XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

APLICABILIDADE DE FERRAMENTAS GERADORAS DE ESTUDOS BIOCLIMÁTICOS NO CONTEXTO DA "SALA DE AULA INVERTIDA"

João Victor de Souza Lima (1); João Roberto Gomes de Faria (2)
(1) Arquiteto, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, arq.jvlima@gmail.com
(2) Doutor, Professor do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, joaofari@faac.unesp.br, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Av. Eng. Luiz Edmundo Carrijo Coube, n° 14-01, Vargem Limpa, Bauru – SP, (14) 3103-6059

RESUMO
Esta pesquisa é parte de uma dissertação de mestrado que apresenta uma discussão sobre o uso da metodologia ativa de ensino "Sala de Aula Invertida" em disciplinas de Conforto Ambiental, de modo que alguns problemas práticos e pedagógicos, que dificultam sua integração com as disciplinas projetuais em cursos de Arquitetura e Urbanismo, possam ser sanados ou minimizados, enquanto a sala de aula se torna um ateliê de projeto. Dentre as questões investigadas na dissertação, esta pesquisa se limita ao enfoque para as ferramentas geradoras de auxílio às tomadas de decisão, no âmbito da bioclimatologia e geometria solar, utilizadas nas atividades projetuais propostas em sala de aula, tendo o objetivo de investigar a aplicabilidade e contribuição dessas ferramentas dentro do contexto da "Sala de Aula Invertida". A metodologia, de caráter exploratório e correlacional, consistiu no planejamento e aplicação da estratégia de ensino com a apropriação das ferramentas selecionadas, avaliação dos projetos entregues pelos alunos como resultado das atividades práticas elaboradas em sala de aula, e investigação do nível de satisfação dos estudantes para com o método, mais particularmente com relação às atividades propostas e ferramentas utilizadas. Dentre outras questões, os resultados sugerem que alguns aspectos da sistematização proposta foram bem sucedidos, como a utilização da planilha de tabulação bioclimática, e a apropriação das ferramentas de sombra do software SketchUp e das cartas solares impressas. Entretanto, o software Sol-Ar, apesar de importante para o projeto de proteções solares, não se mostrou eficiente para o estudo de máscaras de sombra do entorno edificado. Da mesma forma, as dificuldades de modelagem do software SunTool, assim como a sua não utilização na gravação das videoaulas, prejudicaram sua utilização como ferramenta de estudo para as máscaras de sombra em geral.
Palavras-chave: arquitetura bioclimática; ferramentas geradoras; método de ensino, sala de aula invertida.

ABSTRACT
This research is part of a Master's dissertation that presents a discussion about the use of the "Flipped Classroom" methodology in Environmental Comfort disciplines, so that some practical and pedagogical problems, which hinder its integration with the design disciplines in Architecture and Urbanism courses, can be remedied or minimized, while the classroom becomes a design studio. Among the questions investigated in the dissertation, this research is limited to the approach of the generating tools of decision support in the field of bioclimatology and solar geometry used in the proposed design activities in the classroom, with the objective of investigating the applicability and contribution of these tools within the context of "Flipped Classroom". The methodology consisted in the planning and application of the teaching strategy with the appropriation of the selected tools, evaluation of the projects delivered by the students as a result of the practical activities elaborated in the classroom, and investigation of their level of satisfaction with the method, more particularly with regard to the proposed activities and used tools. Among other issues, the results suggest that some aspects of the proposed systematization have been successful, such as the use of the bioclimatic tabulation, and the appropriation of the shadow tools of the software SketchUp and printed solar diagrams. However, the software Sol-Ar, although important for the project of solar protections, was not efficient for the study of shadow masks of the built environment. Likewise, the modeling difficulties of the software SunTool, as well as its non-use in the video recordings, have impaired its use as a study tool for the shadow masks in general.
Keywords: bioclimatic architecture, generating tools, teaching method, flipped classroom.

1. INTRODUÇÃO

Conforto Ambiental foi incluído como área de conhecimento obrigatória nas grades curriculares brasileiras dos cursos de Arquitetura e Urbanismo a partir de 1994 (BITTENCOURT; TOLEDO, 1997). No entanto, até os dias atuais, é notável sua grande desvinculação com o processo de projeto, o que contribui para o baixo desempenho térmico e energético dos projetos arquitetônicos desenvolvidos pelos alunos, os quais, de modo geral, apresentam grandes deficiências de desempenho térmico e lumínico. Esses aspectos são limitados, principalmente, às questões de implantação e orientação das aberturas, muitas vezes com a utilização desenfreada de grandes superfícies envidraçadas, geralmente sem referências a elementos de sombreamento, ou então com estes inseridos de maneira genérica, sem os estudos adequados para garantir sua efetividade (FREIRE, 2017). Essa lacuna entre conhecimento e habilidade se deve ao fato da transferência do conhecimento científico ao processo projetual ser bastante complexa e dificultada, principalmente porque os princípios da física na construção são dificilmente aplicáveis aos raciocínios de projeto em sua fase de criação (KOWALTOWSKI; LABAKI, 1993).

Segundo Vianna (2001), a disciplina de Conforto Ambiental apresenta diversos problemas práticos e pedagógicos, os quais dificultam sua integração mais intrínseca às disciplinas projetuais, e, consequentemente, colaboraram com essa defasagem entre teoria e prática. Dentre as questões apresentadas pelo autor, destacam-se: a) a carga horária dedicada às disciplinas, geralmente pequena; b) o pouco tempo que muitos alunos possuem para estudar fora da sala de aula, por geralmente trabalharem; c) o número excessivo de alunos por classe, uma vez que o MEC não reconhece as disciplinas de Conforto Ambiental como sendo projetuais, e sim de tecnologia; d) a falta de integração com outras disciplinas, principalmente as de projeto, uma vez que os professores dessas disciplinas ou tratam o conhecimento como inerente a especialistas, ou reduzem sua importância como condicionante projetual (BITTENCOURT; TOLEDO, 1997); e) a falta de laboratórios com equipamentos de conforto e de laboratórios de informática com programas específicos para os estudos de conforto, ambos resultados de uma negligência por parte dos cursos de Arquitetura e Urbanismo para com esse conteúdo, o que dificulta a execução de atividades práticas.

Este trabalho é parte de um projeto de pesquisa que apresenta uma discussão sobre o uso da metodologia ativa de ensino "Sala de Aula Invertida" em disciplinas de conforto ambiental, de modo que esses problemas práticos e pedagógicos possam ser sanados ou minimizados. Nessa metodologia, desenvolvida e disseminada por Bergmann e Sams (2012), ao contrário do que acontece no modelo tradicional, os alunos estudam o conteúdo da disciplina fora da sala de aula, no tempo que possuem disponível, e com total controle sobre o seu ritmo de estudo, dando espaço para o desenvolvimento de atividades práticas e interativas em sala de aula, ocasião em que desenvolvem habilidades de raciocínio mais complexas (SUHR, 2016). Dentre as categorias de questões práticas e pedagógicas investigadas na pesquisa, este estudo se limita ao enfoque das ferramentas de auxílio às tomadas de decisão, no âmbito da geometria solar, utilizadas nas atividades projetuais propostas em sala de aula.

Shaviv (1999) classifica as ferramentas de auxílio às tomadas de decisão no contexto projetual em duas categorias principais: ferramentas geradoras, que auxiliam nas definições geométricas, e geralmente requerem poucos dados de entrada, sendo bastante úteis nas fases de análise (análises dos contextos de projeto e definição de regras e restrições) e fases de síntese do projeto (buscas de soluções); e ferramentas de análise de desempenho, ou *Building Performance Analysis* (BPAs), as quais geralmente requerem muitos dados de entrada, e acabam sendo úteis principalmente para a avaliação quantitativa de desempenho das soluções adotadas (fases de avaliação). Nesse contexto, os programas de simulação computacional no âmbito do desempenho térmico e energético das edificações se enquadram como BPAs (JIN et al, 2019).

Para que BPAs possam ser utilizadas como auxiliadoras às fases de síntese e às etapas iniciais do projeto, devem apresentar análises gráficas dos resultados, e principalmente utilizar o esboço arquitetônico como possibilidade de dados de entrada, traduzindo os resultados de desempenho em respostas para as tomadas de decisão (MARSH, 1997). Inicialmente, essas ferramentas, de uma forma geral, não se preocupavam com essas questões e, por esse motivo, dentre poucas exceções, os programas de simulação se mostravam pouco eficientes como auxiliadores das buscas de soluções, sendo utilizados majoritariamente nas fases de detalhamento, quando grande parte das decisões já foram tomadas, o que limitava o seu suporte projetual (LIMA, 2012). Entretanto, os avanços da integração entre as BPAs com a tecnologia BIM (*Building Information Modelling*) têm facilitado a realização de análises intermediárias durante os processos de projeto, de modo que os programas acabam se tornando assistentes para as tomadas de decisões, em todas as suas fases (JIN et al, 2019). Apesar disso, a utilização dessa tecnologia requer um conhecimento prévio do arquiteto quanto aos princípios de bioclimatologia e física térmica (BONDARS, 2013), o que torna essas

ferramentas inviáveis na aplicação didática para o ensino da arquitetura bioclimática em cursos de graduação.

Delbin (2006) investigou a viabilidade prática de introdução de BPAs para o ensino do projeto arquitetônico considerando intrinsicamente os conceitos de conforto ambiental. Dentre outras questões, a autora constatou que o uso da simulação em atividades de projeto no âmbito do ensino-aprendizagem apresenta algumas limitações, como a dificuldade de montar um ateliê informatizado e, principalmente, quanto ao tempo não disponível para estudos complementares, necessários para que os alunos possam aprender a utilizar as ferramentas.

Por outro lado, as ferramentas geradoras podem ser facilmente incluídas nas buscas de soluções (fases de síntese); ao mesmo tempo, podem contribuir ao processo de aprendizagem dos alunos, se utilizadas em conjunto, e estruturadas por um método bem definido, uma vez que naturalmente se direcionam às etapas iniciais do projeto, concentrando-se principalmente em suas definições geométricas, e apresentando interfaces mais amigáveis (MACIEL, 2006; SHAVIV, 1999). No entanto, Kowaltowski, Bianchi e Petreche (2011) constatam que ainda existem poucas ferramentas de auxílio à criação voltadas às decisões iniciais de projeto, de modo que ou se compromete seu desenvolvimento, ou resolve-se 'corretamente' o 'problema errado'. Os autores concluem sobre a necessidade de métodos de geração de ideias que contribuam para as etapas iniciais de criação.

2. OBJETIVO

Investigar a aplicabilidade e contribuição de algumas ferramentas geradoras de auxílio à tomada de decisão no âmbito da bioclimatologia e da geometria solar, dentro do contexto de uma estratégia de ensino baseada na metodologia ativa da "Sala de Aula Invertida".

3. MÉTODO

Considerando a atual escassez de investigações sobre o uso da Sala de Aula Invertida como estratégia metodológica para o ensino de arquitetura bioclimática no contexto do processo projetual, a presente pesquisa assumiu um caráter exploratório e correlacional, mais precisamente de estudo de relação. Dessa forma, não foi feita a comparação entre um grupo de experimento e um grupo de controle, mas sim uma investigação intrínseca ao processo de ensino-aprendizagem estudado, por meio de investigação correlacional dentro de um mesmo grupo de indivíduos (alunos). Essa abordagem, segundo Coutinho (2008), é particularmente importante em áreas do conhecimento ainda pouco investigadas, uma vez que se objetiva compreender a complexidade do fenômeno educativo por meio dos construtos e conceitos que o integra e explicam. No recorte desta pesquisa, são apresentadas as análises que trouxeram conclusões pertinentes acerca da aplicabilidade das ferramentas selecionadas para a estratégia de ensino proposta.

3.1. Planejamento e aplicação da estratégia de ensino

A estratégia de ensino descrita abaixo foi aplicada para uma turma de 35 alunos do curso de Arquitetura e Urbanismo de uma faculdade particular do interior paulista, na disciplina "Conforto Ambiental" ministrada pelo primeiro autor deste artigo, em um período de um bimestre (5 dias com 3 horas/aula cada, já desconsiderando as primeiras aulas preparatórias, um feriado, a aplicação da prova bimestral, e a aplicação dos demais instrumentos de avaliação). A turma foi dividida em 7 grupos de 5 alunos, com os quais realizaram todas as atividades práticas em sala de aula durante o bimestre. Seguindo os preceitos de Bergmann e Sams (2012), os alunos estudaram o conteúdo teórico sobre geometria solar fora da sala de aula, por meio de videoaulas gravadas pelo professor da disciplina, enquanto, em classe, desenvolveram projetos escolares que os condicionavam à aplicação prática desses conceitos. A geometria solar foi selecionada como conteúdo devido à sua importância nas decisões de projeto, e pelo fato de se dispor de métodos mais precisos em comparação a outros estudos, como, por exemplo, o de ventilação natural (CHVATAL, 1998).

O conteúdo foi divido em dez módulos em ordem crescente de complexidade, gravados em videoaulas com durações de 11 a 29 min, postadas online para os alunos. As aulas foram embasadas em dois livros comumente disseminados em disciplinas de Conforto Ambiental: "Eficiência Energética na Arquitetura" (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2005) e "Uso das cartas solares: diretrizes para arquitetos" (BITTENCOURT, 2004).

O programa arquitetônico escolhido para as atividades projetuais foi o escolar (Escola Ciclo II + E.M.). A escolha se justifica por ele já ter sido desenvolvido pela turma no ano anterior, o que possibilitou o aproveitamento de seu repertório funcional e criativo relacionado ao programa, pelo fato de possuir grande

variabilidade de padrões de ocupação, o que proporcionou maior complexidade às atividades propostas, e pelo fato de que, em sua maioria, os edifícios escolares brasileiros não possuem equipamentos de condicionamento de ar, estando o conforto térmico a cargo do projeto bioclimático (KOWALTOWSK et al, 2007).

3.1.1. Definição das ferramentas de auxílio às tomadas de decisão

Esta pesquisa trabalhou com base na limitação de recursos (tempo e ferramentas), fatidicamente enfrentada por muitos cursos de arquitetura brasileiros (VIANNA, 2001). Sendo assim, a definição de ferramentas a serem utilizados pela estratégia de ensino proposta se pautou nos seguintes critérios:

I. Optou-se por não utilizar BPAs, considerando o tempo necessário para que os alunos adquiram proficiência suficiente para a sua efetiva utilização no processo projetual, tanto no âmbito operacional (DELBIN, 2006), quanto conceitual (BONDARS, 2013). Considerando a dificuldade de utilização das ferramentas durante o processo de aprendizagem (principalmente em suas etapas iniciais), e confrontando a carga horária necessária para o treinamento operacional dos alunos com a carga horária disponível para a disciplina, sua utilização no ensino da arquitetura bioclimática se torna inviável.

II. Para otimização do tempo dedicado às atividades projetuais em sala de aula, que deve ocorrer paralelamente ao aprendizado dos alunos, optou-se por ferramentas geradoras que pudessem ser utilizadas tanto no âmbito didático quanto no âmbito instrumental.

III. Não existe até o momento na instituição coparticipante um laboratório de conforto ambiental dotado de ferramentas de experimento físico. Dessa forma, apesar de se reconhecer a elevada importância dessas ferramentas, principalmente do heliodon, na sedimentação do conteúdo de geometria solar e em sua aplicação no processo projetual (FERNANDES; CUNHA, 2001), não foi possível integrá-las na estratégia de ensino.

IV. Da mesma forma, a inexistência de recursos para adquirir licenças pagas condicionou a escolha de ferramentas gratuitas, ou já possuídas pelos alunos que fariam parte da disciplina.

Considerando o enfoque na geometria solar, as duas ferramentas geradoras específicas escolhidas para a estratégia de ensino foram os programas computacionais:

- SunTool (MARSH, 2001), utilizado como ferramenta de auxílio à compreensão da geometria solar e da representação das máscaras de sombra na carta solar, uma vez que proporciona a plotagem automática dessas máscaras enquanto permite a modelagem de janelas, proteções solares horizontais, verticais, ou combinadas e/ou de barreiras do entorno edificado (OLIVEIRA; MACEDO, 2005). Dessa forma, os alunos conseguem compreender, visualmente, a viabilidade de utilização de cada tipologia de proteção para cada face estudada na determinada latitude e no determinado contexto edificado, assim como suas particularidades e limitações, principalmente no que diz respeito aos ângulos de limite lateral das proteções.
- Analysis Sol-Ar (LabEEE, 2009), utilizado para a obtenção das cartas solares para as latitudes específicas e plotagem das máscaras de sombra obtidas, tanto pelas influências de sombra das barreiras do entorno edificado, quanto pelas proteções projetadas pelos alunos. Enquanto a primeira ferramenta pode ser utilizada para facilitar a escolha e compreensão da tipologia das proteções, esta pode ser utilizada para a definição mais específica dos ângulos das proteções a serem projetadas. As cartas solares geradas pelo programa também foram impressas para a utilização pelos alunos.

Além das mencionadas acima, também foram elencadas ferramentas já utilizadas pelos alunos, como o AutoCAD (modelagem 2D e detalhamentos), SketchUp (modelagem 3D e ferramentas de sombra), e Microsoft Excel (tabulação bioclimática do programa de necessidades). Considerando o aspecto meramente representativo do software AutoCAD, e não diretamente contribuinte às questões bioclimáticas, ele não foi considerado na investigação de aplicabilidade das ferramentas.

Considerando a necessidade de métodos que otimizem a utilização das ferramentas geradoras dentro do processo projetual (KOWALTOWSKI; BIANCHI; PETRECHE, 2011), a estruturação de inserção das ferramentas selecionadas na estratégia de ensino (descrita com mais detalhes no tópico 3.1.2) teve como base principal a experiência relatada por Boni (1997). O autor utilizou cartas solares, associados a diagramas com códigos de cores, como ferramentas didáticas e instrumentais em todas as fases de projeto realizadas pelos alunos. Como resultado, constatou que os alunos tiveram condições imediatas de analisar, de maneira associada, as situações (problemas) e propor soluções, desde o zoneamento funcional, até o dimensionamento exato dos protetores solares para as superfícies e aberturas, passando, assim, a explorar a geometria como linguagem analítica. Estruturação semelhante também foi utilizada por Oliveira e Macedo (2005), mas, nesse caso, com o uso do programa ECOTECT.

3.1.2. Proposta de processo projetual

Foi estipulado um terreno hipotético para a elaboração das atividades, com área suficiente para a composição de uma edificação térrea com certa complexidade de influência de sombra dos edifícios do entorno. As etapas projetuais propostas em sala de aula foram estruturadas conforme o esquema da Figura 1:

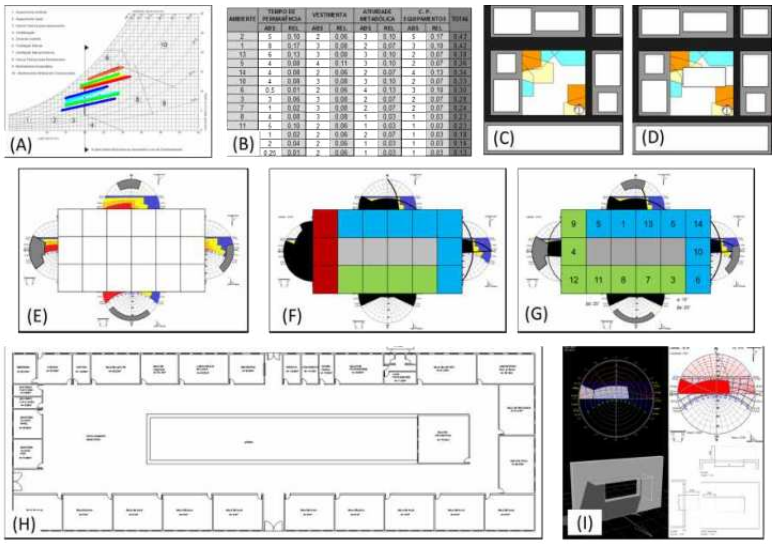

Figura 1 – Processo projetual proposto: (A) identificação das estratégias bioclimáticas; (B) tabulação bioclimática do programa; (C) influência de sombra do entorno; (D) definição do formato de implantação; (E) máscaras de sombra do entorno; (F) máscaras de sombra para as proteções; (G) mapeamento bioclimático; (H) desenvolvimento do projeto; (I) projeto das proteções solares.

A. Identificação das estratégias bioclimáticas ideais para a cidade de Marília-SP: foi solicitado que os alunos identificassem os dados climáticos mensais para a cidade de Marília-SP (média das temperaturas médias, médias das máximas, médias das mínimas, e umidades relativas médias), para um ano típico de referência (TRY). Devido à indisponibilidade de dados climáticos para a cidade de Marília, foram utilizados os dados para a cidade de Lins, recomendados por semelhança climática pelo site ProjetEEE (disponível em: http://projeteee.mma.gov.br/). Esses dados foram aplicados na carta psicométrica com o Diagrama de Givoni (1992), por meio da metodologia apresentada por Lamberts, Dutra e Pereira (2005). Assim, os alunos identificaram as estratégias bioclimáticas mais recomendadas para cada mês do ano.

B. Tabulação bioclimática do programa de necessidades: utilizando o Microsoft Excel, foi elaborada uma planilha na qual os alunos puderam inserir, para cada ambiente do programa de necessidades, as informações de padrões de ocupação relacionadas ao conforto térmico dos usuários (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2005): tempo de permanência máxima no ambiente, informado em horas; vestimenta, atividade metabólica, e calor produzido por equipamentos, informados em uma escala comparativa de 1 a 5. Considerando as diferentes escalas de cada parâmetro, a planilha foi elaborada com cálculos automáticos para a normatização dos dados inseridos, assim como cálculos de média aritmética dos dados normatizados, para cada ambiente. As médias foram geradas considerando o mesmo peso de influência para cada parâmetro. Com base nessas médias, os alunos puderam organizar os ambientes em ordem decrescente (com o uso do filtro do próprio Excel), de modo que fosse possível visualizar, comparativamente, quais ambientes exigiriam maior e menor atenção em relação ao desempenho térmico de sua composição arquitetônica. Evidencia-se que essa planilha foi elaborada para situações de climas predominantemente quentes (secos ou úmidos). Em caso de climas predominantemente frios, seria necessária uma abordagem diferente.

C. Estudo de influência de sombra do entorno edificado: esse estudo foi realizado utilizando as ferramentas de sombra do software SketchUp, de forma que fosse possível registrar as sombras do entorno edificado para os meses de interesse, para a futura definição do formato de implantação.

D. Definição do formato de implantação: com base na área total definida pelo programa de necessidades, em sua experiência passada com o projeto escolar, nos estudos realizados anteriormente no Diagrama de Givoni, e nos registros de sombra do entorno edificado, os alunos fizeram, ainda no SketchUp, um estudo de viabilidade de formato e posição de implantação da edificação proposta, com o principal objetivo de adequar essa implantação à influência de sombra do entorno, aproveitando as sombras (principalmente vespertinas) nos meses mais quentes, e evitando as sombras nos meses mais frios.

E. Estudo das máscaras de sombra para o entorno edificado: com o formato de implantação já definido, os grupos traçaram, nas cartas solares (uma para cada face do formato de implantação), as máscaras de sombra referentes à influência de sombra do entorno imediato. Esse estudo foi feito com base nos

procedimentos apresentados por Bittencourt (2004), para cada eixo de face. As ferramentas utilizadas foram o AutoCAD (para identificação dos ângulos de influência em planta e cortes), e o Analysis Sol-Ar ou as cartas solares impressas (para o traçado das máscaras de sombra).

F. Estudo das máscaras de sombra ideais para cada face do formato de implantação: ainda com base no formato de implantação previamente definido, os alunos traçaram, nas cartas solares, as máscaras de sombra para proteções solares que consideravam ideais para cada uma de suas faces, ainda desconsiderando a influência do entorno imediato, com base nos conceitos apresentados por Bittencourt (2004). Para isso, utilizaram como ferramentas o SunTool (o qual facilita a visualização simultânea entre composição de proteções e máscara de sombra resultante na carta solar), o Analysis Sol-Ar e as cartas solares impressas. Considerando que todos os grupos decidiram por trabalhar com implantações alinhadas ao norte, o escopo limitado (faces norte, sul, leste e oeste, para todos os grupos) permitiu a aplicação da "*Jigsaw Technique*". Segundo Fatareli et al. (2010), nessa técnica de aprendizagem cooperativa, cada aluno dos grupos base (grupos de origem) é selecionado para integrar um outro grupo denominado grupo especialista. Cada grupo especialista fica encarregado de resolver uma parte do "quebra-cabeças" referente ao problema coletivo (no caso, as máscaras de sombra ideais para cada uma das quatro faces). Após as partes do problema serem resolvidas pelos grupos especialistas, os alunos voltam aos seus grupos base com as informações encontradas, compartilhando-as uns com os outros.

G. Mapeamento bioclimático no formato de implantação: nesse momento, os grupos associaram as máscaras de sombra para proteções solares identificadas para cada face do formato de implantação com as máscaras de sombra geradas para o entorno imediato. Assim, as máscaras de sombra para proteções solares identificadas coletivamente foram adaptadas às realidades individuais de cada grupo. Foi então solicitado que os alunos organizassem o programa de necessidades, já tabulado, no formato de implantação, com a sugestão do uso de post-its coloridos (cada cor indicando um determinado setor), baseando-se nas dificuldades de bloqueio seletivo da insolação identificadas nas máscaras de sombra resultantes para cada face: os ambientes de maior atenção deveriam ser posicionados nas orientações de mais fácil bloqueio seletivo da insolação (máscaras de sombra mais abertas, e com a presença da insolação desejável), enquanto os ambientes de menor atenção deveriam ser posicionados nas orientações de mais difícil bloqueio seletivo (máscaras de sombra mais fechadas, e sem a presença da insolação desejável). Como resultado, os alunos tinham em mãos um mapeamento de arranjo bioclimático do programa de necessidades que sintetizava tanto as necessidades bioclimáticas do padrão de ocupação, quanto as potencialidades e limitações solares da implantação definida. Esse instrumento norteador seria utilizado como regra a ser almejada nas próximas etapas projetuais, servindo como meio de registro, e tornando-se o elo entre as fases do ciclo de decisão (ANDRADE; RUSCHEL; MOREIRA, 2011).

H. Desenvolvimento do projeto (anteprojeto): como síntese das informações contidas no programa de necessidades (setores e dimensões), do repertório arquitetônico anterior com o programa arquitetônico (desenvolvido no ano anterior na disciplina de projeto arquitetônico), e do mapeamento bioclimático no formato de implantação (usado como conjunto de regras norteadoras), os alunos passaram para a fase de desenvolvimento do projeto escolar (anteprojeto), definindo o arranjo funcional, dimensões, circulações, acessos e aberturas. Após sua definição, os alunos fizeram a avaliação do anteprojeto com base no mapeamento bioclimático desenvolvido, a fim de identificar lacunas de desempenho, as quais resultaram em uma revisão do anteprojeto e/ou na definição das proteções solares a serem projetadas na próxima etapa (detalhamento).

I. Projeto das proteções solares (detalhamento): identificadas as necessidades de se projetar proteções solares, e para quais superfícies, os grupos materializaram as máscaras de sombra para proteções solares, já definidas anteriormente, no projeto arquitetônico. Nesse momento, os alunos puderam utilizar as ferramentas SunTool, Analysis Sol-Ar, cartas solares impressas, SketchUp e AutoCAD para criarem as melhores composições possíveis, individualmente para cada superfície, ou coletivamente como parte das definições volumétricas do projeto.

Apesar das solicitações sistemáticas no decorrer da disciplina, com o objetivo de tornar o processo exequível à carga horária disponível, foi esclarecido aos alunos que, em sua adoção nas futuras disciplinas projetuais, esse processo seria holístico, se integrando às diversas condicionantes de projeto não desenvolvidas na disciplina Conforto Ambiental.

3.2. Avaliações e análises dos resultados

Foi solicitada a apresentação final, em forma de painel, do projeto desenvolvido durante a disciplina, como produto de todas as atividades realizadas em sala de aula, evidenciando os processos aplicados, relacionados

à arquitetura bioclimática. Foram considerados satisfatórios os projetos que demonstrassem a simultânea preocupação com os critérios de conforto estudados, e com os critérios relacionados à adequada ocupação do terreno, ao arranjo funcional do programa, dimensionamento dos ambientes, fluxos e circulações adequados.

Os projetos entregues pelos alunos foram avaliados quantos aos critérios: estudo de sombreamento do entorno e definição do formato de implantação, considerando a realidade climática da cidade de estudo (Marília-SP), principalmente quanto aos aspectos de insolação; tabulação bioclimática do programa de necessidades, considerando as variáveis humanas referentes ao conforto térmico em cada ambiente; máscaras de sombra do entorno edificado para cada face do formato de implantação; máscaras de sombra para as proteções solares, também em cada face do formato de implantação; integração entre as máscaras de sombra do entorno e as máscaras de sombra das proteções solares, adaptando-as à situação do projeto no terreno; arranjo bioclimático, analisando o posicionamento adequado dos ambientes com base na associação entre seus padrões de ocupação e seu posicionamento no formato de implantação com referência na geometria solar; arranjo funcional, sendo avaliados, em conjunto, a distribuição funcional dos ambientes entre si, seu dimensionamento, circulação e acessos; planejamento e detalhamento adequado das proteções solares; e síntese arquitetônica final, considerando o nível de abstração alcançado na integração de todos os critérios anteriores. Devido ao objetivo disciplinar e ao tempo limitado para as atividades em sala de aula, os demais critérios de composição arquitetônica, como linguagem arquitetônica e materialidade, não foram considerados na avaliação do projeto.

A pesquisa também investigou o contexto pessoal dos alunos, tanto em relação aos seus estilos de aprendizagem, quanto à sua percepção quanto à estratégia de ensino aplicada. Essa última investigação foi feita por meio da aplicação de um questionário composto por 21 questões, uma semana após a aplicação da Avaliação Bimestral, mas antes das notas serem divulgadas, para que não houvesse interferências nas respostas dos alunos. As questões foram estruturadas de modo a facilitar seu preenchimento, mas podem ser classificadas em sete critérios de investigação: eficiência da inversão da sala de aula; exequibilidade dos estudos propostos fora da sala de aula; nível de dificuldade encontrado pelos alunos em cada módulo da disciplina; eficácia das videoaulas; autoavaliação; eficácia das atividades propostas em sala de aula; e eficácia das ferramentas de auxílio à tomada de decisão utilizadas nas atividades, com o objetivo de identificar suas potencialidades e limitações para com o método proposto, sendo assim especialmente importantes para as conclusões levantadas neste artigo.

4. RESULTADOS

A Tabela apresenta uma síntese da avaliação dos projetos entregues. Os critérios foram estabelecidos com base nas etapas do processo projetual proposto em sala de aula, avaliando se estas foram cumpridas corretamente, e se podem ser identificadas no produto final (projeto arquitetônico). Os campos preenchidos com "NA" correspondem aos critérios não avaliados, por não terem sido desenvolvidos e/ou apresentados pelos grupos nos painéis entregues. Como resultado, dos 7 grupos, apenas 3 apresentaram um desempenho satisfatório (grupos 2, 3 e 6).

O gráfico da Figura 2 apresenta a relação das médias de alcance dos critérios avaliados nos projetos. Dentre os critérios mais negligenciados ou pior desenvolvidos pelos grupos estão, em ordem crescente: integração das máscaras de sombra, síntese arquitetônica final, arranjo funcional, máscaras de sombra do entorno edificado e projeto das proteções solares. Por outro lado, os critérios mais bem desenvolvidos foram, em ordem decrescente: máscaras de sombra para as proteções solares, tabulação bioclimática do programa de necessidades, arranjo bioclimático, e estudo de sombreamento do entorno com definição da implantação.

Tabela 1 – Síntese de avaliação dos projetos entregues.

CRITÉRIO	**GRUPO**						
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Estudo de sombreamento do entorno e definição do formato de implantação	3	5	10	5	NA	7	0
Tabulação bioclimática do programa	3	10	10	3	10	10	10
Máscaras de sombra do entorno	4	4	-	10	NA	7	0
Máscaras de sombra para as proteções solares	10	10	10	10	10	10	10
Integração das máscaras de sombra	10	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Arranjo bioclimático	NA	10	10	NA	NA	10	NA
Arranjo funcional	NA	6	6	NA	NA	10	NA
Projeto das proteções solares	2	10	3	NA	3	10	NA
Síntese arquitetônica final	NA	6	4	NA	NA	8	NA

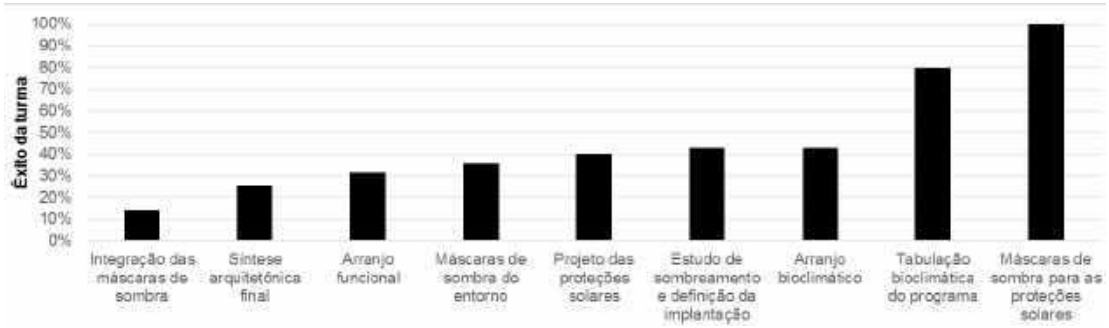

Figura 2 – Médias de alcance dos critérios avaliados nos projetos.

Todos os grupos apresentaram altos desempenhos nos estudos de máscaras de sombra para as proteções solares, individualmente. Isso pode indicar que o método cooperativo de aprendizagem *Jigsaw Technique* foi bem sucedido. Em contrapartida, considerando a negligência coletiva na integração dessas máscaras com as máscaras do entorno, é possível que os alunos tenham se apoiado nos resultados dos estudos cooperativos, ao não adaptá-los às suas realidades de projeto. Percebe-se a necessidade de ênfase ao processo de integração das máscaras, em associação ao decorrente mapeamento bioclimático do formato de implantação, dedicando uma carga horária suficiente para isso (aproximadamente 3 horas/aula).

No mesmo sentido, é possível observar que, apesar de a maioria dos grupos demonstrar preocupação com o estudo do sombreamento proporcionado pelo entorno edificado na síntese do formato e posição da implantação (por meio do SketchUp), uma minoria utilizou corretamente a técnica de máscaras de sombra para o entorno edificado como parte do processo metodológico para as tomadas de decisão. Isso demonstra uma maior dificuldade dos alunos para com esse conteúdo, provavelmente resultado do pouco tempo destinado para a sua aplicação em sala de aula (apenas 2 horas/aula), e do caráter mais abstrato da atividade. Evidencia-se, então, a necessidade de se dedicar mais tempo (ao menos 4 horas/aula) para essas atividades no planejamento de aplicações futuras. É importante ressaltar também que as máscaras do entorno mais bem desenvolvidas foram feitas à mão, com o uso das cartas solares impressas, provavelmente devido ao maior envolvimento pessoal e menores restrições no manuseio. Apesar de facilitar bastante o processo de identificação dos ângulos solares, o Sol-Ar apresenta uma limitação de ângulos por vez, o que dificulta e/ou torna impreciso o estudo de máscaras de sombra para entornos mais complexos, com várias edificações. Por outro lado, o SunTool, apesar de um facilitador em potencial, não foi utilizado por nenhum grupo para esse fim, provavelmente devido à complexidade da interface de modelagem.

Quanto ao projeto de proteções solares, os grupos que apresentaram os estudos pelo SunTool demonstraram pouco ou nenhum domínio sobre os conceitos e procedimentos apontados por Bittencourt (2004), o que pode indicar que a ferramenta foi utilizada como "muleta" para aqueles alunos que não dominaram o conteúdo, ao invés de ferramenta para o auxílio da aprendizagem e/ou para facilitar a compreensão da relação física-estereográfica das proteções solares. Entretanto, é importante evidenciar que a ferramenta, que possui interface em inglês, foi apresentada aos alunos apenas em sala de aula, não sendo integrada como material didático no desenvolvimento das videoaulas, o que pode ter dificultado a familiaridade dos alunos com ela. Em contrapartida, os dois grupos que apresentaram corretamente os detalhamentos para as proteções solares utilizaram como ferramentas as cartas solares impressas e o Analysis Sol-Ar, instrumento bastante utilizado no desenvolvimento das videoaulas.

De fato, na opinião dos alunos, o SunTool foi a ferramenta que menos contribuiu no desenvolvimento dos projetos e no processo de aprendizagem, enquanto as cartas solares impressas e o SketchUp (também com um tutorial postado online) seguem como as maiores contribuintes (Figura 3). As cartas solares impressas também se mostraram importantes para os alunos que não possuem notebook para utilizar em sala de aula, considerando a ausência de um laboratório de informática disponível para esse fim.

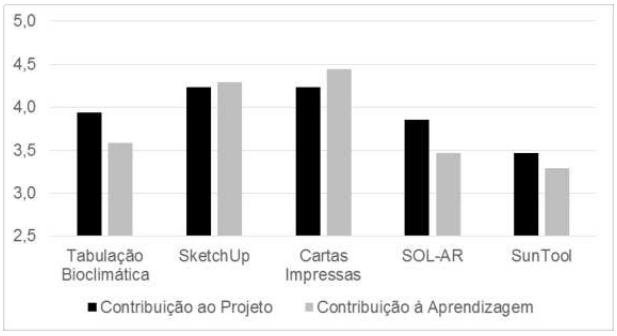

Figura 3 – Médias das avaliações dos alunos quanto às contribuições de cada ferramenta utilizada na disciplina.

Os três projetos com plantas legíveis se enquadraram em uma boa relação entre padrões de ocupação dos ambientes e posicionamento no formato de implantação com referência na geometria solar, o que demonstra uma importante contribuição da tabulação bioclimática do programa arquitetônico pela planilha eletrônica. Entretanto, o arranjo funcional só foi bem desenvolvido por um deles, o que demonstra a dificuldade em se preocupar simultaneamente com os requisitos bioclimáticos e os demais requisitos funcionais de projeto. Da mesma forma, no quesito bioclimático, os melhores projetos apresentaram baixos níveis de desenvolvimento volumétrico, com implantações retangulares ou quadráticas e proteções inseridas individualmente nas aberturas, e não como expressão volumétrica. Essa lacuna na síntese arquitetônica pode ser resultado de uma preocupação dos alunos em não tornar os processos ainda mais complexos do que já são. É preciso, no entanto, identificar uma estratégia de estímulo para a síntese de projetos menos contidos e mais articulados, talvez dedicando um período da disciplina para análises de projetos correlatos com bom desempenho térmico e energético que tenham, ao mesmo tempo, alcançado altos níveis de abstração, estimulando assim, antes do início do processo projetual, o pensamento análogo, o qual, segundo Kowaltowski, Bianchi e Petreche (2011), sistematiza, por meio de representações visuais e diagramas, a busca por pontos em comum entre problemas e soluções de uma situação familiar para uma nova situação a ser elucidada.

5. CONCLUSÕES

As análises realizadas até o presente momento corroboram com a ideia de que o processo projetual integrado como estratégia de ensino para disciplinas de conforto ambiental pode contribuir significantemente ao nível de habilidade de aplicação adquirido pelos alunos.

Apesar da grande contribuição constatada para alguns métodos e ferramentas, como o estudo de sombras do entorno e definição do formato de implantação pelo SketchUp, a tabulação bioclimática do programa arquitetônico, o estudo de máscaras de sombra para proteções solares com o uso da *Jigsaw Technique*, e os estudos de máscaras de sombra em geral com o uso das cartas solares impressas, a estratégia proposta precisa ser repensada quanto a alguns critérios: 1 - dado o baixo nível de abstração alcançado pelos projetos, e as prioridades seletivas, por parte dos grupos, é importante exercitar, antes do início dos estudos no próprio projeto, a análise de projetos correlatos que tenham alcançado alto nível de desempenho térmico e energético, e, ao mesmo tempo, altos níveis de abstração, com o estímulo do pensamento análogo; 2 - a atividade colaborativa para a definição das máscaras de sombra para as proteções solares deve ser realizada anteriormente aos estudos de máscara de sombra para o entorno edificado, considerando seu menor nível de abstração e maior possibilidade de auxílio colaborativo entre os alunos mais e menos engajados; 3 – é preciso dedicar maior tempo para a atividade de integração das máscaras de sombra e mapeamento bioclimático do formato de implantação (aproximadamente 3 horas/aula), dada a sua complexidade e importância para as etapas seguintes; 4 – o Analysis Sol-Ar se mostrou bastante útil como ferramenta auxiliadora à aprendizagem e ao projeto de proteções solares, devido à sua precisão na definição de máscaras de sombra com o uso dos ângulos limitadores. Entretanto, sua limitação de ângulos por vez (dois de cada, para cada lado), dificultam sua utilização na elaboração de máscaras de sombra de entornos edificados mais complexos; 5 – apesar do grande potencial do SunTool para os estudos propostos, suas limitações de modelagem dificultam os processos de aprendizagem e de aplicação nos projetos. Seria importante substituí-lo por alguma ferramenta que apresente a mesma relação simultânea entre realidade física (representações em perspectiva) e projeção estereográfica, porém com possibilidades de modelagens próximas às apresentadas pelo SketchUp. Além disso, a ferramenta precisa ser incluída nas videoaulas sobre o conteúdo teórico, familiarizando sua interface para os alunos antes de submetê-los ao contato durante as aulas práticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, M. L. V. X.; RUSCHEL, R. C.; MOREIRA, D. C. O processo e os métodos. In: KOWALTOWSKI, D. C.C.K.; MOREIRA, D. C.; PETRECHE, J. R.D.; FABRÍCIO, M. M. (Org). **O processo de projeto em arquitetura**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

BERGMANN, J.; SAMS, A. **Flip Your Classroom: reach every student in every class every day.** Eugene, Oregon: ISTE, 2012.

BITTENCOURT, L. S.; TOLEDO, A. M. Ensino de conforto ambiental: mudanças de enfoque e metodologia. In: IV ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: ANTAC, 1997, p. 537-541.

BITTENCOURT, L. **Uso das cartas solares:** diretrizes para arquitetos. 4. ed. rev. e ampl. – Maceió: EDUFAL, 2004.

BONDARS, E. Implementing Bioclimatic Design in Sustainable Architectural Practice. In: **Architecture and Urban Planning**, 2013, p. 84-86.

BONI, F. A formação do arquiteto e a área de conforto ambiental – a experiência da UNISINOS. In: IV ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4, 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: ANTAC, 1997.

CHVATAL, K. M. S. **A prática do projeto arquitetônico em Campinas, SP e diretrizes para o projeto de edificações adequadas ao clima**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas – Campinas, SP, 1998.

COUTINHO, C. P. Estudos correlacionais em educação: potencialidades e limitações. In: **Psicologia Educação e Cultura**, 2008, vol. XIII, nº 1, p. 143-169.

DELBIN, S. **Inserção de simulação computacional de conforto ambiental de edifícios em ensino de projeto arquitetônico: proposta de metodologia**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas – Campinas, SP, 2007.

FATARELI, E. F.; FERREIRA, L. N. A.; FERREIRA, J. Q.; QUEIROZ, S. L. Método cooperativo de aprendizagem jigsaw no ensino de cinética química. In: **Química nova na escola**. Vol. 32, n° 3, agosto 2010.

FERNANDES, L. C.; CUNHA, E. da. Ensino de geometria solar: proposta de heliodon alternativo. In: **ENCAC 2011 XI Encontro Nacional e VII Encontro Latino Americano de conforto no ambiente construído**, Búzios, RJ. 2011.

FREIRE, M. R. Um olhar sobre a abordagem do conforto térmico no ensino de projeto na FAUFBA. In: XIV ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14, 2017, Balneário Camboriu. **Anais...** Balneário Camboriu: ANTAC, 2017.

JIN, R.; ZHONG, B.; MA, L.; HASHEMI, A.; DING, L. Integrating BIM with building performance analysis in project life-cycle. In: **Automation In Construction 106**, 2019.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K.; BIANCHI, G.; PETRECHE, J. R. D. A criatividade no processo de projeto. In: KOWALTOWSKI, D. C.C.K.; MOREIRA, D. C.; PETRECHE, J. R.D.; FABRÍCIO, M. M. (Org). **O processo de projeto em arquitetura**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K.; LABAKI, L. C. O Projeto Arquitetônico e o Conforto Ambiental: Necessidade de uma Metodologia. In: ENTAC 1993 – **V Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Avanços em Tecnologia e Gestão da Produção de Edificações**, São Paulo, SP. 1993. p. 785-794.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K.; LABAKI, L. C.; DE PAIVA, V. T.; BIANCHI, G.; MÖSCH, M. E. Ensino de Projeto Bioclimático: O Papel dos Problemas e Restrições no Processo Criativo. In: **ENCAC 2007 IX Encontro Nacional e V Encontro Latino Americano de conforto no ambiente construído**, Ouro Preto, MG. 2007. p. 280 – 289.

LABEEE, LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil. **Analysis Sol-ar.** Versão 6.2. 2009. Disponível em <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/softwares/analysis-sol-ar>. Acesso em: Julho de 2018.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L. PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura.** 3 ed., 2005.

LIMA, R. V. dos S. **Modos projetuais de simulação:** uso de ferramentas de simulação térmica no processo projetual de arquitetura. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2012.

MACIEL, A. **Integração de conceitos bioclimáticos ao projeto arquitetônico.** Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

MARSH, A. **Performance analysis and conceptual design**. Tese (Doutorado). School of Architecture and Fine Arts, The University of Western Australia, 1997.

MARSH, A. **SUNTOOL v1.10:** Window shading and overshadowing. Perth (Australia), 2001.

OLIVEIRA, M. M. F; MACEDO, I. P. O. Uma metodologia de ensino de conforto ambiental. In: VIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8, 2005, Maceió. **Anais...** Maceió: ANTAC, 2005.

SHAVIV, E. Design Tools for Bio-climatic and passive solar building. **Solar Energy**, v.67, p.189-204. 1999.

SUHR, I. R. F. Desafios no uso da sala de aula invertida no ensino superior. In: **Revista Transmutare**, Curitiba, v. 1, n. 1, p. 4-21, 2016.

VIANNA, N. S. Análise crítica do ensino de conforto ambiental nas escolas de arquitetura. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 6. e Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, 3., 2001, São Pedro. **Anais...** Brasília: UnB, 2013.