de adesivos húmidos (ex. silicone, cola, entre outros) e tratamentos de superfícies do mesmo tipo (ex. tintas e vernizes); outra condicionante são as formas e dimensões, ou seja, os elementos a serem reutilizados, na maior parte dos casos, têm que ser redimensionados, isto pode levar à opção por modulação e fixação de medidas pré-definidas, como já existe para os elementos pré-fabricados. A construção modular nem sempre é vista como algo positivo por criar uma sensação de limitação formal, contudo, como acontece com qualquer material ou método construtivo, apenas é necessário que seja estudado o suficiente para atingirmos o nível de liberdade pretendido. Temos o exemplo da construção em tijolo, o tijolo é um elemento modular, no entanto, existem variadíssimas soluções construtivas com o tijolo que nos permitem uma infinidade de diferentes formas e nos dão toda a liberdade construtiva e projetual que desejamos. O processo consiste, então, em recolher um elemento já utilizado e utilizá-lo novamente, sempre que possível, nas condições em que se encontra, noutro produto, sem necessidade de tratamentos mecânicos ou quaisquer outras ações nocivas para o meio ambiente.

Assim, é possível afirmar que o rumo a seguir para alcançar os objetivos de sustentabilidade passaria por abandonar os métodos construtivos que dependem da produção integral de cada elemento, evitando assim as consequências causadas pela extração e tratamento da matéria-prima. A reciclagem e reutilização são o único caminho plausível para essa finalidade e, deve ser tido em conta que, sempre que possível, devemos optar pela reutilização pois esta se apresenta como sendo uma opção muito mais vantajosa que nos leva de encontro à meta proposta mais facilmente.

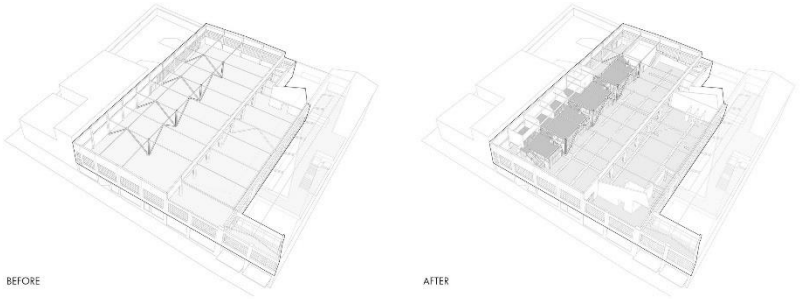


Figura 75 - Exemplo de reutilização adaptativa, projeto de parabola architecture

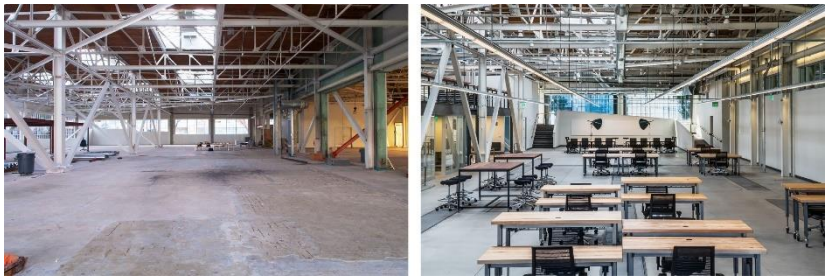


Figura 76 - Reutilização de um edifício pré-existente pela adaptação a novas funções, mantendo grande parte dos elementos construtivos

3.3. CIRCL, Amsterdão

Construído na cidade de Amsterdão e projetado pelo gabinete de Architekten Cie, mais concretamente o arquiteto Hans Hammink, numa parceria com o gabinete DoepelStrijkers, onde o primeiro projetou o edifício e os últimos fizeram o projeto dos interiores, o CIRCL apresenta circularidade em todos os ciclos presentes no edifício.

A ideia principal baseia-se na finitude do planeta e dos seus recursos. Com efeito, este edifício torna-se num manifesto que procura tratar tanto a questão energética e material, para construir um edifício baseado no princípio da circularidade.

No projeto operado por Hammink, o maior destaque foi o sucesso na tentativa de fechar os três ciclos do edifício.

O edifício localiza-se numa área urbana de Amsterdão, com pavimentos impermeáveis a todo o seu redor, onde a água é apenas escoada para sistemas de saneamento. Em oposição, arquiteto opta por introduzir o máximo de áreas com pavimento permeável, desde os pequenos jardins em torno do edifício à maior e mais relevante cobertura jardinada. Nestas áreas a água é recolhida e armazenada em tanques, cuja utilização posterior será feita nas casas de banho e no sistema de rega, transformando o que seriam 'resíduos' biológicos num produto em condições de ser utilizado. Esta é a grande filosofia por detrás deste projeto – *"waste is food"*[75]. A opção por pavimentos permeáveis, como jardins e, principalmente, a cobertura jardinada, apresenta-se como uma solução que permite reduzir gastos de água e os consequentes gastos energéticos associados aos primeiros. A cobertura jardinada permite-nos garantir uma área permeável até em zonas de grande densidade construtiva. Para além disso, funciona como isolador térmico e acústico, acentuando a redução nos gastos energéticos.

[75] Expressão utilizada diversas vezes por McCdonough & Braungart como sendo a filosofia do seu livro "Cradle to Cradle"



Figura 77 -O Circl introduz uma grande área de pavimento absorvente no centro da cidade



Figura 78 - A utilização de cobertura ajardinada como forma de garantir espaços verdes em áreas de elevada densidade edificada

A eficácia do isolamento térmico foi alvo de um estudo intenso, de forma a garantir que os desperdícios por falta de estanquidade e deficiências no desenho de pormenores construtivos fossem nulos. A transição da utilização de energia proveniente fontes finitas para energia proveniente de fontes renováveis constitui-se como fator preponderante para que o edifício seja energeticamente eficiente. Assim, Hammink opta neste caso por inserir vários painéis fotovoltaicos tanto na cobertura do edifício como nas paredes. Desta forma a energia solar é convertida e armazenada em quantidades suficientes para que este edifício se torne totalmente independente e autossuficiente. Nesta área conclui-se que os dois pontos fulcrais são a redução dos gastos energéticos e a opção por energias provenientes de fontes renováveis, sendo que primeiro deve ser tratada a questão da redução para que seja possível integrar depois no projeto elementos que permitam converter energia suficiente para sustentá-lo por si só, através da conversão de energia solar, heólica, geotérmica, entre outros.

Por último, a característica mais inovadora apresentada neste projeto: o conceito de circularidade, ou seja, o potencial de utilização dos materiais após o desmantelamento futuro do edifício.

O principal conceito do seu projeto é a circularidade e, assim, Hammink aplica-o, também, nos elementos construtivos, dando prioridade a essa ideia em relação à ideia de projetar um edifício com um aspeto novo e puro. Este princípio reflete-se, nos materiais escolhidos para o projeto. O CIRCL é, na sua essência, um conjunto de diferentes elementos organizados e agrupados de maneira a dar forma ao edifício, em que cada um desses elementos já foi utilizado anteriormente ou, no mínimo, mostra-se apto para vir a ser utilizado novamente numa construção futura. Temos o exemplo das caixilharias que tiveram o seu primeiro uso num pavilhão industrial. Estas foram extraídas da construção antiga e implantadas diretamente neste projeto sem qualquer tipo de renovações ou tratamentos extra. A aplicação do conceito de circularidade na indústria da construção, não é imediata, uma vez que o aspeto de novo é um requisito para quem quer construir um edifício novo e, por esse motivo, a utilização de materiais usados pode tornar-se uma ideia pouco apelativa para alguns arquitetos e clientes.



Figura 79 - A cobertura acessível levou à opção por inserir os painéis fotovoltaicos na fachada, garantindo autonomia energética ao edifício

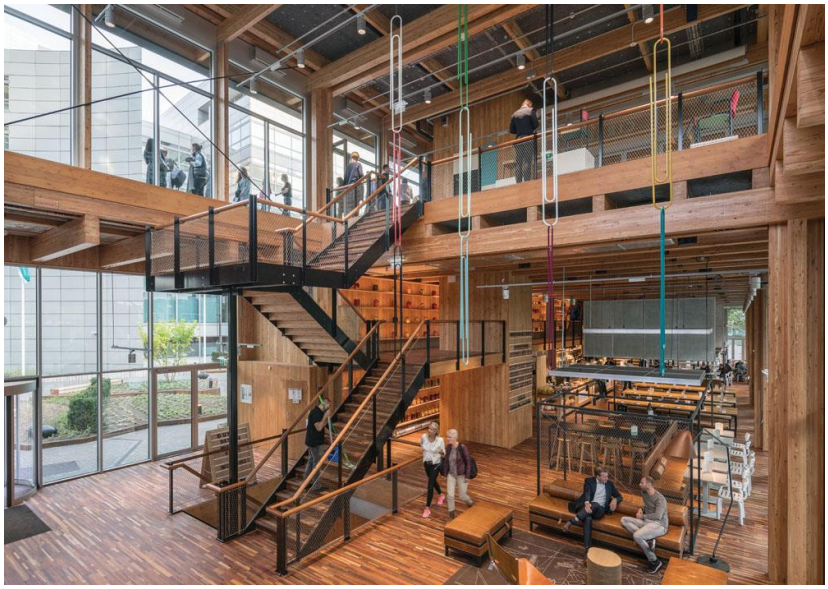


Figura 80 - O sistema estrutural em madeira reutilizada usa um sistema de encaixes simples, sem ligações húmidas, permitindo o seu desmantelamento no futuro sem risco de danificar os materiais que a compõe

Porém, o projeto de Hans Hammink continua a ser muito apelativo visualmente, mostrando que a opção de reutilização pode ter um valor renovado.

É importante frisar que em toda a construção foram evitados os selantes e conexões húmidas, as juntas são feitas com encaixes simples e elementos de ligação facilmente removíveis como parafusos e ligas metálicas, desta forma é possível garantir a preservação independente de cada elemento e uma possível reutilização de todos eles no futuro.

Quanto à configuração do espaço, DoepelStrijkers opta pela flexibilidade. A utilização de separadores móveis permite que o edifício se adapte a várias funções e programas, garantindo a adaptabilidade do edifício diariamente e para o futuro na eventualidade de uma mudança de programa, prolongando o período expectável de vida do mesmo. Estes separadores são na maior parte dos casos painéis sandwich de alumínio reciclado e malha metálica, com o núcleo composto por ganga reutilizada que funciona como isolador acústico. Muitos dos elementos presentes no projeto são reutilizados e os que não o são, apresentam um tratamento mínimo e conexões desmontáveis que permitam a sua reutilização no futuro.

Os sistemas construtivos tradicionais podem sofrer alterações de modo atingir os objetivos de sustentabilidade, colocando em evidência a importância da circularidade na construção. Com as metas impostas pela União Europeia e o objetivo traçado de aumentar a percentagem de construção circular, este é o tipo de construções que se pretende normalizar até 2030.

É possível projetar um edifício sustentável e com valor estético, a partir de diversos materiais, com qualquer forma, dimensão ou programa necessário. Tudo o que temos que fazer é ter a mente aberta, observar cada elemento cuidadosamente e encontrar a sua beleza e, acima de tudo, pensar no futuro, não apenas no presente.



Figura 81 - Reutilização de elementos construtivos - janelas



Figura 82- A flexibilidade da planta pela utilização de painéis móveis para serparação dos espaços permite um elevado grau de adaptabilidade ao edifício

PARTE 4 – Aplicação do modelo circular à Escola

4.1. A madeira como solução sustentável

> *"Der Holzbau kann dieses Interesse mehr als andere Bauweisen bedienen. Die besonderen Qualitäten des Naturbaustoffs Holz in den Bereichen Haptik, Optik, Olfaktorik und das bezogen auf die Festigkeit herausragende Leistungsgewicht machen den Holzbau zunehmend für das moderne Bauen interessant, (…)"*[76]

A opção pela utilização da madeira neste projeto tem por base o facto de que a madeira é um material sustentável que já demonstrou ser uma solução viável no que diz respeito à proteção de recursos, redução das emissões de carbono e, acima de tudo, pela ideia de que as características e formas de trabalhar a madeira se parecem adequar à utilização dos métodos de *design for disassembly* e *urban mining*, que se apresentam como a essência deste trabalho, os métodos fundamentais para garantir um futuro sustentável na arquitetura.

Com a necessidade de garantir um crescimento sustentável, a construção em madeira voltou a ganhar o seu lugar entre arquitetos e engenheiros que pretendem desenvolver sistemas que nos levem ao próximo nível nestes campos. A polivalência demonstrada pelo material na construção é a sua característica mais apelativa e permite a exploração de soluções sustentáveis. A sua versatilidade permite a utilização no sistema estrutural, superfícies interiores e exteriores, possibilitando a construção de um edifício a partir de apenas um material.

Efetivamente, como acontece com qualquer material construtivo, a opção pela madeira deve ser justificada e a forma como a mesma é aplicada no projeto deve ser ajustada às necessidades do projeto em questão.

[76] Kaufmann, Krötsch, Winter, 2017, p. 7, tradução livre da autora: "A construção em madeira consegue servir este interesse mais do que outros métodos construtivos. As qualidades especiais do material natural madeira nas áreas do tacto, ótica, olfato e rácio de performance-peso que se destaca em termos de robustez tornam a construção em madeira gradualmente mais interessante para os métodos de construção modernos".

4.1.1 Propriedades da madeira

Durante os anos dominados pelo Movimento Moderno, os materiais de eleição na construção eram o betão e o aço, em detrimento da madeira, sobre o qual recaía o medo dos incêndios e a necessidade de manutenção constante. Tal como ambos estes materiais, a madeira é, por excelência, um material estrutural. Mas, ao contrário dos primeiros, a madeira é um material natural, o que tem várias implicações na sua utilização, nomeadamente no campo da sustentabilidade, o facto de ser um material natural que não necessita de ser produzido apresenta-se como uma vantagem relativamente aos primeiros.

É importante frisar que a madeira é um material muito variado, com diferentes espécies, cujas propriedades mecânicas variam. De entre as diversas propriedades mecânicas, destacam-se a leveza, a capacidade resistente, a constituição, a resistência ao fogo, as propriedades térmicas e acústicas, o carater renovável e a capacidade absorvente.

A leveza é uma das propriedades mais apelativas da madeira. A madeira apresenta-se como um material bastante leve comparativamente com as outras opções estruturais, nomeadamente betão e aço. O peso volúmico da madeira compreende-se num intervalo [0,4; 1] t/m^3, enquanto o betão tem um peso volúmico de aproximadamente 2,4 t/m^3 e o aço 7,9 t/m^3.[77]

Tal como o aço, a madeira apresenta resistência à tração e à compressão, sendo esta mais baixa. Contudo, se a comparação for feita pela razão resistência/peso, a madeira consegue igualar o aço e ultrapassar o betão. Esta é uma vantagem em relação ao betão, à qual se pode adicionar o facto de que a resistência do betão que é elevada à compressão, é bastante mais baixa à tração. Por outro lado, a rigidez do betão é superior, o que significa que peças de madeira se deformam mais facilmente.

A madeira é um material celular, heterogéneo e anisotrópico. Isto significa que é composta por fibras que se organizam numa direção. A direção destas fibras em relação à aplicação da carga é o que torna o material mais

[77] FPInnovations, 2013, Technical Guide for the Design and Construction of Tall Wood Buildings in Canada 90% DRAFT, p. 98

ou menos resistente. Por ser um material natural e celular, a sua composição pode-se ir alterado ao longo dos anos influenciada por fatores externos. As alterações climáticas levam a que existam alterações nas quantidades disponíveis de cada tipo de madeira e é esperado que no futuro existam mais madeiras duras em comparação com madeiras macias.[78]

Embora seja um material combustível, o que leva muitas vezes à sua utilização para produção de calor, a madeira apresenta uma velocidade de combustão lenta e constante [0.5-1.2] mm/min[79]. Além disso, as características da madeira não se alteram quando exposta ao fogo, mantém a sua resistência e não sofre deformações. Quer isto dizer que, em casos de incêndios, quando a estrutura é em madeira, é possível calcular o tempo que vai levar até esta ficar comprometida. Assim, é possível dimensionar a secção da estrutura durante o projeto tendo em conta o risco de incêndio.

A madeira é um mau condutor térmico e, consequentemente, consegue funcionar como isolante térmico. Não é um material especializado para esse efeito, sendo que a sua capacidade de funcionar como isolante térmico se traduz em apenas 1/3 da eficácia de um material de isolamento corrente, mas, quando comparada com outros materiais estruturais a melhoria é significativa, reduzindo os riscos de pontes térmicas.

O carater natural deste material permite reduzir problemas ambientais associados à produção. Quando utilizada corretamente, devido à rápida renovação das florestas, a sua durabilidade permite afirmar que é obtida a partir de fontes renováveis.

> *"(…) die seit Jahrhunderten nachhaltig betriebene Waldwirtschaft in Europa belegt, dass es trotz intensiver Nutzung des Rohstoffs möglich ist, einen vitalen Wald zu erhalten, der seine anderen Funktionen von der Luftreinhaltung über die Wasserspeicherung bis zum Erholungsraum auch weiterhin erfüllen kann. Derzeit wächst in Europa mehr Holz nach, als genutzt wird, (…)"*[80]

[78] Kaufmann, Krötsch, Winter, 2017, p. 7

[79] FPInnovations, 2013, Technical Guide for the Design and Construction of Tall Wood Buildings in Canada 90% DRAFT, p. 33

[80] Kaufmann, Krötsch, Winter, 2017, p. 7, tradução livre da autora: "(…) a floresta na Europa, que tem vindo a operar de forma sustentável há séculos, mostra que, apesar do uso intensivo da matéria prima, é possível manter uma floresta saudável que continua a exercer as suas funções, desde controlo da poluição do ar

A sua capacidade de absorver CO_2 contribui de forma positiva para a atenuação dos efeitos negativos gerados pela área construção no meio ambiente, mais concretamente, a emissão de gases que provocam o efeito estufa e o consequente aquecimento global.[81]

A capacidade absorvente da madeira deve-se às suas características higroscópicas. Esta é um material que reage à água, tende a absorvê-la e sofrer deformações, nomeadamente um aumento de volume. Este fator, normalmente, leva à alteração das propriedades do material, nomeadamente uma diminuição da resistência. Para além disso, a secagem leva a mais deformações e, eventualmente, ao aparecimento de fendas, estas são chamadas de deformações por refração.

ao armazenamento de água e zonas recreacionais. Atualmente, está a ser criada mais madeira do que é utilizada na Europa, (…)"

[81] Kaufmann, Krötsch, Winter, 2017, p. 7

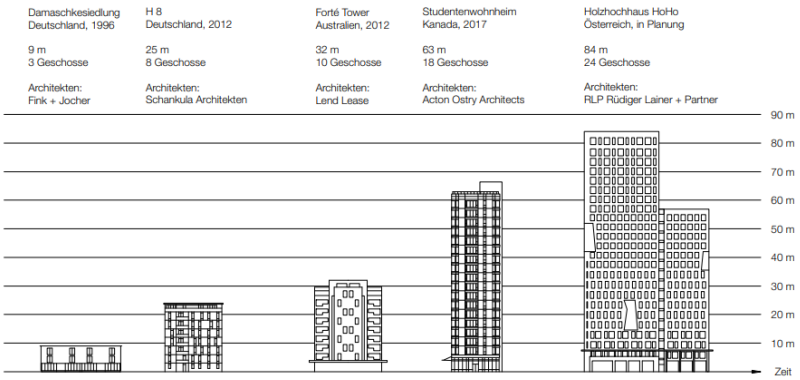


Figura 83 - A evolução das tecnologias utilizadas na construção em madeira têm permitido grandes avanços na forma de projetar edifícios em madeira, dando uma crescente liberdade à utilização deste material



Figura 84 - IZM - Illwerke Zentrum Montafon, Vandans

4.1.2. Requisitos para a durabilidade do material

Quando utilizada e tratada de forma adequada, a madeira é um material que apresenta uma grande durabilidade. Para garantir essa preservação das características do material e a sua qualidade no futuro, existem vários fatores a considerar, entre eles estão detalhes construtivos e opções de projeto mais ligadas à questão visual e estética.

É importante começar por uma adequação da madeira ao local. Existem várias espécies de madeira e cada uma apresenta diferentes características físicas, levando a variações na capacidade de resistência ou na tolerância a alterações no grau de humidade, por exemplo.

Após a escolha da espécie de madeira adequada deve ser aplicado o tratamento apropriado ao material para cada circunstância. Madeiras utilizadas no exterior, sujeitas a variações de humidade e temperatura, entre outros, necessitam de um tratamento diferente de madeiras utilizadas numa situação interior que não está sujeita a tais alterações.

Deformações a longo prazo são frequentes, consequência da utilização dos edifícios e da passagem do tempo. Por vezes, estas deformações a longo prazo devem-se a falhas na fase de projeto, no dimensionamento ou no tratamento escolhido, por exemplo. Normalmente, estas deformações estão associadas a más opções na utilização da madeira, optando por utilizá-la em situações que não lhe são favoráveis. A durabilidade da madeira exige uma grande atenção aos pormenores construtivos, especialmente nas ligações entre elementos construtivos.

É fulcral a existência de um plano de manutenção. Garantir um acompanhamento continuo do material e a possibilidade de resolver qualquer problema que vá surgindo à partida é um fator importantíssimo para assegurar que a qualidade do material é mantida até ao final do período de vida do edifício.

Uma adequação dos pormenores construtivos ao material utilizado é essencial, isto é, cada material tem as suas próprias condicionantes e requer soluções construtivas específicas. No caso da madeira, alguns dos detalhes mais importantes prendem-se com: o tratamento do contacto com o

solo, pois quando em contacto direto com o solo, a madeira torna-se vulnerável devido ao grau de humidade e à exposição a insetos ou outros seres vivos que ataquem a mesma; pontos de ligação, isto é, por sabermos que a madeira sofre deformações frequentes, pelo aumento e redução do volume por absorção de água e secagem, por exemplo, é importante que em todos os pontos de ligação sejam dadas folgas adequadas que permitam a ocorrência destas deformações sem que gerem qualquer problema; ventilação, de forma a garantir um controlo dos níveis de humidade e, assim, evitar apodrecimentos ou o aparecimento de fungos e bactérias que provocam uma diminuição da resistência do material. Normalmente as ligações são feitas, nos casos em que não é utilizado o sistema de monomaterial, com elementos metálicos, nomeadamente parafusos, porcas e chapas metálicas.

A sua classificação como material combustível, exige que haja sempre uma preocupação com a ocorrência de incêndios. Uma forma de proteger o material é através de tratamentos antifogo, com tintas anti-inflamáveis, por exemplo. Contudo, estas dificultam a reciclagem dos produtos, sendo a forma mais adequada de prevenir problemas associados a incêndios a utilização de secções previamente dimensionadas para suportar o fogo durante um período de tempo razoável.

Para garantir a durabilidade do material ao longo do período de vida do edifício, existem diversos fatores a serem considerados desde as fases iniciais do projeto. A madeira, como qualquer outro material, apresenta especificidades que a definem com um bom material construtivo, que está sempre dependente da forma como é utilizado e executado em obra.

4.1.3. Madeira como material sustentável

> *"In den letzten 20 – 30 Jahren hat der Holzbau eine neue Beliebtheit erfahren. Es kann regelrecht vom Neubeginn einer Epoche im Holzbau gesprochen werden. Diese Entwicklung ist einerseits bedingt durch die ökologischen Vorteile des nachwachsenden Baustoffs (…)"*[82]

Começando pelo caracter natural da madeira, este é um dos fatores que destaca este material construtivo de muitos outros. A grande vantagem de ser um material natural, é o facto de não necessitar de passar pela fase de produção: a madeira é extraída da floresta e transportada diretamente para ser tratada, onde as alterações que sofre são apenas as transformações necessárias para a tornar apta a ser utilizada na construção. O processo de produção de materiais sintéticos é um processo lesivo para o meio ambiente, daí a opção pela madeira em detrimento do aço ou betão.

Além disso, a madeira é obtida de uma fonte renovável: as árvores são a fonte do material, estas são colhidas para obtenção do mesmo, conceito denominado de desflorestação. A desflorestação é um dos maiores problemas ambientais que a nossa sociedade enfrenta uma vez que as árvores são as responsáveis pela produção de oxigénio e absorção de dióxido de carbono.

> *Mit 4 Mrd. ha sind heute rund 30% der Landfläche unserer Erde mit Wald be - deckt. Die globale Waldfläche nimmt seit Jahrzehnten ab, vor allem durch Brandrodung, die Um wandlung in landwirtschaftliche Nutzflächen sowie dem illegalen Holzeinschlag."*[83]

---

[82] Kaufmann, Krötsch, Winter, 2017, p. 14, tradução livre da autora: "Nos últimos 20 a 30 anos, a construção em madeira ganhou uma nova popularidade. Podemos literalmente falar de um novo começo de uma era na construção em madeira. Este desenvolvimento deve-se, por um lado, às vantagens ecológicas do material de construção renovável (…)"

[83] Kaufmann, Krötsch, Winter, 2017, p. 14, tradução livre da autora: "Com 4 biliões de hectares, cerca de 30% da área terrestre do planeta está, neste momento, coberta com florestas. A área global abrangida pelas florestas tem vindo a diminuir há décadas, primariamente como resultado do abate-e-queima, à conversão em terrenos agrícolas e à exploração ilegal."

Tendo em consideração o facto de que a área florestal está a diminuir, e que o conceito de desenvolvimento sustentável requer que uma fonte de materiais renovável mantenha níveis constantes de matéria-prima, podemos imaginar que este tipo de matéria-prima possa encontrar escassez. No entanto, há países que têm vindo a investigar de que modo poderão garantir a produção de matéria prima e, ao mesmo tempo, manter a floresta autóctone. A Finlândia e o Canadá têm vindo a desenvolver políticas florestais no sentido de dar resposta à necessidade de manter as florestas e, ao mesmo tempo, manter os níveis de produção de matéria-prima para a construção.

Uma árvore demora décadas a crescer, o período exato depende da espécie, mas o petróleo, por exemplo, demora milhares de anos a formar-se. Os metais, por exemplo, nem sequer estão em constante formação, simplesmente são explorados até ao dia em que forem extintos. Assim, com planos de proteção e manutenção das florestas, com regras de exploração que obriguem plantações equivalentes às colheitas, é possível garantir que as mesmas são uma fonte de material renovável. Sendo assim, uma floresta é, de facto, uma fonte renovável de recursos.

> *"Dabei entfallen rund 40 % unseres Gesamtenergiesowie Materialverbrauchs auf den Gebäudesektor. Zusätzlich verursacht dieser 36 % der Treibhausgase und rund 33 % aller Abfälle."*[84]

O número tão elevado de gases prejudiciais emitidos para a atmosfera deve-se, principalmente, à utilização de maquinarias que emitem quantidades enormes de gases prejudiciais e de materiais que requerem tratamentos aplicados em fábricas que provocam emissão de agentes poluentes. Deve-se, também, em parte, ao facto de que quase todos os materiais conhecidos e utilizados no ramo da arquitetura têm o mesmo problema associado: libertam dióxido de carbono para a atmosfera. A madeira

[84] Kaufmann, Krötsch, Winter, 2017, p. 24, tradução livre da autora: "Cerca de 40% do nosso consumo total de energia e materiais são usados no setor de construção. Além disso, este causa 36% dos gases de efeito estufa e cerca de 33% de todos os resíduos."



Figura 85 - A madeira permite a sua utilização na forma natural, reduzindo o impacto ambiental associado aos processos de tratamento de materiais construtivos

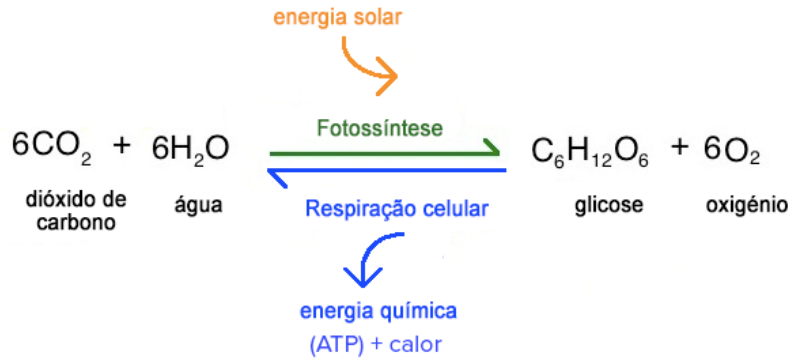


Figura 86 - As árvores são o único ser vivo que consegue extrair dióxido de carbono da atmosfera e criar oxigénio

é o único material que apresenta a capacidade de reduzir as emissões de CO_2 e remover o mesmo da atmosfera simultaneamente.[85]

A "produção" de madeira é um processo que transforma dióxido de carbono em oxigénio, as florestas são os maiores produtores de oxigénio no planeta, eliminando CO_2 da atmosfera, através da fotossíntese.

Em nota de conclusão, é possível afirmar que a madeira tem lugar garantido num futuro sustentável. A desflorestação é um fenómeno atual e preocupante, mas este deve-se a problemas externos à construção, sendo possível garantir que a madeira é um material sustentável. É importante salientar que a utilização da madeira deve, ainda assim, ser cuidada e estudada de forma a garantir que todos estes benefícios estão presentes e se sobrepõem às possíveis desvantagens geradas pela utilização do material.

[85] Kaufmann, Krötsch, Winter, 2017, p. 24

4.1.4. Ciclo de vida da madeira e perspetivas de circularidade

> *"Als biotisch werden Materialien bezeichnet, die durch pflanzliches oder tierisches Wachstum entstehen, an ihrem Lebensende verrotten und wieder als Nährstoffe dem Wachstumskreislauf zugeführt werden können. Sie erneuern sich in Zeiträumen, die kürzer oder vergleichbar mit den Lebensdauern unserer Gebäude sind."*[86]

A madeira inclui-se na categoria de materiais bióticos, ou derivados biologicamente e o seu carater natural e renovável são qualidades bastante importantes na área da construção.

O ciclo de vida da madeira, como na maior parte dos materiais, depende da forma como é utilizada. Quando não é sujeita a nenhum tratamento, a madeira é completamente sustentável e renovável: árvores morrem, caem, desaparecem, e árvores novas nascem para dar continuidade à vida naquele local. Por ser um ciclo natural constante e fechado, em que não são necessárias quaisquer intervenções para que as árvores continuem a nascer, é um ciclo renovável e 100% sustentável.

Por outro lado, quando é utilizada na construção, a madeira pode ser inserida num ciclo mais complexo, que envolve alterações ao material.

Assim, quando é utilizada na construção, existem duas opções: a alteração das propriedades da madeira para ser utilizada em projeto; ou a utilização do material natural no projeto. Ambas as opções apresentam vantagens e desvantagens que devem ser tratadas cuidadosamente aquando da escolha de cada uma.

No primeiro caso em que a madeira é sujeita a tratamentos de alteração das suas propriedades mecânicas, o ciclo de vida altera-se. Neste caso, a árvore cresce, a madeira é colhida e transportada para o local onde vai ser tratada, de seguida passa pela fase do tratamento, que no caso da madeira está normalmente ligado a alterações de densidade reduzam o

[86] Hillebrandt, Annette e Seggewies, Johanna-Katharina in Atlas Recycling, 2018, p. 58, tradução livre da autora: "Os materiais que surgem do crescimento vegetal ou animal, apodrecem no final da sua vida e podem reentrar no ciclo de crescimento como nutrientes, são chamados de bióticos. Estes renovam-se em períodos mais curtos ou comparáveis à vida útil dos nossos edifícios"

coeficiente de absorção de humidade do material, mas existem outros tratamentos ligados a fatores estéticos, por exemplo, ou à produção de outros tipos de madeira como MDF ou MLC. Após o tratamento a madeira é transportada para o local de construção e aplicada no edifício. No final do período de vida do edifício, atualmente, o edifício é demolido e a madeira, caso esteja facilmente removível do local, é utilizada para produção energética através da queima do material, já que não pode ser devolvida ao meio natural por já apresentar alterações às suas propriedades mecânicas.

As cinzas da madeira queimada poder ser utilizadas como fertilizante, tal como a madeira em decomposição natural na floresta, mas os seus benefícios são menores comparativamente com a segunda. Assim, o ciclo pode ser fechado, mas não é eficaz pois a fase final em que a madeira é queimada provoca a perda de parte do valor do material inicial.

Então, neste caso, para fechar o ciclo, seria necessário aplicar o método da reutilização ou, no mínimo, reciclar a madeira. A reutilização é a melhor opção nas primeiras décadas de utilização do material, pois este mantem a qualidade suficiente para voltar a ser utilizado em edifícios novos durante esse período. Assim, sempre que os métodos construtivos o permitam de forma que não sejam necessários gastos energéticos ou emissões extra, ou seja, a reutilização deve ser a primeira opção. No caso de os elementos serem inseparáveis por lacunas de projeto, ou impossibilidade construtiva, a reciclagem é a melhor opção. Também num período mais tardio da vida do material a reciclagem se apresenta como uma solução mais vantajosa. A reciclagem de madeira, geralmente, permite a produção de madeiras baseadas na compactação de fibras, como MDF (Medium Density Fiberboard) ou MLC (Madeira Laminada Colada).

Em oposição, quando se decide utilizar o material na sua forma natural, há a possibilidade de manter o ciclo mais próximo do ciclo natural. Ao utilizar a madeira sem tratamento, esta vai sempre manter a possibilidade de se decompor de forma natural uma vez reposta na natureza.

> *"Der Stoffkreislauf unbehandelter biotischer Materialien ist an sich von Natur aus geschlossen: Das Material kann vom Menschen für Baukonstruktionen nutzbar gemacht werden – es wird lediglich »ausgeliehen« aus dem Naturkreislauf."*[87]

Esta seria uma forma de garantir a circularidade do processo de construir em madeira. Em casos em que a madeira não foi sujeita a tratamentos, a duração do seu período de vida num edifício é mais reduzida, contudo, a reutilização e reciclagem continuam a ser opção. Existem diversos casos de edifícios temporários de curta duração que podem conter peças em madeira não tratada reutilizáveis, ou peças utilizadas em edifícios permanentes que vejam a sua vida útil reduzida por qualquer motivo exterior, podem também ser reutilizadas. A diminuição do período em que peças de madeira não tratada mantêm a sua qualidade em relação às peças de madeira tratada, não ditam a impossibilidade da reutilização e, sobretudo da reciclagem.

A opção pela utilização da madeira sem tratamentos apresenta-se como sendo a mais sustentável, pela redução de emissões de gases e substâncias poluentes, e por ser mantido o ciclo natural do material. Contudo, a utilização de madeira tratada continua a exibir um elevado grau de sustentabilidade. A forma sensível de tratar a escolha do material é pela compreensão da forma como cada opção se adequa ao projeto em questão e, acima de tudo, saber adaptar cada opção de forma a torná-la sustentável. Podemos construir com qualquer material imaginável desde que tenhamos em conta as estratégias de sustentabilidade necessárias para tornar o edifício ecologicamente eficiente, nomeadamente, o conceito de economia circular aplicado à utilização de materiais e energética.

[87] Hillebrandt, Annette e Seggewies, Johanna-Katharina in Atlas Recycling, 2018, p. 58, tradução livre da autora: "O ciclo de materiais bióticos sem tratamento é essencialmente fechado: o material pode ser utilizado pelos humanos para a construção de edifícios – este é apenas «emprestado» pelo ciclo natural."

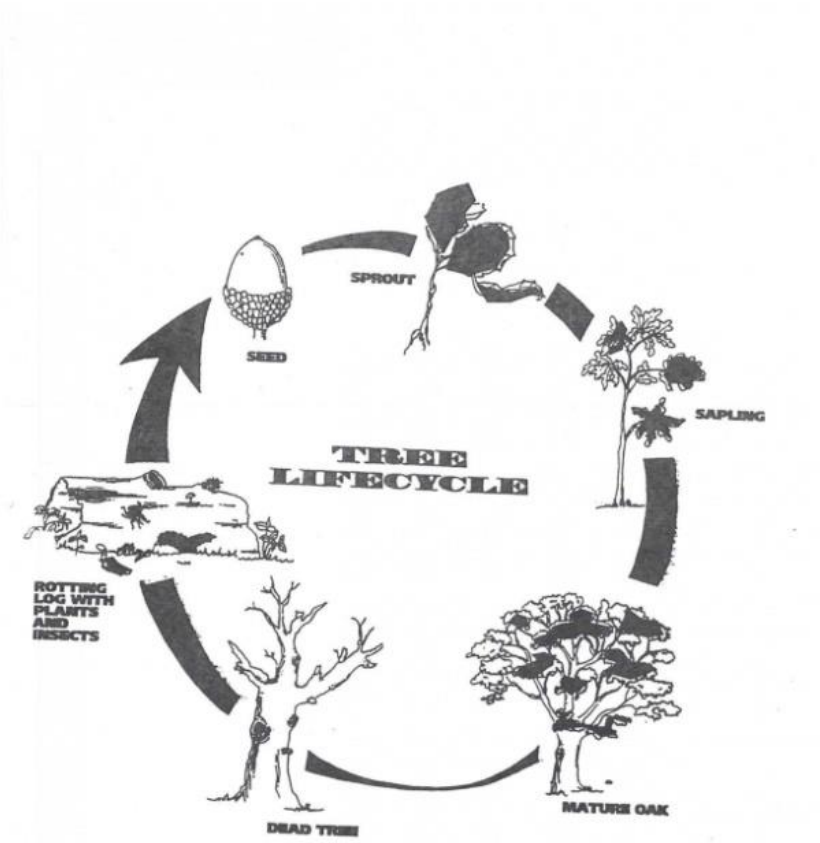


Figura 87 - Um ciclo natural, fechado e eterno

4.2. O modelo circular na construção

Vivemos na era mais desenvolvida tecnologicamente e esta continua numa constante evolução, ultrapassando qualquer espectativa existente há poucas décadas. Todas as ferramentas que temos à nossa disposição no setor da arquitetura e construção permitem-nos mudar e adaptar técnicas e modos de construir de forma a adequar os mesmos às mudanças provocadas na sociedade e suas necessidades provocadas pelo passar do tempo. Essas mudanças implicam questões como redimensionamento de espaços, graus de privacidade, utilização de novos materiais, entre outros. Mas a mudança que está a ser estudada prende-se com a necessidade de garantir um desenvolvimento sustentável no ramo da construção, reduzindo os gastos energéticos e emissões de substâncias poluentes, e optando pela utilização de matérias de fontes renováveis de moda a garantir que não serão esgotados quaisquer recursos num futuro próximo.

A forma mais viável de garantir essa transição passa pela escolha de sistemas fechados na área energética e na secção dos materiais e métodos construtivos. Na área energética, a solução é a utilização de energia proveniente de fontes renováveis, como a aplicação de painéis solares ou elementos que capturam energia eólica ou geotérmica, por exemplo. Já na parte dos materiais e métodos construtivos, a solução é mais complexa e depende de mais pessoas, como construtores e projetistas. Isto é, para implementar o sistema de urban mining, o arquiteto deve ter uma série de condicionantes em consideração, é fulcral desenhar o edifício como um conjunto de elementos que pode ser tão facilmente "montado" como "desmontado" e garantir que as peças serão de facto reutilizadas.

Para isso, alguém deve ser responsável pela manutenção e garantia de reutilização – possivelmente as empresas de construção. O papel do arquiteto neste sistema é projetar com o intuito de desconstruir no futuro – *design for disassembly*. Projetos compostos por vários elementos separáveis, sem ligações húmidas entre diferentes materiais, que apostam na simplicidade sem nunca descuidar as questões energéticas nem as necessidades da sociedade. Mas também é importante que os arquitetos de

hoje em dia, sigam o exemplo de outros como Hans Hammink e comecem a procurar elementos construtivos que possam ser reutilizados. Que introduzam, também, o princípio de *urban mining* de modo que seja criada uma necessidade de construir já a pensar nas reutilizações futuras.

A melhor forma de garantir um bom funcionamento do sistema de *urban mining* é associá-lo a empresas de construção. Se existir um compromisso da empresa de construção responsável por construir cada edifício de se responsabilizar pelo mesmo durante todo o seu período de vida e pelo futuro desmantelamento, será possível garantir que os elementos serão reutilizados ou, no mínimo, reciclados com o grau de qualidade necessário para serem introduzidos novamente no setor da construção.

4.2. A solução

Dadas as circunstâncias atuais, os pontos de partida de um projeto devem ser o conceito de *design for disassembly*, a aplicação de elementos que garantam a utilização de energias renováveis e a opção por construir com materiais sustentáveis; neste caso será utilizada a madeira. Projetar com base nestas ideias é o princípio de uma nova era.

A partir daqui entra o processo de acompanhamento de todas as fases de vida do edifício e manutenção do mesmo, o que originará a possibilidade de pôr em prática o conceito de *urban mining.* Estas ideias só podem ser inseridas no sistema depois de serem garantidas as primeiras, pois o conceito de urban mining só se torna viável quando os edifícios são construídos com o objetivo de serem desconstruídos e não demolidos.

Assim, é possível reconhecer uma interdependência entre todos estes conceitos para que nos levem à concretização de um edifício que corresponda a todas as exigências que o tornarão sustentável.

É possível dividir o conjunto de ideias em dois: o grupo de conceitos de projeto – design for disassembly, urban mining e flexibilidade; e o grupo da construção – autonomia energética, construção em madeira e acompanhamento do edifício ao longo do seu período de vida.

Tentando responder às necessidades dos conceitos de projeto, surge a ideia de tentar transpor o conceito da construção em legos para uma situação real. Quando analisado o conceito do brinquedo, percebemos que retrata perfeitamente o conceito de economia circular: construir, desconstruir e voltar a construir, sem nunca perder qualidade. A própria essência de facilidade de construção e desconstrução permitem uma grande flexibilidade tanto a nível construtivo como a nível espacial. Assim, o desafio aqui seria transformar o conceito dos legos num sistema construtivo real.

A construção em lego é um método de construção modular pré-fabricada: existe uma quantidade limitada de modelos de peças diferentes e cada um desses modelos é produzido em grandes quantidades.

Então, pretende-se criar um sistema modular pré-fabricado – que admite uma redução dos desperdícios – com uma base de juntas de encaixes

ou, no máximo, através de elementos externos de ligação, que permita uma fácil acessibilidade e manutenção de cada um dos módulos e um desmantelamento simples e seguro no final de vida para que os elementos possam voltar a ser utilizados.

É necessário, agora, implementar no módulo os conceitos de construção: a utilização de madeira, a autonomia energética e, por fim, o acompanhamento do edifício.

A utilização de madeira torna-se na escolha mais óbvia para a solução apresentada, não apenas pelas suas qualidades a nível ambiental, mas, precisamente, pela tradição construtiva da madeira que sempre utilizou encaixes secos e oferece a flexibilidade construtiva desejada. A madeira é o material mais adequado ao sistema de montagem e desmontagem que se pretende criar.

A garantia de um bom isolamento térmico é, também, importante. A madeira é um material de baixa condutividade térmica que, por si só, garante já um certo nível de isolamento térmico, contudo, a sua performance nessa área pode ser melhorada através da integração de um material isolante nos módulos utilizados para o exterior. Assim, em Portugal optar pela cortiça é o idela, por ser um produto produzido nacionalmente.

O acompanhamento da vida do edifício acontecerá se no projeto inicial for planeada a recuperação e reutilização dos módulos e permite a transformação de uma cultura de construção e abandono numa de construção e acompanhamento, que torna viável a opção pela reutilização de materiais. Este método beneficia, também, o setor económico, pois permite uma poupança de recursos financeiros ao reduzir a necessidade de exploração e processamento dos materiais.

4.2.1. O módulo proposto

Antes de mais, é importante esclarecer que a construção modular é um tema recorrente associado à temática da economia circular, especialmente quando o assunto principal está ligado à exploração de recursos materiais. Assim, o foco centra-se nas implicações que tem a utilização de um sistema modular e investigar de que forma se poderá adequar as várias solicitações que cada parte do módulo pode exigir.

A inspiração para o presente trabalho teve por base o módulo desenvolvido pela STEKO, uma empresa suiça. O módulo desenvolvido recria o princípio de uma construção em alvenaria, neste caso em madeira.

A possibilidade de reutilizar o material em construções futuras é a prioridade no desenho deste modulo. O módulo proposto no presente trabalho permite, através da utilização de encaixes secos, a reutilização futura desta alvenaria. As argamassas de assentamento utilizadas numa alvenaria de tijolo são substituídas por encaixes entre elementos, garantindo o princípio de uma construção seca.

O produto final do sistema construtivo, é o bloco em madeira com de medidas: 320mm de altura por 240mm de profundidade, com um comprimento que pode variar entre os 160mm, 320mm, 480mm ou 64mm. A pequena dimensão do módulo permite um maior número de opções de desenho. Para além disso, este módulo possibilita, tal como acontece na construção em tijolo, utilizar diversos tipos de acabamento.

Os módulos podem ser reutilizados ou reciclados, e a simplicidade construtiva permite uma redução de gastos energéticos e emissões de carbono significativa.

O módulo proposto será baseado no mesmo sistema construtivo, contudo apresenta apenas duas dimensões possíveis: 200x400x140 mm e 200x200x140 mm, realizado com pinho português, reduzindo gastos energéticos e emissões de gases poluentes provenientes do transporte.



Figura 88 - Módulo 640x320x240mm



Figura 89 - O sistema construtivo torna-se tão simples, intuitivo e leve que as crianças são capazes participar na construção

O pinho é obtido a partir "uma árvore média alcançando entre 20 a 35 metros."[88]. É uma madeira clara, com veio reto, moderadamente dura e com uma diversidade de aplicações possíveis entre interior e exterior.

Pela intenção de utilização no interior e exterior, há a pretensão de utilizar um sistema de tratamento natural da madeira: a acetilação. Embora não haja ainda experiências que possam corroborar esta pretensão, o caracter experimental deste trabalho, que pretende avançar em ideias muito mais que a proposta em si, permite lançar a possibilidade e, quem sabe, em ambiente de investigação futuro haverá a oportunidade de explorar as ideias aqui expostas.

O tratamento por acetilação é feito pela utilização de vinagre e calor, que provocam uma alteração nas moléculas da madeira, levando a uma redução da absorção de humidade por parte do material que pode ir até 80%[89]. Esta redução drástica na capacidade de absorção da madeira torna-a num material mais estável, com reduzidas alterações de forma e que se adapta facilmente no exterior. As alterações moleculares do material protegem-no simultaneamente contra ataques de fungos e isetos, por deixar de ser reconhecido como fonte de alimento para os mesmos.[90]

A estabilidade dimensional da madeira, o baixo coeficiente de absorção de humidade e a imunidade a insetos, fazem com que a durabilidade do material duplique. Normalmente, a madeira utilizada em construção tem uma durabilidade de 25 anos, enquanto a madeira acetilada dura, facilmente, 50 anos, com reduzidas necessidades de manutenção. Por fim, na fase da durabilidade, é importante salientar que a utilização de pinho acetilado, para alem de permitir uma maior durabilidade do módulo do que outras madeiras, permite afirmar que é criado um sistema fechado de material, isto porque, esta madeira tem uma duração de até 50 anos e, para

[88] in https://www.ferreiramartins.pt/pt/produtos/madeiras/especies/europa/pinho-nacional visitado em 29.05.2021

[89] Valor de referência em https://www.accoya.com/what-is-accoya/, visitado a 04.10.2020

[90] In https://www.accoya.com/what-is-accoya/, visitado a 04.10.2020"

alcançar madeira de qualidade, a árvore deve completar 30 anos para ser cortada.

O tratamento por acetilação não é tóxico, podendo a madeira ser reciclada ou voltar ao ciclo natural para se decompor.

> *"The process adds nothing to the wood that is not naturally present. An incredible sustainability story is shown (…). Supported by a 50 year above ground and 25 year in-ground warranty, effectively giving forests time to regrow across the total life cycle (…)"*[91]

De forma a garantir a durabilidade do módulo para possibilitar a sua reutilização, é importante garantir manutenções frequentes. Apesar de a accoya estar menos suscetível aos problemas associados à construção em madeira, nomeadamente, patologias associadas a fungos e insetos, em conjunto com deformações ligadas às variações da dimensão dos elementos construtivos derivadas de fatores meteorológicos, o edifício, como qualquer outro, deve ser inspecionado regularmente, de maneira a garantir a qualidade total de cada módulo individual e, consequentemente, de toda a construção.

[91] In https://www.accoya.com/what-is-accoya/, visitado a 04.10.2020, tradução livre da autora: "O processo não adiciona nada à madeira que não esteja naturalmente presente. Uma história incrível de sustentabilidade (…). Sustentada por uma garantia de 50 anos acima do solo e 25 abaixo, dando efetivamente tempo às florestas para que voltem a crescer durante o ciclo de vida completo (…)"

4.3. Experiência construtiva: escola modular

A renovação da escola da Azurara foi projetada com base no sistema construtivo de módulos proposto. Os dois novos volumes propostos serão construídos em madeira, utilizando este sistema.

A utilização de alvenaria de madeira, que funciona através de encaixes secos desenhados em cada uma das peças, conduz à escolha de um sistema estrutural de pilares e vigas em madeira, pois este é um material que admite a pré-fabricação, reduzindo os desperdícios energéticos e materiais, e permite a customização das peças, destacando-se como a melhor opção para o sistema estrutural neste projeto.

Assim, o sistema estrutural tem por base uma modulação ligada ao alçado com um vão de laje fixo de 270 cm. As lajes utilizadas são em CLT, com 20 cm de espessura, compostas por 5 camadas contra fiadas, com 4 cm de espessura. A combinação de diferentes camadas menos espessas contra fiadas garante maior resistência, permitindo espessuras totais mais reduzidas.

As vigas, por sua vez, apresentam vãos variáveis, entre os 590 cm e os 270 cm, refletindo-se isso na espessura das mesmas, que varia entre os 20 e os 45 cm. Os pilares apresentam uma medida fixa, que deriva da modulação da planta, de 60x30 cm.

A laje inferior, assim como as fundações e os elementos da camada inferior em contacto com o solo são em betão.

O recurso a ligações através de peças especializadas é exclusivo às ligações entre elementos estruturais: as ligações entre pilares e vigas são feitas através de peças metálicas que criam uma separação entre os elementos de madeira. Essa separação cria uma ideia de leveza dos elementos estruturais que é frequentemente associado à construção em madeira. A peça metálica é introduzida verticalmente nos pilares e fixada com parafusos. As suas dimensões reduzidas são o que dá a ideia de separação dos elementos estruturais. A ligação com a viga é feita pelo prolongamento da peça numa chapa metálica que é aparafusada à viga. As ligações entre vigas são feitas através de chapas e cantoneiras aparafusadas às mesmas.

O encontro dos pilares com o solo é outro ponto crítico na construção em madeira que aqui é resolvido da mesma forma que o encaixe com a viga. A introdução de uma peça de ligação metálica que eleva ligeiramente o pilar do solo permite proteger a madeira e garantir a sua durabilidade.

A estrutura pontual de madeira permite interrupções que podem ter dimensões variáveis e ajustáveis aos diferentes elementos ao longo do percurso. Assim, a rampa ajusta-se ao ritmo das árvores que vão aparecendo no seu desenvolvimento. No encontro da rampa com o solo, a estrutura de madeira dá lugar a um elemento de pedra que faz essa transição.

Nas paredes interiores, o módulo é utilizado simples. Enquanto os encaixes entre cada peça são previstos à partida e estão integrados no desenho da peça, os elementos estruturais exigem a aplicação por aparafusamento de uma peça suplementar que garante o encaixe com os módulos. O aparafusamento desta peça extra é utilizado em todos os pontos onde existem encaixes entre as peças e um elemento estrutural.

No exterior acrescentam-se outras necessidades: isolamento, impermeabilização, acabamentos da fachada, entre outros. Este sistema construtivo versátil permite acabamentos com o material aparente – pela utilização de madeira acetilada, esta pode ser aplicada no exterior –, pintado, fachada ventilada, etc.

No projeto de ampliação da escola é utilizado um sistema de fachada ventilada, ou seja, pelo interior, o módulo é deixado à vista, e pelo exterior é impermeabilizado, isolado termicamente e revestido com painéis de madeira. É aplicada uma camada de 8cm de isolamento térmico, a ser fixado ao módulo através de meios mecânicos secos. O material utilizado para isolamento térmico é o aglomerado de cortiça, um produto natural nacional, assim como o pinho utilizado para a construção. É garantindo um espaço vazio entre a camada de isolamento e os painéis de pinho acetilado que compõe a fachada ventilada. Estes painéis são fixados através de uma estrutura de madeira composta por prumos horizontais, que são aparafusados à estrutura da parede.

Na fachada que abre as salas de aula para os pátios é utilizado um sistema de estrutura aparente, onde os pilares e vigas desenham os vãos, preenchidos por grandes janelas de correr com caixilharia em madeira. A baixa condutividade térmica da madeira permite este acabamento aparente sem a necessidade de isolamento, porque apesar de a sua condutividade térmica ser ligeiramente mais alta do que a de um material de isolamento, não existem riscos de pontes térmicas acentuadas num elemento estrutural maciço.

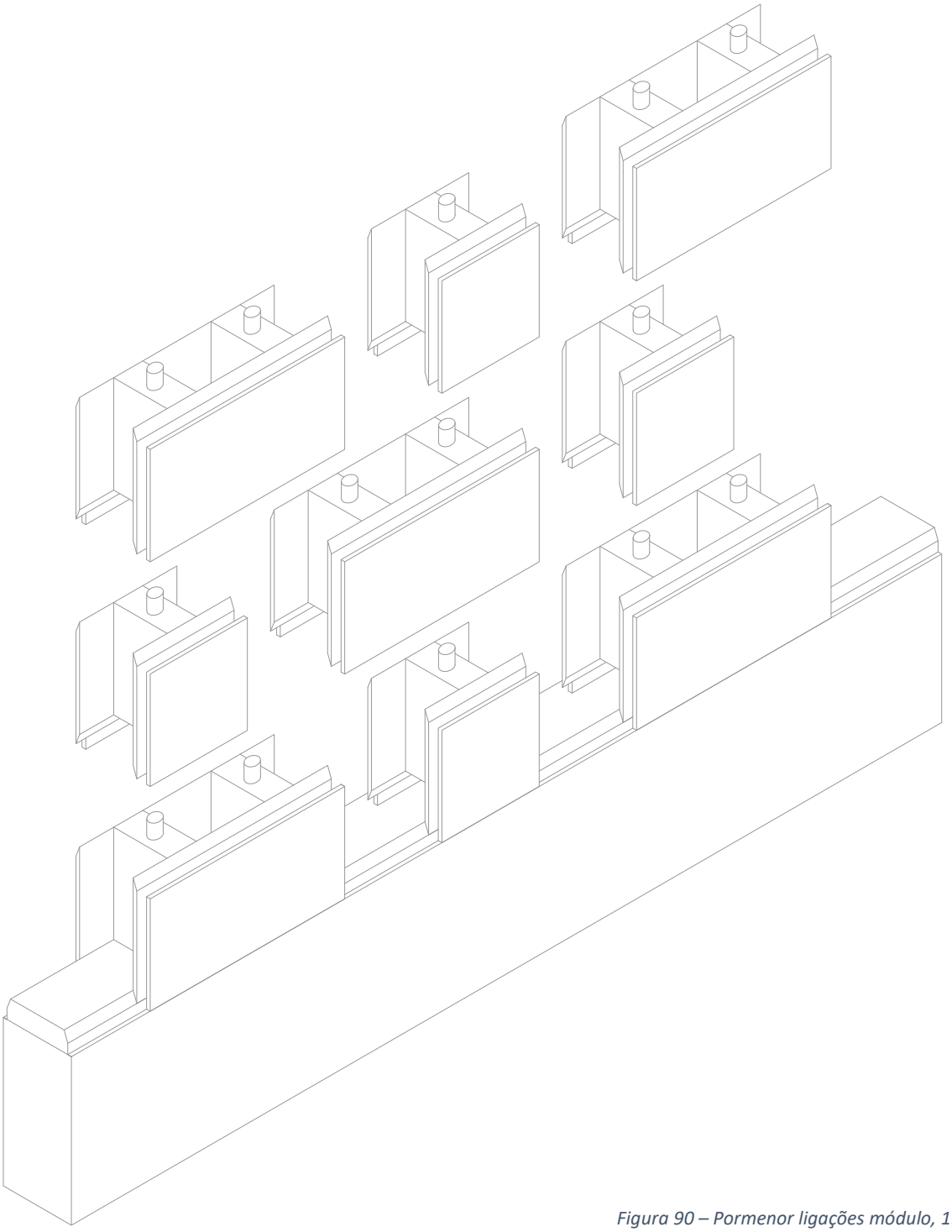


Figura 90 – Pormenor ligações módulo, 1:10

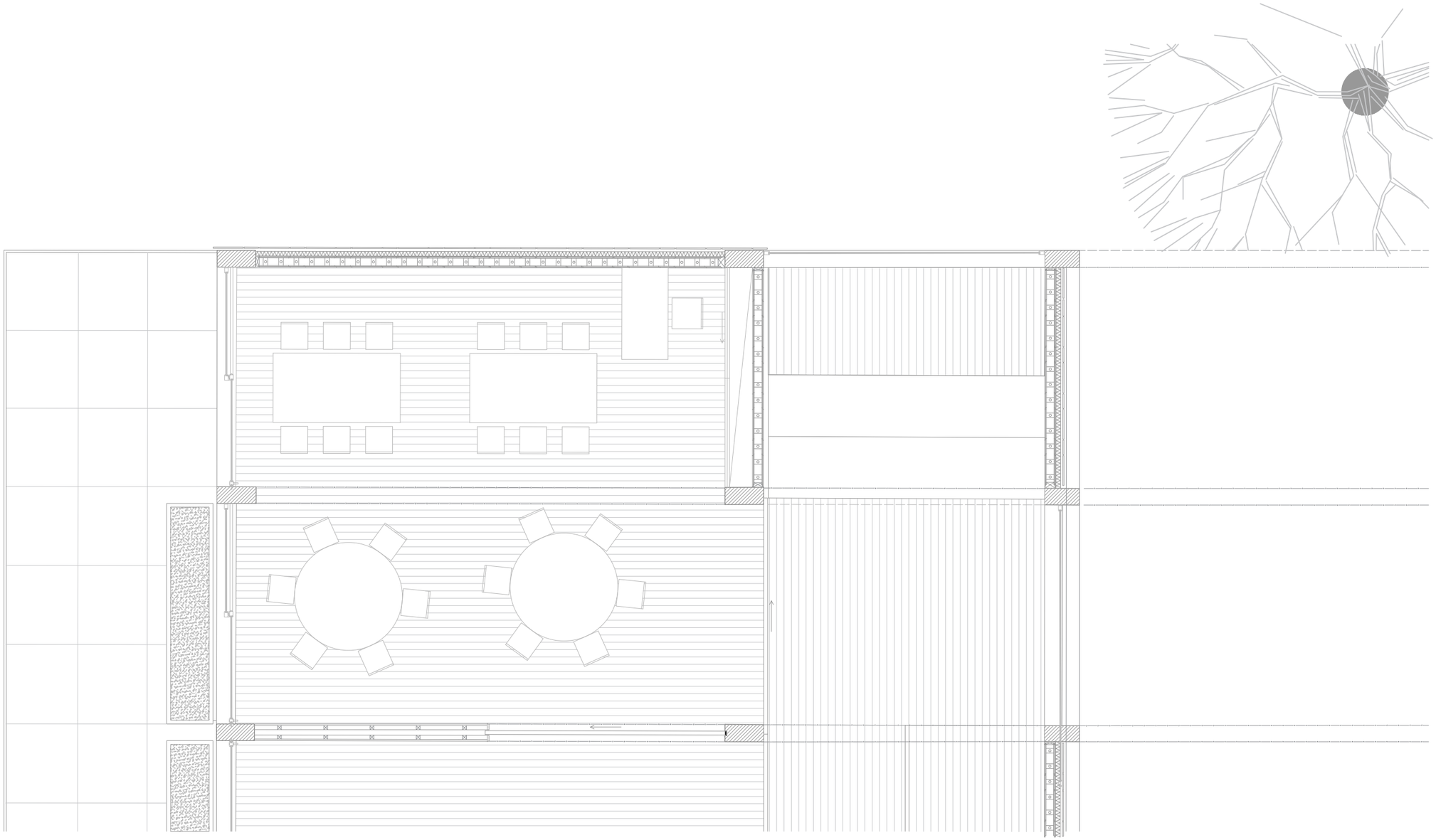


Figura 91 – Planta sala de aula, 1:50

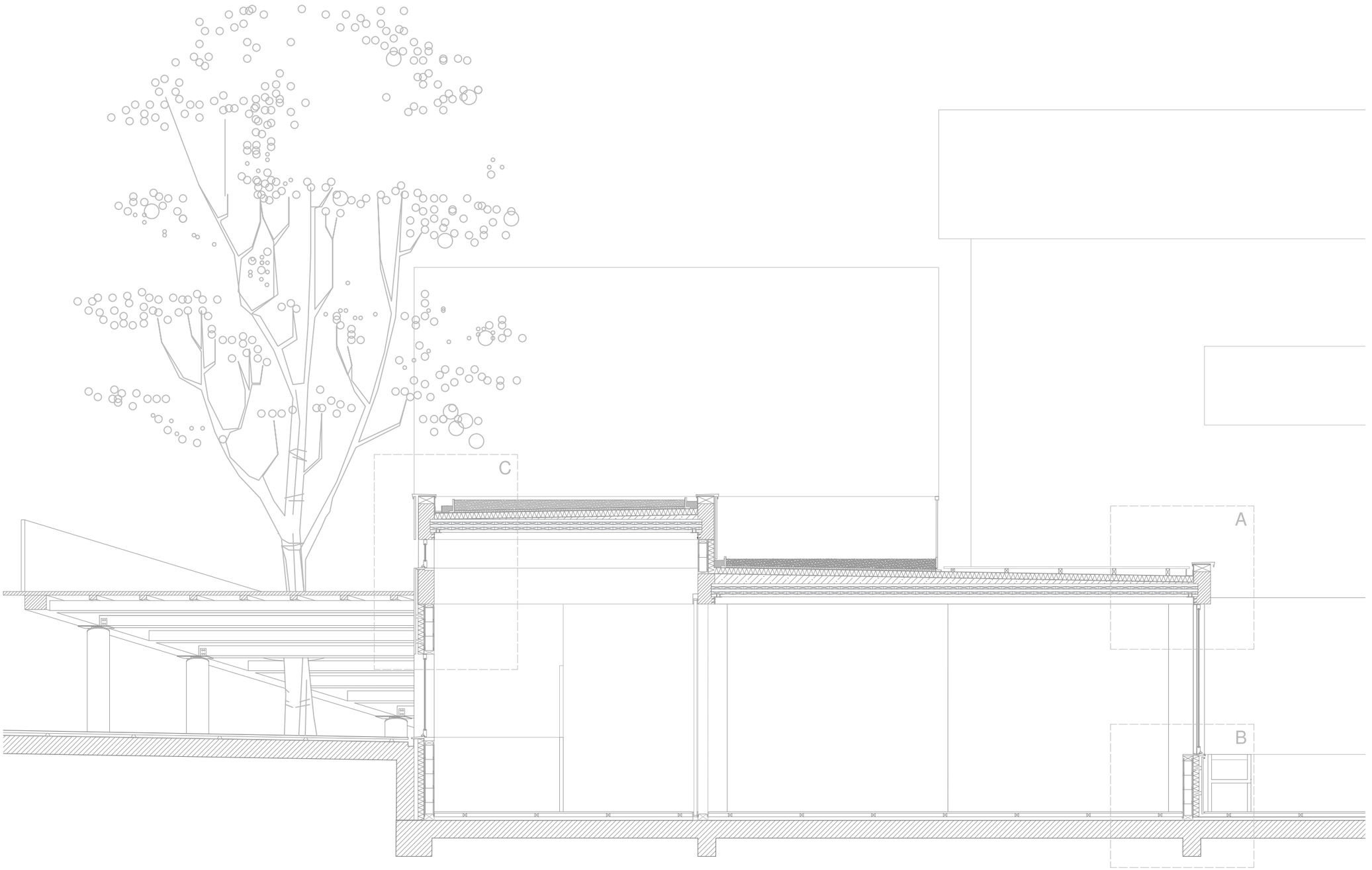


Figura 92 – Corte Construtivo, 1:50

Cada sala apresenta uma porta de correr e uma janela, a 80cm de altura. No exterior, alinhadas pelas soleiras destas janelas surgem pequenos espaços de cultivo, chamadas de hortas, que as crianças devem cuidar e ver crescer.

A cobertura acessível tem uma grande parte de jardim, mas não é totalmente ajardinada. Assim, existem duas áreas distintas na mesma. Em ambas foi utilizado o sistema da cobertura invertida.

Desde a laje de CLT, que é ligada aos elementos estruturais através de encaixes desenhados nas vigas, complementados pela utilização de cantoneiras metálicas aparafusadas aos mesmos, temos um enchimento que nos permite garantir uma pendente de 2%, essencial nas coberturas ajardinadas, coberto por uma tela corta-vapor e uma tela asfáltica, permitindo em seguida a aplicação da camada de isolamento. A cobertura será revestida com deck e ajardinada.

A partir daqui os dois acabamentos da cobertura exigem tratamentos diferentes. Na zona onde a cobertura não é acessível, o isolamento é coberto com uma tela de impermeabilização revestido com deck. Na zona ajardinada, é necessário um sistema de filtragem e drenagem de água, uma manta geotêxtil que impeça a penetração de raízes na estrutura da cobertura, e uma camada de solo que permita o crescimento da relva. Esta camada deve estar afastada dos elementos de madeira. Optou-se pela utilização de uma peça de suporte metálica que permite este afastamento através da criação de um pequeno espaço com gravilha, onde se insere, também o sistema de escoamento de água.

A água da cobertura será armazenada, para ser reutilizada nas sanitas das casas de banho, integrando um sistema de reaproveitamento de água.

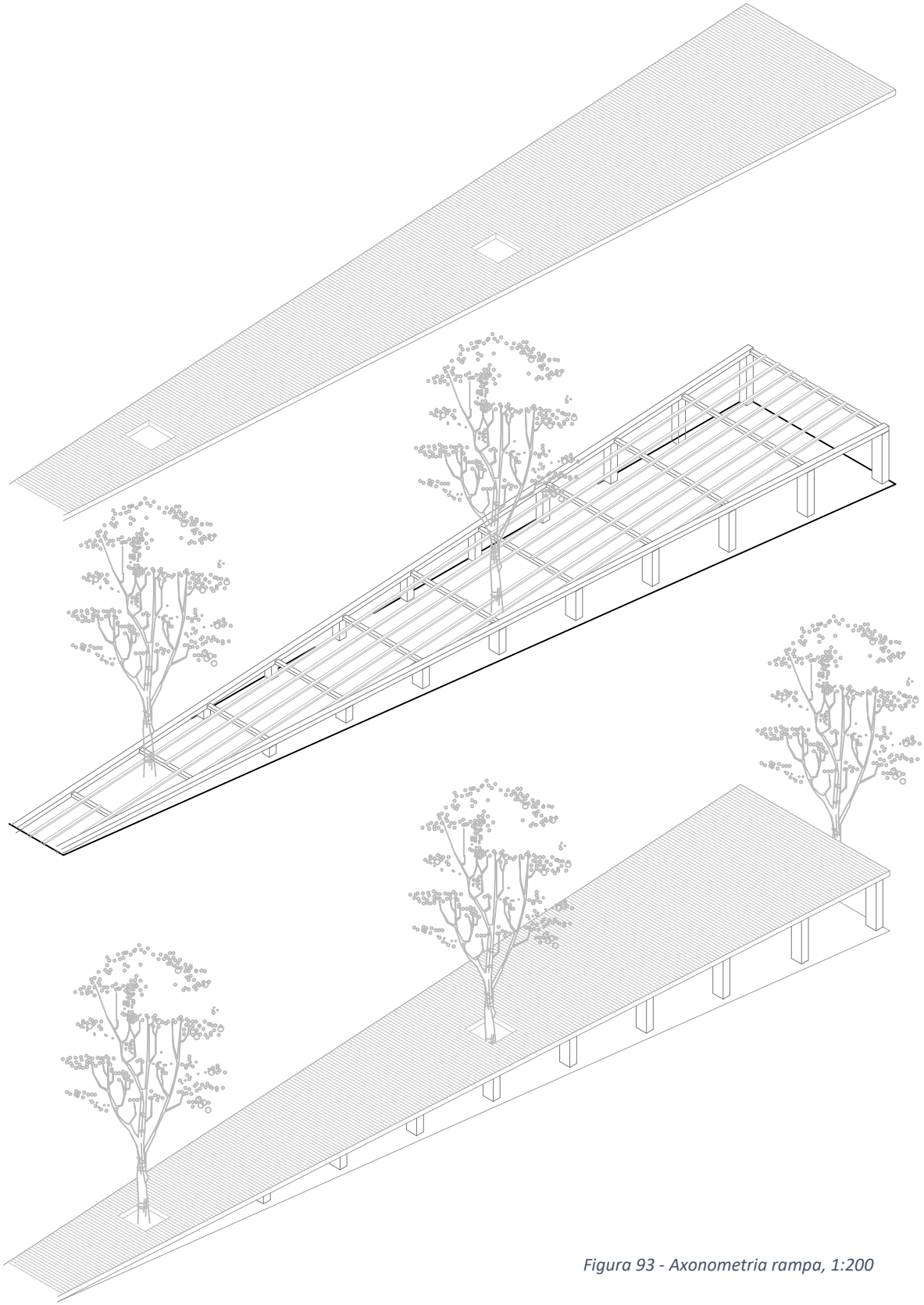


Figura 93 - Axonometria rampa, 1:200

Considerações finais

Dada a enorme complexidade dos temas estudados e a necessidade de mudanças a nível social para a implementação de algumas das ideias analisadas ao longo deste trabalho, confirmamos que o presente trabalho propõe uma abertura, mais preocupado com o futuro e com as mudanças que são necessárias implementar. Tendo o projeto de renovação e ampliação de uma escola primária, a de Azurara, procurou-se pensar o projeto tendo em conta conceitos como a circularidade na construção, tendo em atenção a qualidade do espaço e a sua funcionalidade.

Apesar da existência de diversos estudos acerca do tema, nos últimos anos, existe uma disparidade na quantidade de estudos teóricos e de exemplos práticos sobre esta matéria, verificando-se que a maior parte das escolas portuguesas estão desatualizadas e ainda padecem de um problema ligado à simplificação de espaços que, por oposição, deveriam apresentar atmosferas variadas e complexas de modo a proporcionar o máximo de experiências que fazem parte do crescimento humano. Para além dos problemas básicos, como por exemplo a qualidade dos espaços, higiene e qualidade construtiva dos edifícios – falta de isolamento térmico, infiltrações e condensações.

A velocidade assustadora a que os recursos não renováveis estão a ser utilizados levam-nos a prever o seu esgotamento. Assim, é essencial uma mudança drástica que nos permita evitar esse desfecho que colocará em desequilíbrio o ecossistema terrestre. No campo da Arquitetura, essa mudança passa, nomeadamente, por introduzir um sistema de economia circular na construção. Esta circularidade deve ser aplicada à utilização energética, de materiais e de resíduos. Assim, a procura deve pautar-se por um edifício energeticamente autónomo pela utilização de energias renováveis, com um sistema de reutilização dos elementos construtivos pela possibilidade de separar cada um dos mesmos sem risco de os danificar, e cuja construção evita os desperdícios energéticos e materiais. Para além disso, o aproveitamento de água da chuva e resíduos orgânicos é, também, fulcral.

Utilizar um espaço de novas experiências e formação pessoal para explorar novas possibilidades construtivas que consideram cuidadosamente o futuro das gerações que vão crescer neles, demonstrou ser uma questão complexa que obrigou ao estudo de vários temas associados.

No projeto de ampliação e renovação da escola da Azurara, procurou-se a utilização de alvenaria de madeira, por um módulo construtivo baseado no sistema *STEKO*, e demonstra a sua versatilidade de utilizações. As suas dimensões e peso reduzidos tornam-no uma opção interessante a ser utilizada numa escola primária. A ideia de constante adaptação às circunstâncias, de flexibilidade, de construção e desconstrução, são temas que se conectam com a temática da escola. Uma 'escola de legos', em que as próprias crianças podem até ter acesso à alteração do espaço. A ideia de existirem módulos acessíveis às crianças, para alterarem os espaços da escola, permitindo-lhes essa nova experiência de manipulação do espaço e todas as sensações associadas a esse exercício, acabou por ser o catalisador desta experiência de aplicação de um sistema de construção modular em madeira à construção de uma escola e, desta forma, interligar dois temas tão complexos e que, aparentemente, são tão diferentes, numa solução que dá resposta às necessidades de ambos.

Considera-se que este trabalho funciona como o princípio de um estudo que deve ser aprofundado e fica o desejo da evolução do sistema experimental proposto.

Bibliografia

ATHIENITIS, Andreas, O'BRIEN, William, Modeling, Design, and Optimization of Net-Zero Energy Buildings, Wilhelm Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin, 2015

BUILDING AMERICA, Green Building Guidelines, Meeting the demand for low-energy, ressource efficient homes, Sustainable Buildings Industry Council: Beyond Green™. Washington, DC, 2007

FPInovations, Technical Guide for the Design and Construction of Tall Wood Buildings in Canada 90% DRAFT, 2013

HARARI, Yuval Noah, Homo Deus, A Brief History of Tomorrow, HarperCollins Publisher, 2017

HEGGER, Manfred, AUCH-SCHWELK, Volker, FUCHS, Matthias, ROSENKRANZ, Thorsten, Construction Materials Manual, Institut for internationale ArchitekturDokumentation GmbH & Co. KG, Munich, 2006

HEGGER, Manfred, FUCHS, Matthias, STARK, Thomas, ZEUMER, Martin, Energie Atlas – Nachhaltige Architecktur, Grafisches Centrum Cuno GmbH & Co. KG, Calbe, 2007

HERTZBERGER, Herman, Space and Learning: lessons in architecture 3, 010 Publishers, Rotterdam, 2008

HILLEBRANDT, Annette, RIEGLER-FLOORS, Petra, ROSEN, Anja, SEGGEWIES, JohannaKatharina, Atlas Recycling – Gebäude als Material Ressource, Grafisches Centrum Cuno GmbH & Co. KG, Calbe, 2018

KAUFMANN, Hermann, KRÖTSCH, Stefan, WINTER, Stefan, Atlas – Mehrgeschossiger Holzbau, Grafisches Centrum Cuno GmbH & Co. KG, Calbe, 2017

LEFEVRE, Henri, The Production of Space, Basil Blackwell Inc., Massachusetts, USA, 1991

LENGEN, Johan van, The Barefoot Architect – A handbook for green building, Shelter Publications, Inc., Bolinas, California, 2008

McDONOUGH, William, BRAUNGART, Michael, Cradle to Cradle – Remaking the way we make things, North Point Press, New York, 2002

MONTESSORI, Maria, The Absorbent Mind, Henry Holt, New York, 1995

BRAND, Stewart, How Buildings Learn: what happens after they're built, Penguin Books, New York, 1995

NOGUCHI, Masa, ZEMCH Research Initiatives: Mass Customisation and Sustainability, MDPI AG, Basel, 2015

VOSS, Karsten, MUSSAL, Eike, Net Zero Energy Buildings – International projects of carbon neutrality in buildings, Kösel GmbH & Co. KG, Altusried-Krugzell, 2013

https://www.researchgate.net/publication/325996043_A_Holistic_Sustainability_Framework_for_Waste_Management_in_European_Cities_Concept_Development

https://www.researchgate.net/publication/285077064_Embodied_energy_of_building_materials_A_new_parameter_for_sustainable_architectural_design

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132310003549

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032113005777

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615001031

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815021402

https://www.wattson.pt/2019/05/24/os-10-desafios-ambientais-que-o-proximo-parlamento-europeu-vai-enfrentar/

https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1588580774040&uri=CELEX:52019DC0640

Índice de Imagens:

Figura 1, http://www.regency-park-ps.vic.edu.au/classroom-activities
Figura 2, http://www.regency-park-ps.vic.edu.au/classroom-activities
Figura 3, https://fundacaorotary4651.files.wordpress.com/2016/08/saladeaula.jpg?w=702
Figura 4, http://4.bp.blogspot.com/_K1UpTfMTqZw/TThXw59SsdI/AAAAAAAAAAQ/wa7G-PabTlc/s1600/Escola%252520salazarista%255B1%255D.jpg
Figura 5, HERTZBERGER, Herman, “Space and Learning: lessons in architecture 3”, p. 65
Figura 6, HERTZBERGER, Herman, “Space and Learning: lessons in architecture 3” p. 43
Figura 7, https://www.irishnews.com/news/educationnews/2015/11/18/news/primary-schools-to-be-rewarded-for-doing-more-with-technology-326572/
Figura 8, https://www.nytimes.com/2011/09/04/technology/technology-in-schools-faces-questions-on-value.html ,
Figura 9, HERTZBERGER, Herman, “Space and Learning: lessons in architecture 3”, p. 55
Figura 10, HERTZBERGER, Herman, “Space and Learning: lessons in architecture 3”, p. 54
Figura 11, HERTZBERGER, Herman, “Space and Learning: lessons in architecture 3”, p. 40
Figura 12, imagem obtida no google maps e editada pela autora
Figura 13, , imagem obtida no google maps e editada pela autora
Figura 14, desenho da autora
Figura 15, Informação publicada em Jornal “O Século” de 11 de Janeiro de 1898, apud Sérgio Costa, “Edifício Escola – (de)composição de um espaço de encontro(s)” , prova final de mestrado apresentada à FAUP em 2018, p.20
Figura 16, fotografia da autora, documento disponibilizado pelo Arquivo Municipal de Vila do Conde a 28.01.2021
Figura 17, desenho da autora

Figura 18, fotografia da autora, documento disponibilizado pelo Arquivo Municipal de Vila do Conde a 28.01.2021

Figuras 19, desenho da autora

Figuras 20 a 29, fotografias da autora

Figuras 30 a 53, desenhos da autora

Figura 54, https://www.istockphoto.com/pt/vetorial/pante%C3%A3o-em-roma-publicada-em-1878-gm487829942-73687697

Figura 55, https://www.pinterest.pt/pin/564568503273080747/

Figura 56, https://conexaoplaneta.com.br/blog/vida-frente-exploracao-dos-recursos-naturais/

Figura 57, https://www.fragmaq.com.br/blog/conservacao-exploracao-recursos-naturais/

Figura 58, https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1588580774040&uri=CELEX:52019DC0640

Figura 59, https://lisboagreencapital2020.com/noticias/economia-linear-vs-economia-circular/

Figura 60 https://lisboagreencapital2020.com/noticias/economia-linear-vs-economia-circular/

Figura 61, https://www.jornaldenegocios.pt/weekend/detalhe/a-lego-construiu-a-sua-casa

Figura 62, in HILLEBRANDT, Annette, RIEGLER-FLOORS, Petra, ROSEN, Anja, SEGGEWIES, JohannaKatharina, “Atlas Recycling – Gebäude als Material Ressource,” p. 14

Figura 63, https://bhrecicla.com.br/blog/tudo-sobre-reciclagem-alum%C3%ADnio/

Figura 64, https://www.pinterest.pt/pin/340584790575911852/

Figura 65, https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide

Figura 66, https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide

Figura 67, https://pt.wikipedia.org/wiki/Minera%C3%A7%C3%A3o

Figura 68, https://www.pcguia.pt/2020/04/nova-tecnologia-de-paineis-solares-bate-recorde-de-eficiencia/

Figura 69, https://ourworldindata.org/energy-production-consumption

Figura 70 https://360building.com.au/passive-solar-building-design/passive-house/

Figura 71, https://passivehouseschool.com/

Figura 72, https://epea.com/en/about-us/cradle-to-cradle

Figura 73, https://epea.com/en/about-us/cradle-to-cradle

Figura 74, https://windowsforcircularbuildings.com/en/circular-buildings

Figura 75, https://parabola-architecture.com/san-francisco-workplace

Figura 76, https://parabola-architecture.com/san-francisco-workplace

Figura 77, https://cie.nl/circl?lang=en

Figura 78, https://miesarch.com/work/3972

Figura 79, https://cie.nl/circl?lang=en

Figura 80, https://miesarch.com/work/3972

Figura 81, https://www.dezeen.com/2018/03/25/doepelstrijkers-applies-circular-economy-principles-at-flexible-and-sustainable-circl-pavilion/

Figura 82, https://www.dezeen.com/2018/03/25/doepelstrijkers-applies-circular-economy-principles-at-flexible-and-sustainable-circl-pavilion/

Figura 83, KAUFMANN, Hermann, KRÖTSCH, Stefan, WINTER, Stefan, Atlas – Mehrgeschossiger Holzbau, p. 13

Figura 84, https://www.hkarchitekten.at/de/projekt/izm-illwerke-zentrum-montafon/

Figura 85, https://www.pinterest.pt/pin/759630662125745833/

Figura 86, https://pt-pt.khanacademy.org/science/biology/photosynthesis-in-plants/introduction-to-stages-of-photosynthesis/a/intro-to-photosynthesis

Figura 87, https://www.lovetoteach.org/teaching-tools/tree-life-cycle.html
the-modular-and-reusable-X-Frame-structural-system_fig1_330937929

Figura 88, https://www.steko.ch/en/pictures/

Figura 89, https://www.steko.ch/en/pictures/

Figuras 90 a 93, desenhos da autora

Reflexão sobre os modos de construir: experirência de projeto para uma escola primária em Vila do Conde

Margarida Eusébio Teixeira

FACULDADE DE ARQUITETURA