

PROJETAR - 2015

Originalidade, criatividade e inovação no projeto contemporâneo:
ensino, pesquisa e prática. Natal, 30 de setembro a 02 de outubro.

Linguagem arquitetônica e sustentabilidade: é possível encontrar o ponto de equilíbrio?

Architectural language: is it possible to find the equilibrium point?

Lenguaje arquitectónico y sostenibilidad: es posible encontrar el punto de equilibrio?

CORRÊA, Sílvia

Arquiteta Dra, Departamento de Arquitetura, UFRGS, silmcorrea@yahoo.com.br

RESUMO

Este artigo descreve os projetos desenvolvidos no atelier de Projeto Arquitetônico VII, do curso de Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brazil. O objetivo pedagógico deste trabalho foi estimular os estudantes a atingirem tanto elevados resultados em nível tecnológico, como expressivas soluções arquitetônicas. O tema de projeto foi uma unidade residencial com áreas de 60 a 70m². O programa é semelhante ao adotado pelo Concurso Solar Decathlon, que ocorre nos EUA, Europa, China e America Latina. A metodologia do trabalho consiste em três etapas: conceito formal, avaliação de desempenho e refinamento arquitetônico e tecnológico. O conceito formal é um exercício com a finalidade de estimular a emergência formal; a etapa seguinte constitui a prova de conceito da autonomia energética da casa, na qual os estudantes são solicitados a demonstrar o consumo de energia elétrica do projeto e sua capacidade de produzir ao menos a quantia equivalente de energia. Os testes de desempenho envolvem avaliações relativas a luz natural e balanço térmico; balanço energético diário e anual e a contribuição de energias renováveis e de fontes como células fotovoltaicas e coleta de águas da chuva. Na sua etapa final, o trabalho tem como característica o refinamento do conceito arquitetônico com foco na integração dos três sistemas do edifício, estrutural, construtivo e instalações. Como avaliação do trabalho do semestre, observou-se que a metodologia adotada produziu resultados coerentes com a proposta pedagógica nos projetos apresentados, no entanto a etapa final deve exigir um prazo maior no cronograma da disciplina.

PALAVRAS-CHAVE : projeto arquitetônico, metodologia de projeto, sustentabilidade.

ABSTRACT

This paper describes different technological and architectural designs developed as the 2013 fall term project for the studio "Architectural Design VII" in partial fulfillment of the Faculty of Architecture/ UFRGS, Brazil. The pedagogical aim of this project was to stimulate students to achieve high-level technological results along with expressive architectural solutions. The chosen case study was a residential unit ranging from 60sqm to 70sqm. The design brief was similar to the one adopted by the competition Solar Decathlon, held in the USA, Europe and China. The Studio methodology consisted of three steps: shape concept, performance evaluation and technological and architectural refinement. The shape concept exercise is addressed to support the emergence of creative shapes; the following step consisted of the proof-of-concept of the house's energy autonomy, whereby the students were asked to demonstrate the project's electrical energy consumption and its capacity to



PROJETAR - 2015

Originalidade, criatividade e inovação no projeto contemporâneo:
ensino, pesquisa e prática. Natal, 30 de setembro a 02 de outubro.

supply at least the equivalent amount of energy. The performance tests involved evaluations related to natural lighting and thermal balance, daily and annual energy balance, the contribution of renewable energy and sources such as photovoltaic cells and rainwater collection. In its final stage, the term project featured the refinement of the conceptual architectural design focusing on the integrated design of three building systems (structural, construction and installations). As a result of the term, it was observed that the adopted methodology produced reliable results for the pedagogical purpose in the projects presented, however the final stage may require more temporal importance in the schedule of the discipline.

KEY-WORDS: architectural design, design methodology, sustainable architecture

RESUMEN

Este artículo describe los proyectos desarrollados en el taller de diseño arquitectónico VII, del curso de Arquitectura en la UFRGS, Brasil. El objetivo pedagógico de este trabajo era encorajar a los estudiantes para lograr no sólo altos resultados en niveles tecnológicos, como soluciones arquitectónicas significativas. El tema del proyecto fue una vivienda con áreas de 60 a 70 m². El programa es similar a lo adoptado por el concurso Solar Decathlon, que ocurre en los Estados Unidos, Europa y China. La metodología del trabajo consta de tres etapas: concepto formal, evaluación del desempeño y refinamiento arquitectónico y tecnológico. El concepto formal es un ejercicio con la finalidad de estimular la emergencia formal; el siguiente paso es la prueba de concepto de la autonomía energética de la casa, en la que se piden a los estudiantes para demostrar el consumo energético del proyecto y su capacidad de producir al menos la cantidad equivalente de energía. Las pruebas implican evaluaciones relacionadas con el equilibrio térmico y luz natural; balance de energía diaria y anual y el aporte de fuentes de energía renovables como las células fotovoltaicas y recogida de aguas pluviales. En su etapa final, la obra cuenta con el refinamiento del concepto arquitectónico con enfoque en la integración de los tres sistemas del edificio, estructurales, constructivos e instalaciones. La evaluación del semestre, se observó que la metodología adoptada produjo resultados consistentes con la propuesta pedagógica en los proyectos presentados, sin embargo el último paso debe requerir una extensión en el cronograma de la disciplina.

PALABRAS-CLAVE: proyecto arquitectónico, metodología de proyecto, arquitectura sostenible.

1 INTRODUÇÃO

O discurso a respeito da sustentabilidade tende ao desgaste, se permanecer como um ideal utópico, embora haja um consenso em torno do tema, estamos longe de ver este novo paradigma expresso no ambiente construído das nossas cidades. A educação pode ser considerada o ponto inicial para novas atuações - em que além de respeitar e minimizar impactos negativos no meio ambiente seja possível produzir impactos positivos. Jovens arquitetos educados com base nestes princípios podem desenvolver sua prática seguindo tais premissas, de forma a iniciar uma mudança neste cenário. O projeto sustentável engloba um campo de conhecimento em constante evolução, que exige equipes multidisciplinares para responder a todas às suas necessidades funcionais, desviando muitas vezes o foco do que deve ser a arquitetura; uma prática social advinda da arte.

Este trabalho tem como objetivo descrever o processo de projeto arquitetônico, com a utilização de diferentes procedimentos tecnológicos e arquitetônicos, desenvolvidos tradicionalmente no nono semestre do curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Corrêa & Cruz, 2012). O objetivo pedagógico do semestre foi estimular os estudantes a atingir elevados

resultados a nível tecnológico, bem como expressividade nas soluções arquitetônicas. O tema escolhido foi uma unidade residencial para abrigar um casal, com áreas entre 60 a 70 metros quadrados. O programa de projeto foi semelhante ao adotado pelo Concurso *Solar Decathlon*, competição internacional entre equipes de estudantes realizada nos EUA, Europa e China (*U. S. Department of Energy* (1) , 2014).

Uma avaliação anterior de certas soluções formais do *Solar Decathlon* levantou a questão sobre a limitação de projetos de casas sustentáveis em relação a sua forma. Portanto, o desafio do semestre foi responder a questão de saber se seria possível desenhar uma forma arquitetônica expressiva, mantendo uma relação consistente entre a forma e o desempenho ambiental, especificamente o balanço entre consumo e produção de energia.

Esta avaliação baseia-se no pressuposto de que as questões de sustentabilidade naturalmente causam modificações consideráveis na linguagem arquitetônica das casas projetadas. A necessidade do uso de painéis solares e fotovoltaicos, novos materiais de construção, bem como técnicas de montagem e desmontagem e por ultimo, mas não menos importante, a necessidade de otimizar a forma arquitetônica, a fim de maximizar a recepção da radiação solar, são aspectos que terão consequências na linguagem formal da casa. Observou-se que um número significativo de casos apresentou projetos muito convencionais, ocultando o impacto visual dos elementos técnicos responsáveis pelo desempenho ambiental da casa. Do ponto de vista dos alunos, várias soluções de *Solar Decathlon* – embora apresentando altas pontuações de acordo com as normas do concurso - não introduziram contribuição particularmente em relação a sua respectiva forma arquitetônica. Todo esse raciocínio levou à questão de como conseguir um elevado nível de projeto arquitetônico juntamente com um melhor desempenho energético.

Consequentemente, surge o problema de como avaliar os projetos dos estudantes, considerando a consistência entre aspectos de sustentabilidade e a forma arquitetônica. Para atingir essa meta foi definida uma estratégia pedagógica onde: a) os alunos foram solicitados a iniciar a partir de um vocabulário arquitetônico inspirado por questões de sustentabilidade, tais como formas naturais utilizadas para captação da radiação solar, b) os alunos foram submetidos a um sistema de avaliação que lhes proporciona uma avaliação permanente durante seu processo projetual em relação ao tema do atelier, ou seja, a consistência entre a sustentabilidade e a forma arquitetônica, entre outros.

A metodologia de trabalho do Atelier, concebida pelo professor Benamy Turkienicz, consistiu em três etapas sequenciais ou exercícios: i) o desenvolvimento do conceito formal, ii) a prova de conceito incluindo avaliações de desempenho computacional da forma proposta e iii) ajuste tecnológico final.

Este artigo, na sua continuação, é dividido em quatro partes: na primeira parte, são descritos os três estágios metodológicos. A segunda parte apresenta o sistema de avaliação e seus resultados são analisados. Na quarta e última parte, algumas conclusões são direcionadas a fim de esclarecer as limitações e apontar perspectivas da metodologia adotada.

2 A METODOLOGIA EM TRÊS ETAPAS

Concepção Formal

A primeira etapa tem o objetivo de configurar a forma, através de ideias que estimulem a criatividade a partir do nível conceitual. Esta fase foi subdividida em dois exercícios: na primeira, os alunos analisam uma casa integrante da competição *Solar Decathlon* e, no segundo exercício, desenvolvem seus próprios conceitos de forma. A experimentação é o instrumento básico para a emergência de formas, partindo de aporte teórico prévio, através da análise de protótipos do Concurso *Solar Decathlon*. Esta análise foi estruturada pela disciplina contendo os principais aspectos de projeto que virão a ser desenvolvidos durante o semestre: linguagens arquitetônicas & tecnologias para a produção, conservação de energia, conforto ambiental e tratamento de efluentes; tecnologias construtivas e materiais; sustentabilidade ambiental e ergonomia.

O primeiro aspecto corresponde à linguagem arquitetônica, ou como se expressam os materiais, 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 "verdes" visíveis ou não? Esses recursos podem existir, mas podem não estar visíveis ou distinguíveis. A identificação destes elementos como linguagem implica em reconhecer determinadas estratégias projetuais deliberadas ou não.

A tecnologia construtiva implica na prospecção de por um lado, a descrição das características estruturais do edifício, do outro passa pela identificação de novos componentes não encontrados em construções convencionais. A tecnologia de construção também envolve materiais, que são usados para a estrutura, impermeabilização, fundações, isolamento térmico, revestimento interno e externo. O aluno deve descrever os aspectos da inovação tecnológica existente nos materiais

vinculando esses fatores aos objetivos correspondentes, tais como a conservação de energia, conforto térmico, refrigeração, etc.

O terceiro aspecto envolve a análise de estratégias passivas e materiais propostos para isolamento térmico em planos horizontais e verticais. A forma, tamanho, posição e orientação das aberturas e elementos de vedação também devem ser descritos e os alunos devem verificar o modo como cada elemento contribui para o conforto térmico e visual do projeto analisado.

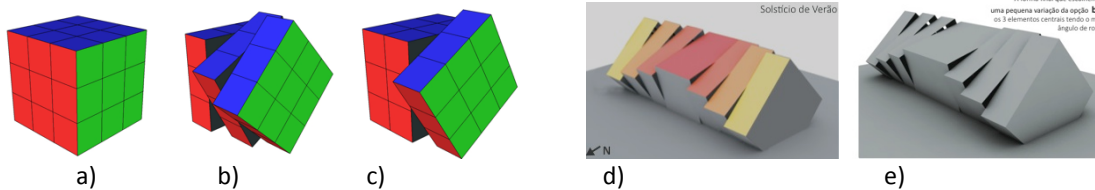
O quarto aspecto refere-se à Ergonomia, e trata das inovações tecnológicas articuladas em todo o arranjo dos espaços e a flexibilidade oferecida pelos componentes de mobiliário. Essa variável foi destinada a avaliar diferentes níveis de facilidade de uso durante a operação de espaços como a cozinha, banheiro, sala de estar e quarto pelo usuário final.

O exercício do conceito formal destina-se a dar suporte a emergência de formas expressivas, embora com o risco de contingente de provocar soluções estruturais e resultados de desempenho de energia imprevisíveis. Tem como objetivo estimular a criatividade, em um caminho que poderia exigir dar um passo para trás para resgatar os princípios de sustentabilidade. O uso de materiais, tecnologias, dispositivos e estratégias destinados a produzir e manter a energia, bem como alcançar um nível adequado de conforto ambiental pode gerar uma tensão relativa entre a arquitetura do edifício e a necessidade de alcançar um ou mais requisitos específicos. Os professores sustentam a hipótese de que o processo de ensino assume o desafio de exercitar a liberdade expressiva de um lado e o desempenho tecnológico e ambiental do outro, intrinsecamente produzirá um ganho pedagógico.

O exercício do conceito formal teve a duração de duas semanas, onde os estudantes foram solicitados a responder às quatro diretrizes principais estabelecidas na análise das casas do *Solar Decathlon*: linguagem arquitetônica, sistema estrutural, materiais e sustentabilidade, ergonomia. Esta estratégia foi útil para controlar o papel destes aspectos visualmente distintos, aumentando a probabilidade de sucesso do projeto, durante estes primeiros passos do processo de configuração formal (Turkienicz & Westphal, 2012). Através de uma estratégia de *storyboard*, os alunos descrevem as principais idéias de projeto por meio de imagens e texto, que refletem as origens do conceito formal. (Aroztegui, 2013). O *storyboard* final descrevendo a relação dos objetos escolhidos para as ideias básicas de sustentabilidade, tais como principalmente a produção ou a conservação de energia levou ao estudo preliminar dos alunos. (Fig. 1, todas as figuras futuras referem-se ao projeto dos mesmos autores). Na sequência, os alunos transformaram conceitos geométricos específicos do objeto generativo, sofrendo mutações e evoluções, de modo que ele finalmente incorpora aspectos

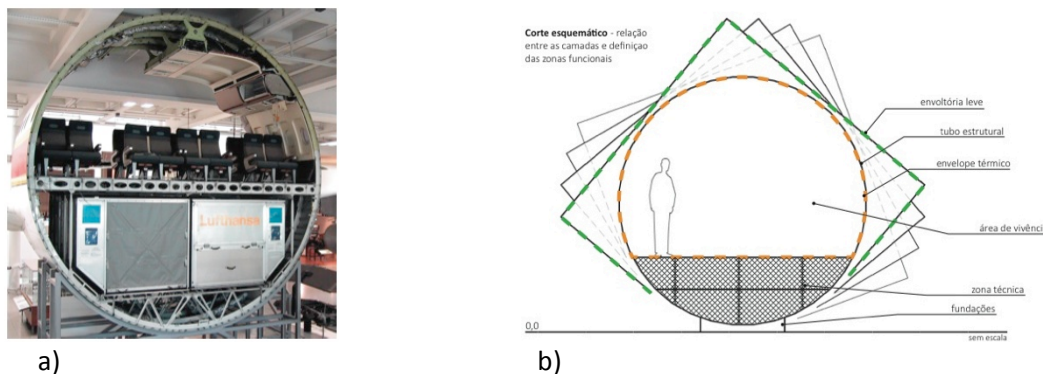
da forma, bem como a estrutura, mas também pode deixar um adequado grau de incerteza para a aceitação futuras peculiaridades sobre o envelope, materiais e ergonomia (Fig. 2).

Figura 1: Projeto "Solar House": (a) conceito inspirado no cubo mágico de Eno Rubik; (b) e (c) rotações nas fatias produzindo diferentes posições em busca de uma melhor insolação; (d) insolação no verão; (e) forma final (projeto dos estudantes: Fernando Netoux, Rodrigo Lima).



Fonte: www.archshare.com/archufrgs

Figura 2: Estratégia generativa: (a) inserção de um tubo interno inspirado na estrutura do Airbus; (b) forma externa: os dezessete quadrados sofrem uma rotação 10º em relação aos adjacentes, os componentes externos conformam o envelope exterior.



Fonte: www.archshare.com/archufrgs

Avaliações de desempenho

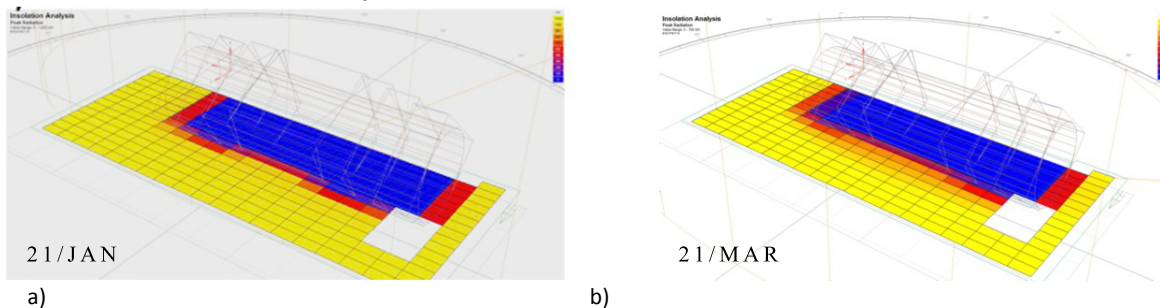
Esta etapa consiste na prova de conceito, ou seja, é necessário demonstrar o desempenho energético do projeto, através da demanda necessária e da capacidade de suprir de forma autônoma, pelo menos, a energia consumida. Os testes de desempenho, são realizados após a conclusão do estudo preliminar e envolvem as variáveis térmicas, iluminação, testes de consumo diário e anual envolvendo os gastos energéticos e a contribuição através de fontes renováveis. Neste aspecto, a intenção é demonstrar a consistência entre a forma e o desempenho ambiental. Os resultados são obtidos por meio de simulações computacionais, planilhas com dados estipulados da contribuição dos painéis fotovoltaicos e coleta de água da chuva. Assim, a avaliação do edifício proposto oferece uma visualização rápida relativa ao consumo de energia elétrica, conforto térmico e iluminação natural, baseado em simplificações assumidas e dados diários, mensais ou anuais, derivados de um banco de dados global de informações climáticas. Fazendo uso destes resultados os

estudantes podem melhorar seus projetos (Bergman, 2012). A estipulação e a simulação das variáveis ambientais requerem um aporte teórico em tecnologias específicas, que, no início do semestre foram discutidos em uma série de palestras organizadas pelos professores da disciplina, sobre os temas pertinentes como sistemas estruturais do edifício, energia fotovoltaica, casas passivas, iluminação eficiente, conforto ambiental e tratamento de águas residuais.

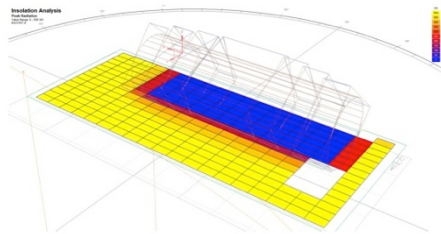
Mais detalhadamente, os resultados foram alcançados usando a ferramenta de cálculo *Autodesk Ecotect Analysis* e planilhas dinâmicas (Autodesk Inc., 2014), importando o modelo do *Google/Trimble SketchUp* ou do CAD. Esta ferramenta foi escolhida devido ao seu livre acesso e facilidade de uso, também garantindo resultados rápidos devido a tempos de processamento mais breves. Outra alternativa seria o *EnergyPlus* (U. S. Department of Energy (2), 2014), mas uso foi descartado, por restrições de tempo, pois seria impossível garantir ao aluno, a capacitação teórica e prática necessária.

Os alunos foram capacitados a determinar se o modelo recebe os níveis adequados de iluminação natural, através da análise de fator de luz do dia (Fig.3a). Em outras palavras, um modelo com os resultados satisfatórios pode conseguir economia de iluminação artificial durante os horários diurnos. Além disso, a análise da radiação Solar incidente permitiu a avaliação do potencial do projeto para produzir e armazenar a energia solar, conseqüentemente, resultando na capacidade de aquecimento passivo do ambiente interior durante o inverno e atender a necessidade de sombreamento nos meses de verão (Fig. 3b, 3c, 3d). A análise de conforto térmico usa desconforto expresso como Graus/Hora para avaliar e comparar o desempenho térmico do projeto (Tabela 1).

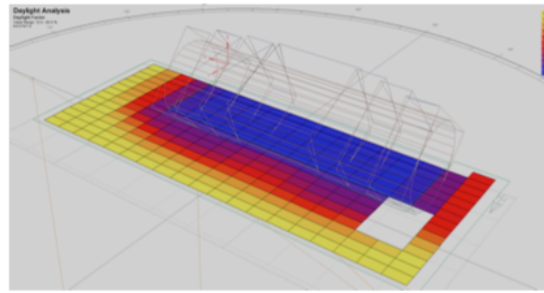
Figura 3: Análise Insolação: (a), análise da radiação solar para 21/JAN, (b) 21/MAR, (c) 21/JUL e (d) análise iluminação natural mostra o fator de luz diurna entre 2 and 10% na zona interior



21/JUL



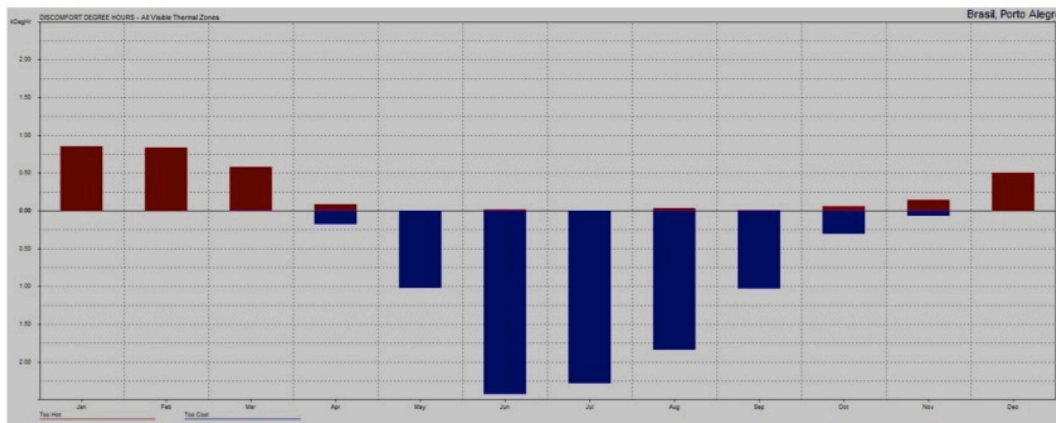
c)



d)

Fonte: www.archshare.com/archufrgs

Tabela 1: Desconforto Anual em graus/hora: demonstra o número total de horas abaixo ou acima da zona de conforto, sendo 3138,3 graus/hora (muito quentes) e 9176,6 graus/hora (muito frias), totalizando um total anual de 12314.8 graus/hora, neste caso o projeto deve ser refinado considerando os meses de inverno no hemisfério sul.



Fonte: www.archshare.com/arch/ufrgs

A avaliação do balanço energético deve considerar toda a quantidade de eletricidade consumida pelo sistema de iluminação elétrica, aparelhos como geladeira, máquina de lavar louça, máquina de lavar roupa, forno micro-ondas e a energia produzida por fontes renováveis como painéis fotovoltaicos (Tabela 2). Os testes de desempenho também envolvem o balanço das águas estabelecido pela comparação entre os pontos de consumo, tais como chuveiros, lavatório, WC, pia da cozinha, máquina de lavar louça, máquina de lavar roupa e a água gerada pelo processo de coleta de águas pluviais, bem como a coleta de águas cinzas e respectivos tratamentos. Mais detalhadamente, a autonomia de fontes externas de água não potável é, na maioria dos casos, obtida usando água cinza armazenada e tratada para irrigação, limpeza e banheiros. Com efeito, a água da chuva coletada e tratada é reutilizada para beber e fins de lavagem.

Tabela 2: Balanço Energético: foi atingido um balanço positivo (azul), com uma maior quantidade de energia produzida (verde) que energia consumida (vermelho).

ANNUAL ENERGY PRODUCTION						
equipment	rotation south	horizontal tilt	area	efficiency	use annual production	
[/]	[°]	[°]	[m ²]	[%]	[%]	[kWh/a]
painel 01	180	20	8,10	18,30	100,00	1413,26
painel 02	180	20	8,10	18,30	100,00	1413,26
painel 03	180	30	8,10	18,30	100,00	1413,26
painel 04	180	30	8,10	18,30	100,00	1413,26
painel 05	180	40	8,10	18,30	97,00	1370,86
painel 06	180	40	8,10	18,30	97,00	1370,86
painel 07	180	50	8,10	18,30	93,00	1314,33
painel 08	180	50	8,10	18,30	93,00	1314,33
TOTAL =						11023,44

ANNUAL ENERGY DEMAND				ANNUAL BALANCE
equipment	hourly demand	duration of daily use	annual demand	
[/]	[kWh]	[h]	[kWh/a]	
geladeira com freezer	0,07	24,00	649,94	
cootop / forno / fogão	3,00	1,00	1095,00	ANNUAL DEMAND 6144,57 kWh/a
maquina de lavar louça	1,35	1,00	494,52	ANNUAL PRODUCTION 11023,44 kWh/a
maquina de lavar roupa	1,00	1,50	547,50	
chuveiro	0,42	0,50	76,53	4878,87 kWh/a
ar-condicionado	1,40	3,00	1533,00	
somatório iluminação artificial	0,23	3,21	269,84	
computador	0,09	1,00	32,85	
chuveiro(s)	0,40	0,50	73,00	
bombas de agua	1,11	0,00	0,00	
ventilação forçada	0,00	0,00	0,00	
motores para automação	0,00	0,00	0,00	
televisor	0,06	2,00	43,80	
aparelho de som	0,07	2,00	51,10	
maquina de secar roupa	3,50	1,00	1277,50	
aquecimento / calefação	0,00	1,00	0,00	
TOTAL =			6144,57	

Fonte: www.archshare.com/archufrgs

2.3 Refinamento Arquitetônico e Tecnológico Final

Na terceira etapa da metodologia, se procede o refinamento do projeto arquitetônico através da integração de aspectos relacionados à estrutura, construção e instalações. Esta etapa enfatiza a importância de correlacionar a linguagem arquitetônica com as demandas tecnológicas. Em outras palavras, os alunos são incentivados a propor soluções de arquitetura, que possam absorver os requerimentos tecnológicos (Fig 4). Esta fase permite o ajuste formal, já que neste momento o aluno dispõe dos dados quantitativos necessários, para melhorar ou alterar os aspectos qualitativos do seu projeto, trabalhados na etapa anterior. Tabelas de consumo de energia com resultado negativo significam que as demandas de energia devem ser reduzidas ou, alternativamente, a produção deve ser aumentada. 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 necessário refinamento do projeto, deve adequar 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. Por exemplo, os sistemas estruturais, bem como os componentes de vedação, podem ser concebidos

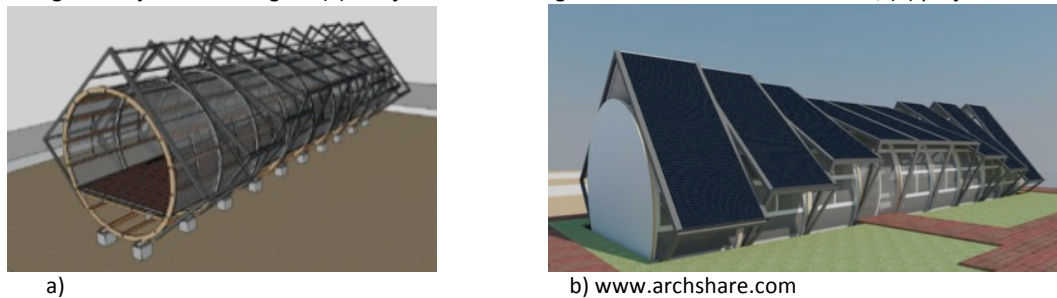
como parte das soluções para ar condicionado, aquecimento e ventilação (HVAC), electricidade e sistema hidro-sanitário (Fig. 5).

Figura 4: Seções Transversal: (a) reservatório de água quente alimentado pelos coletores solares integrados à estrutura do envelope exterior; Longitudinal: (b) equipamento técnico como reservatório de água potável, reservatório de águas cinzas, reservatório de tratamento de águas cinzas, reservatório de águas negras, reservatório de tratamento de águas não potáveis, reservatório de água quente, bomba de calor e inversores solares forma colocados sob o piso da casa.



Fonte: www.archshare.com/archufrgs

Figura 5: Ajuste Tecnológico: (a) a seção tubular configura o sistema estrutural da casa; (b) projeto final.



Fonte: www.archshare.com/archufrgs

3 O SISTEMA DE AVALIAÇÃO E RESULTADOS

Durante o semestre foram utilizados dois formatos de entrega principais: arquivos digitais depositados no ambiente digital *Archshare* (www.archshare.com) e impressão dos arquivos em formato A3 . Antes de cada avaliação os alunos depositaram no sistema *Archshare* os elementos previstos para a etapa. O sistema auxiliou no compartilhamento das informações para que cada dupla pudesse acompanhar o desenvolvimento do projeto das demais duplas e também publicar referências que auxiliassem na solução de problemas de projeto. O sistema igualmente contribuiu para a organização das apresentações (painéis) como também na visualização do ritmo de produção dos alunos. Ao final do semestre, os alunos, já com o acervo dos exercícios ordenados, entregaram painéis em formato A2 e o bloco do semestre, contendo todas as impressões das diferentes etapas, em formato A3. Em cada etapa, os alunos receberam uma ficha de avaliação com a discriminação dos

conteúdos considerados. A ficha indicou, através de cores, o desempenho dos alunos perante cada item de projeto. Assim o aluno pode identificar quais os ítems do projeto que, na etapa, precisariam de reformulação ou que estavam bem encaminhados. O painel intermediário, que ocorreu entre a segunda e a terceira etapa, contou com o importante aporte de convidados do meio profissional da cidade.

A avaliação dos resultados revelou que, durante os primeiros passos do processo de geração formal, os alunos que obtiveram uma ótima nota, para a integração conceitual dos elementos responsáveis pelo controle ambiental, apresentaram as melhores soluções para a integração arquitetônica e técnica da envolvente do edifício também. A resolução detalhada dos elementos arquitetônicos, tais como painéis fotovoltaicos, coletores solares térmicos, proteção solar e/ou insolação, foi trabalhada melhor pelos estudantes que conseguiram integrar estes aspectos com a forma conceitual no início do semestre. Para este mesmo grupo de alunos seria esperado atingir os melhores desempenhos, no entanto, isto não foi confirmado pelos resultados. Durante a análise de desempenho dos projetos dos alunos, os resultados não têm nenhuma correlação evidente com a integração bem sucedida dos aspectos ambientais na forma arquitetônica ou sua solução detalhada na elaboração do projeto. Um exemplo típico é o equilíbrio entre ganhos solares para iluminação natural de um lado e o acúmulo de calor causado pela mesma fonte de energia. Estes aspectos envolvem uma combinação de profundos estudos de teoria e experiência prática, que os estudantes geralmente não apresentam neste determinado nível acadêmico.

Ao analisar os resultados pelo desvio-padrão para as categorias relacionadas com a elaboração arquitetônica da envolvente do edifício, bem como o desempenho resultante, duas principais observações podem ser feitas. Primeiramente, os menores desvios foram encontrados nas categorias relativas aos painéis fotovoltaicos e o balanço energético. Estas categorias apresentam também as maiores pontuações médias. Em segundo lugar, o maior desvio, entre as categorias referentes ao envelope do edifício, foi encontrado em matéria de produção de água quente, enquanto para as performances mais diferenciadas de pontuações foram obtidas para o conforto térmico, que consistentemente apresentou a menor pontuação média. O primeiro fato pode ser explicado pela formação prévia e o foco do projeto neste critério específico. Uma enquete, embora realizada durante o semestre posterior, mostrou que os alunos consideram a energia solar como o tema sobre o qual eles têm a mais completa base de conhecimento em comparação com outras tecnologias como a geração de energia térmica ou reutilização das águas. Começar o semestre com a análise de

estudos de caso do *Solar Decathlon*, previsivelmente levou a conceitos e soluções técnicas para geração de energia bem elaboradas, principalmente quando baseadas nestes casos. A segunda correlação mostra que os estudantes não tinham suficiente conhecimento prévio de algumas outras tecnologias, como a geração de água quente, ou não foram capazes de adquirir tais conhecimentos através das lições teóricas, de exemplos, tais como os estudos de caso analisados, ou por conta própria, durante o desenvolvimento do projeto. Especialmente no caso do conforto térmico, o desvio pode ser explicado pelos baixos escores obtidos por algumas duplas com simulações incorretamente executadas ou representação errônea ou dificuldade na interpretação dos resultados que obtiveram com o Autodesk Ecotect.

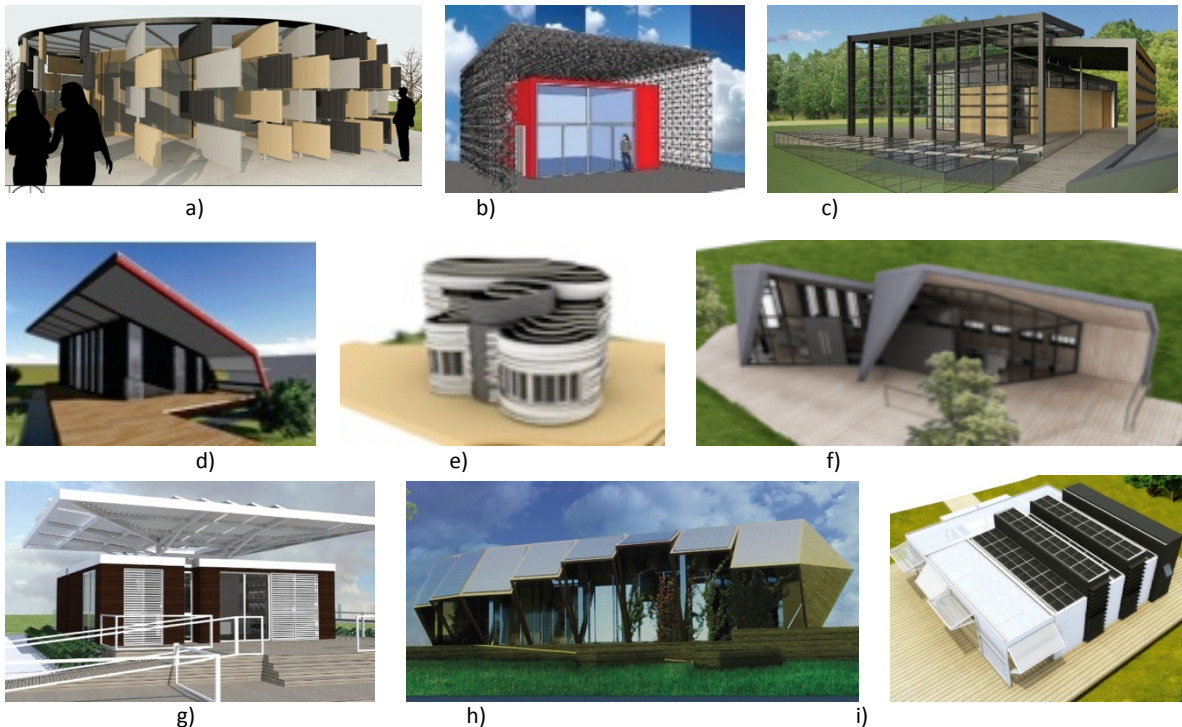
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em geral, pode-se afirmar que, através dos 14 projetos entregues no final do semestre, a metodologia proposta assegurou uma relativa homogeneidade dos resultados em relação aos objetivos pedagógicos descritos no início do semestre. A avaliação dos processos pedagógicos mostrou a importância de enfatizar uma consciência construtiva mesmo nos estágios iniciais do processo de projeto. Embora os projetos desenvolvidos em 2013/2 tenham alcançado níveis elevados de exploração formal (Fig. 7), os projetos demonstraram uma dificuldade em conciliar esta exploração, especialmente com o sistema construtivo utilizado. Mais detalhadamente, a fase inicial do curso, dedicada à análise de um projeto da competição *Solar Decathlon*, deveria funcionar como uma introdução à metodologia desenvolvida para o trabalho do aluno. 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. A partir desta observação, os professores implementaram a utilização de modelos físicos dos projetos analisados nos semestres seguintes, de forma a melhorar a compreensão tridimensional das soluções implementadas e, conseqüentemente, elevar o nível de compreensão detalhada do sistema como um todo.

Outro aspecto a otimizar, seria estabelecer um período de tempo adicional para o refinamento do projeto baseado nos resultados de desempenho obtidos. Duas semanas, dedicadas a esta revisão, para adequação do projeto, não só aguçaria a compreensão dos resultados em si, mas também reforçaria a compreensão dos processos interligados de sustentabilidade, forma arquitetônica e materiais empregados.

Finalmente, a integração da linguagem arquitetônica, o consumo de energia do edifício e outras questões de sustentabilidade, envolvendo a construção de sistemas e requisitos, tem aspectos relacionados tanto ao processo quanto estéticos. A preocupação com o processo de todas as partes do projeto, enfatiza que a sustentabilidade está no cerne do processo de design, juntamente com outros parâmetros de projeto como função, estrutura, construção e instalações. As estratégias de ensino utilizadas estão levando os autores a desenvolver um caminho metodológico para projetar, avaliar, demonstrar e qualificar o objeto em todas as fases do projeto, desde a concepção à instalação. A exploração da linguagem arquitetônica, durante a fase conceitual e estudos preliminares da casa, deu aos alunos a oportunidade de vincular a forma arquitetônica às metas de desempenho ambiental. A metodologia de três etapas tem ajudado os alunos a expandir sua consciência dos riscos do projeto sem atenção aos aspectos ambientais. Ao mesmo tempo, a manipulação dos modelos de desempenho através de ferramentas computacionais propiciou aos alunos um certo grau de confiança nas próprias soluções ao serem estas ambientalmente testadas.

Figura 7: Resultados: Projetos desenvolvidos em 2013/2: (a) *Shadow House*; (b) *Cube House*; (c) *Gigogne House*; (d) *Fold House*; (e) *Cell House*; (f) *Origami House*; (g) *Tree House*; (h) *Energy House*; (i) *Allegro House*; (j) *House T*; (k) *Vitori House*.





PROJETAR - 2015

Originalidade, criatividade e inovação no projeto contemporâneo:
ensino, pesquisa e prática. Natal, 30 de setembro a 02 de outubro.



j)



k)

Fonte: www.archshare.com/archufrgs

5 REFERÊNCIAS

ARCHSHARE. Archshare.com. Disponível em: (<http://www.archshare.com/subjects/318/production>) . 2014.

AROSTEGUI, C. Life stories, storyboards and animatics in architectural education. *Arquiteturarevista*. vol 9, n.2, p. 135-142. doi:10.4013/arq.2013.92.08, 2013.

AUTODESK INCORPORATED. *Autodesk Ecotect Analysis*. Disponível em: <http://usa.autodesk.com/ecotect-analysis/> 2014.

BERGMAN, D. *Sustainable design – A critical guide*. New York, United States of America: Princeton Architectural Press. 2012.

CORRÊA, S. R. M.; CRUZ, J. H. P. Teaching Sustainability Strategies in the Architectural Design. In: Proceedings of 28th International Conference on passive and low energy architecture (PLEA2012). Disponível em: <http://arch.plea.org/plea2012proceedings> , 2012.

TURKIENICZ, B.; WESTPHAL, E. (2012). The cognitive studio: Exercises in design learning. In: N. Steino & M. Özkar (Eds.), *Shaping design teaching* (pp. 185-202). Aalborg: Aalborg University Press. 2012.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (DOE) (1). Solar Decathlon Home Page. Disponível em: <http://www.solardecathlon.gov> , 2014.

U. S. DEPARTMENT OF ENERGY (DOE) (2). *EnergyPlus Energy Simulation Software*. Disponeivel em: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>, 2014.