

SUSTENTABILIDADE, FORMA E CONSTRUÇÃO NO ATELIER DE PROJETO

CORREA, *Silvia Morel*¹ (*silmcorrea@yahoo.com.br*); SICA PALERMO, *Nicolás*² (*nicolas.sica@ufrgs.br*); BAHIMA, *Carlos Fernando Silva*³ (*cfbahima@hotmail.com*)

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Brasil

²Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Brasil

³Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Brasil

Palavras-chave: arquitetura sustentável, metodologias de projeto sustentável, construção em madeira engenheirada, construção seca.

Resumo

No âmbito do ensino do projeto de arquitetura, o emprego da madeira como material de baixo impacto deve estar associado a outras práticas sustentáveis. Este artigo tem como objetivo descrever uma proposta de ensino de projeto na disciplina de atelier de projeto de final de curso de Arquitetura e Urbanismo. A ênfase dada é composta por um tripé que promove a integração entre a sustentabilidade ambiental, forma arquitetônica e construção industrializada. O material de construção utilizado foi a madeira engenheirada considerada de relativo baixo impacto ambiental por captura de CO₂ e baixa energia incorporada. A proposta de ensino se desenvolve em três etapas: fundamentação, que abrange as bases e objetivos do projeto, lançamento e desenvolvimento do projeto e refinamento da solução final. A primeira etapa de fundamentação consiste no estudo de referências de projetos e obras executadas com estruturas de madeira engenheirada, o qual se dá por intermédio de um roteiro de análise que estabelece as bases metodológicas para o projeto a ser desenvolvido posteriormente no atelier. A segunda etapa consiste no lançamento do partido, cuja concepção formal deve ser resolvida por um sistema construtivo industrializado, construído num prazo de 120 dias. Nesta fase os estudos são submetidos a avaliações definidas por parâmetros qualitativos de sustentabilidade ambiental, através do emprego de estratégias passivas e ativas visando ao melhor desempenho térmico e lumínico. A etapa final corresponde ao refinamento do projeto, no qual são definidos projetos preliminares de estrutura, etapas de fabricação-montagem do edifício e instalações.

1 INTRODUÇÃO

Estruturas de madeira precisam de menos energia para que sejam construídas, capturam e retêm gás carbônico, ajudam no uso responsável das florestas, são renováveis e recicláveis. Com efeito, quando comparadas com as estruturas de aço e concreto armado, as estruturas constituídas pelos dois principais tipos de madeira engenheirada (*mass timber*) usados no Brasil, madeira laminada e colada (GLT) e madeira laminada e colada cruzada (CLT), representam vantagens ambientais ímpares. Ao contrário das duas primeiras, a madeira engenheirada, quando comparada no fator massa (kg) - energia (kW), necessita em torno de cinco vezes menos do que o aço de acordo com a Figura 1. Quando se relaciona a sua emissão ou captura de carbono (kg CO₂) com a massa (kg material), esta oferece sequestro de CO₂ próximo de 2 kg por kg ao invés de emissão de 4 kg de CO₂ verificados no aço (KOLB, 2011) conforme se observa na Figura 2.

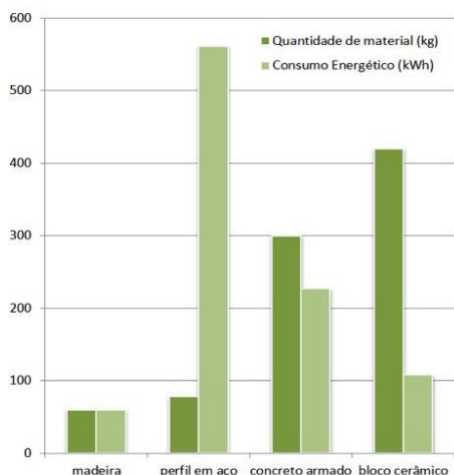


Figura 1. Massa (Kg) e Energia de Produção (KWh) para pilares de 3 m de altura executados em madeira, aço, concreto e blocos cerâmicos - e submetidos à mesma carga (fonte: Kolb, Josef. Bois - Systèmes Constructifs (2011). Paris: Presses Polytechniques Romandes).

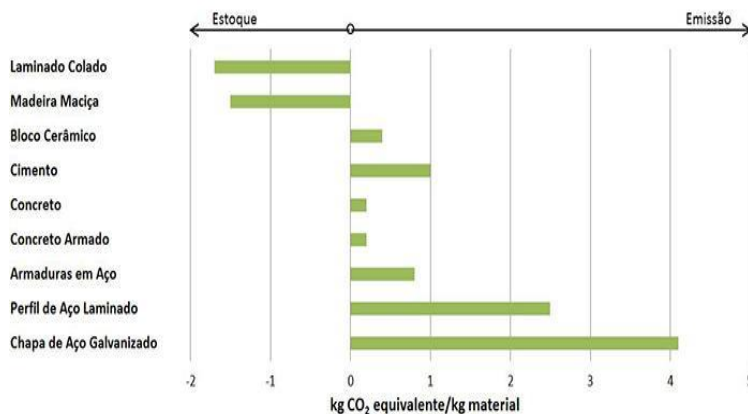


Figura 2. Tabela comparativa relacionando a emissão ou captura de carbono (kg CO₂) com a massa (kg material) entre elementos de diferentes materiais (fonte: Kolb, Josef. Bois - Systèmes Constructifs (2011). Paris: Presses Polytechniques Romandes).

Em veia análoga, segundo números do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) sobre a Silvicultura na construção civil, entre 1995 e 2000 a extração de madeira em florestas plantadas já havia ultrapassado a de florestas nativas, fato que oferece respaldo ao seu imenso potencial de crescimento sustentável no cenário brasileiro, diante da insignificante participação na cadeia produtiva da construção civil na comparação com cenários europeus e norte-americanos. Segundo dados do IBGE obtidos em levantamento feito na segunda metade de 2022, o valor da produção florestal atingiu o recorde de R\$ 30,1 bilhões com alta de 27,1% e produção em 4.884 municípios; o valor da produção da silvicultura (florestas plantadas) continua superando o da extração vegetal, o que ocorre desde o ano 2000¹.

Diante desse quadro, a disciplina em tela tem como objetivo utilizar, propor e divulgar a madeira engenheirada como uma alternativa ao preocupante cenário em que a construção civil é responsável, segundo dados da World Wildlife Fund (WWF Brasil), por 47% das emissões de gases de efeito estufa no planeta, considerando todas as etapas envolvidas no processo desde a extração, transporte, fabricação e construção².

¹ Nery, Carmen. Valor de produção da silvicultura e da extração vegetal cresce 27,1% e chega ao recorde de R\$ 30,1 bilhões (2022). IBGE. Disponível em <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/35056-valor-de-producao-da-silvicultura-e-da-extracao-vegetal-cresce-27-1-e-chega-ao-recorde-de-r-30-1-bilhoes#:~:text=A%20alta%20mais%20expressiva%20ocorreu,gerente%20de%20Agropecu%C3%A1ria%20do%20IBGE>.

² Russo, Ricardo. Construções em Madeira e Mudanças Climáticas (2017). WWF - Brasil. Disponível em <https://www.wwf.org.br/?56062/Artigo---Construcoes-em-Madeira-e-Mudancas-Climaticas>.

2. PROPOSTA DA PRÁTICA DO ENSINO DE PROJETO

O estudo foi realizado durante um semestre do Curso de Arquitetura e Urbanismo da UFRGS, disciplina de Projeto Arquitetônico VII, em três turmas com 15 alunos cada. O exercício proposto consiste na execução de um anteprojeto de arquitetura de um edifício residencial multifamiliar.

Como ocorre em todo o projeto que tenha comprometimento com a realidade e com as demandas de um possível cliente, o edifício tema do atelier de projeto exige que se sigam algumas diretrizes programáticas. A metragem mínima da unidade habitacional é de 30 m² e a máxima de 40 m², cujo programa é composto por um ambiente de estar-jantar, cozinha, dormitório e banheiro.

O terreno onde deve estar inserida a edificação tem ao redor de 2000 m² e localiza-se (a cada três ou quatro semestres muda-se o local do projeto, mas procura-se que todos tenham algumas características equivalentes) em bairro em transformação e revitalização.

Fora essas exigências concretas e diretas, o tema do edifício sustentável com unidades mínimas pode sugerir algumas diretrizes formais ligadas fortemente aos espaços internos projetados. A intenção de ter integração espacial entre os ambientes do programa é muito recorrente e ajuda a moldar muitas das propostas. Gerar espaços que possam ser versáteis através da sua fragmentação por intermédio de painéis móveis são uma vertente desse pensamento, assim como por intermédio da mudança ou manipulação do mobiliário proposto, alterar suas características e atributos espaciais. Módulos autônomos para áreas molhadas são propostos como unidades pré-fabricadas simplificando o processo construtivo (Figura 3).



Figura 3. Módulo espacial completo para banheiro ou cozinha (acad. Déborah Pfluck, Marianne Moraes e Pedro Cohen).

O desenho e detalhamento de esquadrias e elementos de fechamento opacos entram como peças-chave nas composições. Outro elemento recorrente e fundamental é o uso de varandas como dispositivos de sombreamento de fachada e, principalmente, como espaços de transição entre interiores e espaços abertos.

Todas essas estratégias e elementos podem pautar e guiar de maneira consistente os lançamentos e propostas até suas finalizações. São vistas com muito bons olhos por terem implícitas uma preocupação primordial com o ambiente arquitetônico construído e suas contingências, e em definitiva com a experimentação espacial por parte dos possíveis usuários (Figura 4).

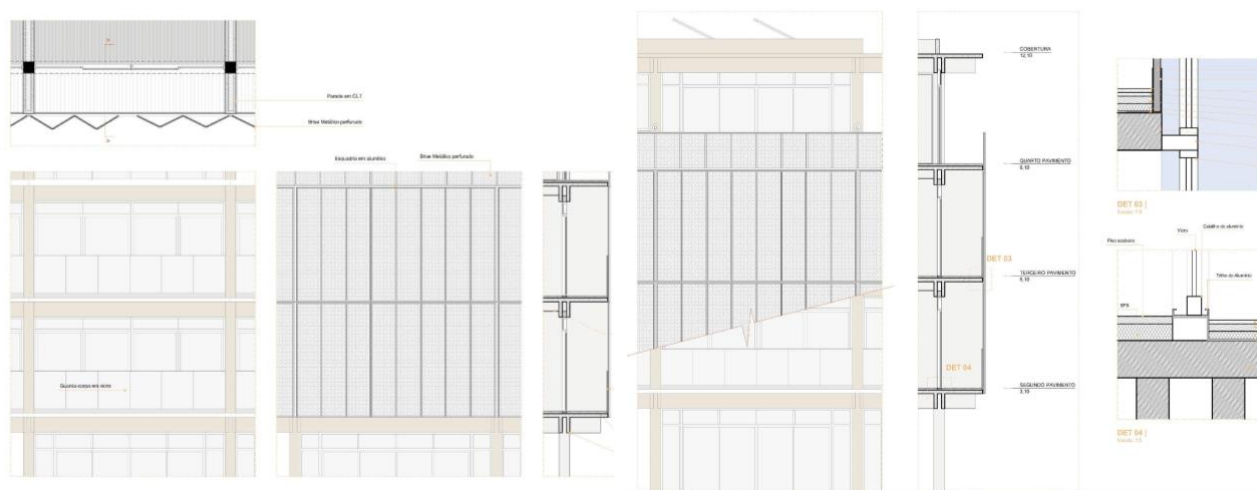


Figura 4. Esquadrias e elementos de proteção solar para fachadas (acad. Natalia Pasqualotto, Rodrigo Alves, Lucas Oliveira).

A primeira etapa de trabalho tem como objetivo introduzir a metodologia de projeto desenvolvida no atelier, através do estudo de referências de projetos habitacionais multifamiliares com sistemas estruturais em madeira engenheirada. A análise foi estruturada pela disciplina contendo os principais aspectos de projeto que virão a ser desenvolvidos durante o semestre: linguagens arquitetônicas e tecnologias para a produção, conservação de energia, conforto ambiental, tecnologias construtivas e materiais; sustentabilidade ambiental. Nessa fase, a palestra do Eng. Gabriel Perrone, representante da ITA Construtora, tem como objetivo informar os alunos sobre a madeira engenheirada, sob vários aspectos, entre os quais se incluem o âmbito construtivo, estrutural e ambiental.

O primeiro aspecto da análise das referências corresponde à forma arquitetônica, onde são discutidas as intenções projetuais relativas à sustentabilidade, como a expressividade dos materiais mais amigáveis do ponto de vista sustentável, tecnologias, equipamentos e estratégias para a produção de energia, bem como a obtenção de conforto ambiental. A questão pode ser colocada da seguinte maneira: são as características "ambientais" visíveis ou não? Esses recursos podem existir, mas podem não estar visíveis ou distinguíveis. A identificação destes elementos como linguagem implica reconhecer determinadas estratégias projetuais deliberadas ou não.

A tecnologia construtiva, na sequência da análise, abrange a descrição das características estruturais do edifício e também envolve a análise dos materiais, que são usados para a estrutura, fundações, isolamento térmico, impermeabilização, revestimento interno e externo, em três aspectos: desempenho ambiental e/ou funcionalidades otimizadas como transmitância térmica por exemplo, versatilidade de uso, materiais que apresentam bom desempenho estrutural e também revestimento, e sustentabilidade no processo de produção e descarte.

O terceiro aspecto envolve a análise das estratégias passivas e ativas adotadas para atingir melhor desempenho de conservação e produção de energia (sustentabilidade).

2.1 Forma arquitetônica: lançamento da proposta

Discutir forma arquitetônica em um atelier de projeto de graduação é sempre um desafio, tendo em vista a diversidade de interpretações já dadas ao assunto ao longo do tempo e a falta de repertório

e conhecimento por parte da maioria dos alunos. Manter sempre as discussões no âmbito da prática de projeto, tendo como princípio definições claras que possam jogar luz sobre o tema da forma arquitetônica parece sempre ser a melhor estratégia dentro de sala de aula. Baseado nessas premissas, o atelier de projeto tem tratado de estabelecer a prática de projeto sobre 3 pilares: a construção, o programa e a sustentabilidade.

Parte-se do convencimento que estes os três aspectos são combustíveis para a forma arquitetônica e devem direcionar a construção formal, baseada em princípios de unidades espaciais modulares, passíveis de repetições e combinações, permitindo a racionalização estrutural e de materiais e processos construtivos a seco. Um reflexo direto desta ideia é a maneira como são lançados os projetos por parte dos alunos na primeira etapa do exercício principal, no qual eles têm que definir os temas fundamentais nos quais se estruturam suas propostas (Figura 5).

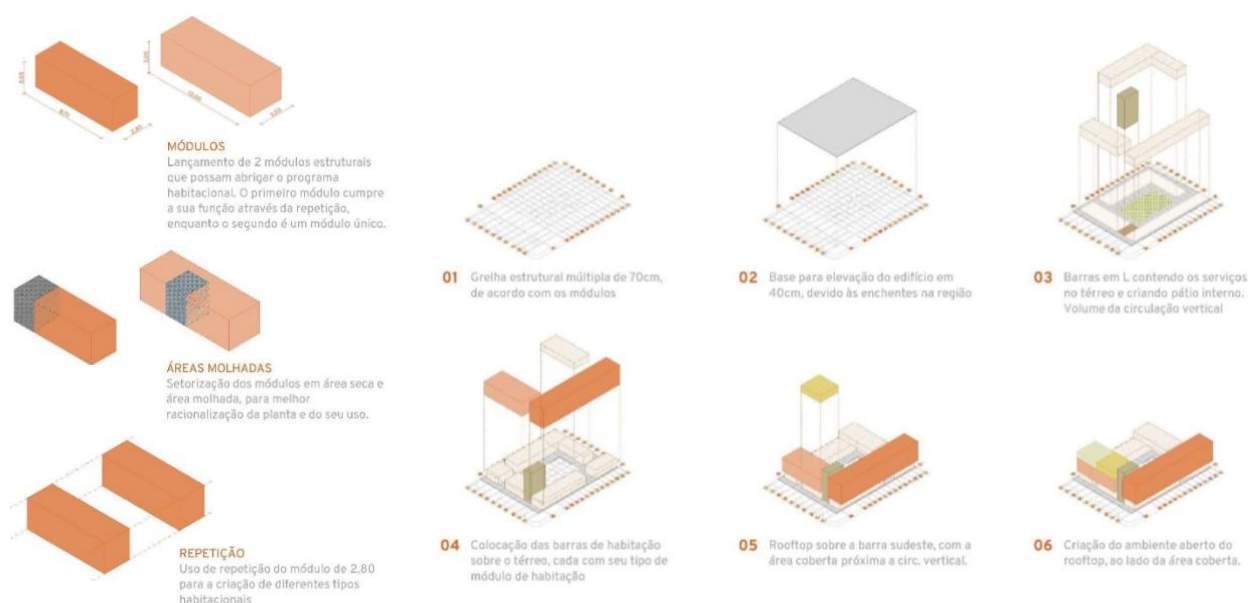


Figura 5. Diagramas de fundamentação de projeto (acad. Gabriel Arenas, Gabrielli Carvalho e Marina Ferrari).

Tais lançamentos buscam basicamente fundamentos na sustentabilidade e na eficiência energética, isto é, nas relações positivas que o projeto possa ter com condicionantes de terreno tais como topografia, clima, orientação solar, etc.; na construção, isto é, em materiais e sistemas estruturais e construtivos que permitam ter bons resultados quanto à montagem do edifício no terreno; no programa e suas implicações espaciais, isto é, na busca por determinado tipo de espaço que na opinião dos autores encaixa bem com o problema de projeto a ser enfrentado. Não raramente os três ou quatro temas fundamentais que dão o pontapé inicial do projeto remetem aos três aspectos recém referidos.

2.2 Sustentabilidade

A sensibilidade de um projeto com relação ao sítio no qual se insere não pode ser medida ou descrita apenas pelo respeito da edificação com relação aos recuos exigidos, nem tampouco só pela adaptação ou correspondência com angulações e geometrias encontradas no terreno. A disciplina de projeto trata de ampliar esses horizontes e toma como lugar tudo aquilo que diz respeito

ao contexto – no amplo sentido da palavra - para o qual o projeto está sendo feito. Podem ser considerados contexto, aspectos naturais tais como ventos predominantes, vegetação existente, visuais de entorno, fauna e, obviamente, o clima e a orientação solar. Tendo em vista isso, a sustentabilidade - isto é, a capacidade que o projeto tem de se adaptar ao meio-ambiente de maneira mais harmônica possível e de propor estratégias de conservação e produção de energia – é um ponto essencial para o atelier.

As propostas produzidas em sala de aula são invariavelmente sensíveis a este ponto. Muitas delas se baseiam na ideia de estabelecer como ponto de partida uma edificação que esteja voltada para as melhores orientações em função da maneira como se deseja aproveitar a incidência solar. A maior parte dos projetos propõe espaços conectados com esquadrias dispostas frente a frente com o intuito de produzir ventilação cruzada na maior parte possível da unidade habitacional. Embora se possa concluir que as soluções possam ser repetidas, observa-se muita diversidade nos resultados finais apesar das premissas comuns.

Alguns projetos encontram um fio condutor na busca de uma envoltória de sombreamento, capaz de produzir um colchão de ar entre ela e o núcleo da unidade, ou seja, a célula propriamente dita. Na mesma linha, alguns projetos têm como protagonistas na forma arquitetônica sistemas de fechamento exterior às vedações que possibilitam bloquear ou permitir, total ou parcialmente, a radiação solar da maneira mais precisa possível levando em conta as diferentes orientações de fachada existentes. Nesses casos, esses sistemas de envoltória praticamente definem visualmente toda a volumetria e são evidentemente avaliados formalmente (Figura 6).



Figura 6. Vista da fachada Leste com envoltória em painéis de proteção solar (acad. Natalia Pasqualotto, Rodrigo Alves, Lucas Oliveira).

Finalmente, as estratégias ativas para conforto ambiental também são ingredientes importantes na concepção formal dos projetos dentro do atelier. As instalações são levadas em consideração desde o primeiro minuto de aula no semestre e ajudam a pautar a conformação dos partidos e dos espaços projetados. Sistemas constituídos por placas fotovoltaicas por vezes ajudam a definir espessuras de platibandas e até inclinações de coberturas. A definição de núcleos de serviços e instalações em meio aos espaços nobres das células são, em muitos casos, importantíssimos para ajudar a definir os núcleos de instalações e alimentação energética das células.

Neste aspecto, a intenção é demonstrar a consistência entre a forma e o desempenho ambiental. Os resultados são demonstrados graficamente através dos cortes bioclimáticos, ou seja, as secções transversais do edifício (Figura 7) que representam as estratégias passivas e ativas de conforto ambiental e produção de energia através do posicionamento dos painéis fotovoltaicos. Outras estratégias de sustentabilidade como utilização de coletores solares para aquecimento de água,

captação de água da chuva e reutilização das águas cinzas são igualmente apresentadas nestas seções.

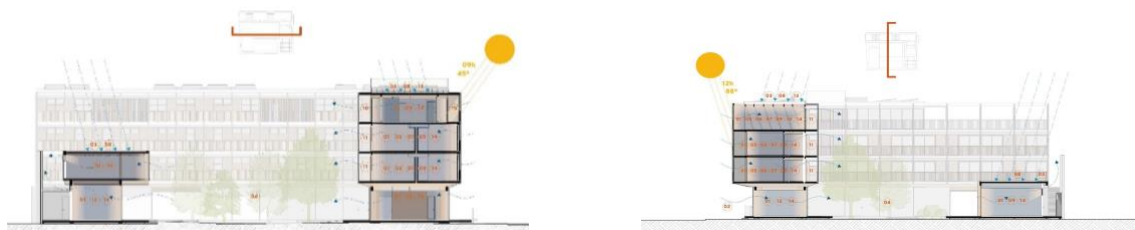


Figura 7. Cortes bioclimáticos mostrando estratégias passivas e ativas (acad. Gabriel Arenas, Gabrielli Carvalho e Marina Ferrari).

2.3 Tecnologia Construtiva

A proposta do atelier de projeto determina uma obra em partes totalmente transportadas por caminhões e com prazo máximo de montagem no sítio de 120 dias. Somente a construção a seco é capaz de atender os requisitos. As construções tradicionais são produzidas através da associação de componentes com uniões monolíticas e rígidas, as juntas úmidas. Por outro lado, a construção a seco comporta uma fabricação prévia das partes com montagem baseada somente em junta seca: um tipo de união de montagem que não modifica os elementos constituintes, permitindo a desmontagem, uma vez que se mantém a integridade formal e dimensional das peças terminadas. As juntas entre as partes produzidas em fábrica incorporam um terceiro elemento, identificável como a união de montagem ou a ensablagem de suas partes.

Por outro lado, a perda da união contínua na montagem dos componentes levanta problemas de estabilidade à carga lateral de vento, demandando uma atenção maior do aluno ao projeto em relação aos elementos de contraventamento da construção monolítica. Tais elementos são identificáveis como diafragmas de piso e cobertura, paredes de cisalhamento, pórticos contraventados e pórticos rígidos. A adoção de cada um dos mecanismos de travamento lateral deve ser pensada de maneira sistêmica desde a fase de concepção e lançamento do projeto uma vez que estes atuam em conjunto com os componentes horizontais (piso e cobertura) e verticais (pilar e muro) que combatem as cargas verticais.

A partir dessas premissas construtivas, a proposta da disciplina contempla duas alternativas possíveis de enfrentamento da questão construtiva: módulos autoportantes, ou seja, células tridimensionais produzidas em fábrica e unidas entre si no sítio (Figura 8) e pórticos arquivados, pilares, vigas, lajes ou paredes estruturais do tipo Wood Frame, unidos, contraventados e vedados no local da obra (Figura 9).

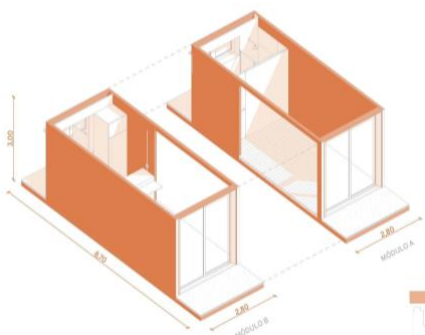


Figura 8. Módulo tridimensional (acad. Gabriel Arenas, Gabrielli Carvalho e Marina Ferrari).

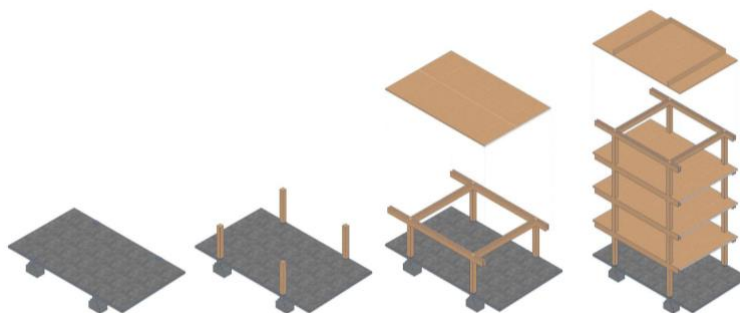


Figura 9. Estrutura de elementos pré-fabricados e montados in loco (acad. Natalia Pasqualotto, Rodrigo Alves, Lucas Oliveira).

A primeira alternativa, ligada à tecnologia dos containers, tira proveito máximo dos processos em fábrica, destinando ao canteiro de obra o mínimo de operações de montagem. Os pontos fracos dessa opção estão ligados à redundância dos elementos estruturais, ou seja, pilares, vigas e lajes, o controle das juntas entre os módulos que exige um cuidado principalmente em relação às águas pluviais e às dilatações térmicas de cada célula e ao equipamento de suspensão mais pesado.

A segunda alternativa obtém vantagens inversas à primeira: elimina elementos estruturais duplicados, possibilita maior distribuição das juntas de ensablagem e permite equipamentos de suspensão mais leves. Em contrapartida, a alternativa aumenta as tarefas realizadas no canteiro de obras, exigindo no mínimo, em função do prazo escasso de montagem, a execução em fábrica de módulos internos completos destinados a banho/cozinha/armário técnico, incluindo serviços de estrutura, instalações, fechamentos e acabamentos.

2.4 Refinamento arquitetônico e tecnológico

Na última etapa da metodologia, se procede o refinamento do projeto arquitetônico através da integração de aspectos relacionados à estrutura, construção e instalações, onde se enfatiza a importância de correlacionar a forma arquitetônica com as demandas tecnológicas. Em outras palavras, os alunos são incentivados a propor soluções de arquitetura que possam absorver os requerimentos tecnológicos. Neste momento o aluno dispõe dos dados quantitativos necessários para melhorar ou alterar os aspectos qualitativos do seu projeto, trabalhados na etapa anterior.

A etapa se inicia com a abordagem do módulo estrutural, entendido como o elemento estrutural-espacial repetitivo do edifício que merece uma atenção especial. Os alunos produzem uma maquete física da estrutura e vedações considerando os vãos típicos do sistema estrutural em todos os pavimentos desde a fundação à cobertura. Todas as maquetes são apresentadas simultaneamente em uma aula-painel, ocasião em que são promovidas discussões comparativas entre as opções estruturais que envolvem decisões de fabricação e montagem no canteiro. É momento crucial em que a solução inicial é avaliada sob os aspectos ambientais, formais e construtivos, enfatizados no atelier. O contato dos alunos com a realidade física da maquete possibilita perceber os pontos de fragilidade da concepção estrutural, envolvendo revisão de aspectos de vinculação, pré-dimensionamento e adição de elementos de contraventamento (Figura 10).



Figura 10 - Aula-painel sobre o Módulo Estrutural.

Como a produção de energia é basicamente o resultado do desempenho dos painéis fotovoltaicos, pode ser necessário, por exemplo, aumentar a eficiência do produto, otimizando a posição relacionada com a incidência solar ou implementando uma área maior de painéis. O refinamento do projeto pode melhorar a forma conceitual, mas requer além disso, que se considere o edifício concebido como um sistema, onde a estrutura integra as instalações e o sistema construtivo resolve cada tipo diferente de articulação e/ou interface entre todos os componentes (Figura 11). Por exemplo, os sistemas estruturais, bem como os componentes de vedação podem ser concebidos como parte das soluções para sistemas de aquecimento, ventilação e ar-condicionado, eletricidade e sistema hidráulico.

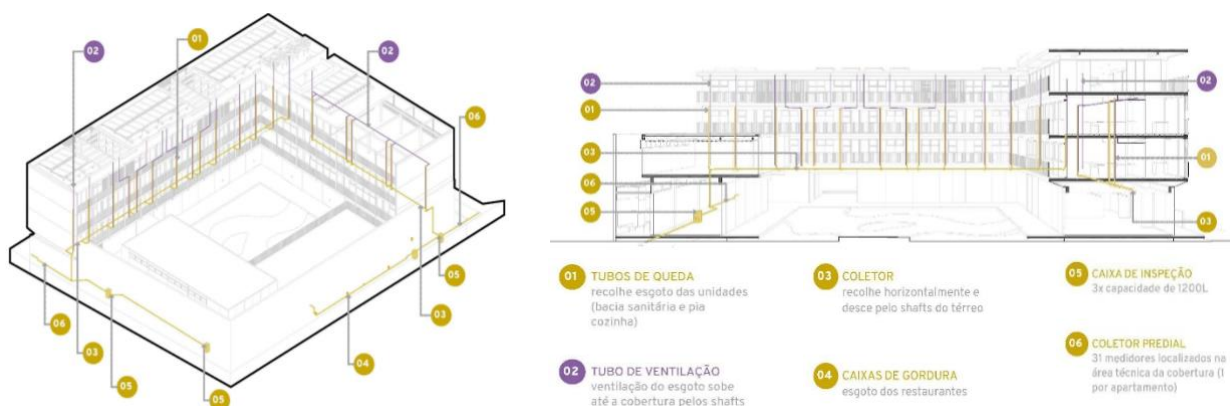


Figura 11. Corte ampliado de fachada e detalhes construtivos (acad. Gabriel Arenas, Gabrielli Carvalho e Marina Ferrari).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A amostra de trabalhos acadêmicos de final de curso permite evidenciar a necessidade de introduzir nos processos de ensino a sustentabilidade como valor e ingrediente que conecta as outras demandas que intervêm na forma arquitetônica. Isso não significa o abandono da noção de consistência formal e construtiva ligadas à tradição da arquitetura e de seu ensino.

A avaliação dos trabalhos mostrou a importância de enfatizar uma consciência construtiva desde os estágios iniciais do processo projetual. No entanto, os professores notaram que os alunos não assimilaram conhecimentos suficientes durante este estágio a fim de incorporar soluções inovadoras dos projetos analisados em seus próprios. Com efeito, ainda se observa uma lacuna entre a fase de análise dos projetos de referência e o próprio projeto do estudante. Somente a partir da aula-painel envolvendo as maquetes físicas do módulo estrutural houve um efetivo entendimento das implicações sistêmicas entre estrutura, vedações e instalações, através do contato do aluno com modelos físicos dos projetos propostos. Esse recurso efetivamente melhora a compreensão sistêmica das soluções implementadas.

As estratégias de ensino utilizadas direcionam os autores a desenvolver um caminho metodológico para projetar, avaliar, evidenciar e qualificar o objeto arquitetônico em todas as fases do projeto, desde a concepção ao desenho final do Anteprojeto. A preocupação com a integração e o funcionamento de todas as partes do edifício enfatiza que a sustentabilidade está no centro do processo generativo, estreitamente vinculada aos demais parâmetros de projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Kolb, Josef. Bois - Systèmes Constructifs (2011). Paris: Presses Polytechniques Romandes.

Nery, Carmen. Valor de produção da silvicultura e da extração vegetal cresce 27,1% e chega ao recorde de R\$ 30,1 bilhões (2022). IBGE. Disponível em <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/35056-valor-de-producao-da-silvicultura-e-da-extracao-vegetal-cresce-27-1-e-chega-ao-recorde-de-r-30-1-bilhoes#:~:text=A%20alta%20mais%20expressiva%20ocorreu,gerente%20de%20Agropecu%C3%A1ria%20do%20IBGE>.

Russo, Ricardo. Construções em Madeira e Mudanças Climáticas (2017). WWF - Brasil. Disponível em <https://www.wwf.org.br/?56062/Artigo---Construcoes-em-Madeira-e-Mudancas-Climaticas>.