

REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA GEOMETRIA DA INSOLAÇÃO NO PROCESSO PROJETUAL: UMA PROPOSTA DE SISTEMATIZAÇÃO

GRAPHIC REPRESENTATION OF SOLAR GEOMETRY IN DESIGN PROCESS: A SYSTEMATIZATION PROPOSAL

João Victor de Souza Lima¹

João Roberto Gomes de Faria²

Resumo

O presente artigo descreve e avalia uma proposta de sistematização da representação gráfica da geometria da insolação, no contexto do processo projetual, em prol de sua apropriação mais intrínseca na síntese arquitetônica, por parte de alunos de graduação em Arquitetura e Urbanismo. A estratégia foi aplicada em um estudo de caso, utilizando as possibilidades práticas e pedagógicas proporcionadas pela metodologia ativa da sala de aula invertida. Avaliando os projetos entregues pelos alunos ao final da experiência e investigando sua percepção sobre ela, constatou-se que, apesar de proporcionar bons resultados de aprendizagem, a sistematização proposta carece de adequações referentes à organização cronológica das atividades e à aplicabilidade das ferramentas de auxílio à tomada de decisão selecionadas para o processo. Por fim, a pesquisa reflete sobre as limitações e potencialidades dessas ferramentas, relacionando suas características de interface, linguagem e representação aos resultados de abstração e de eficiência do controle da insolação proporcionados por elas.

Palavras-chave: geometria da insolação; processo projetual; estratégia de ensino.

Abstract

This article describes and evaluates a systematization proposal for the graphic representation of solar geometry, in the context of the design process, in favor of its intrinsic appropriation in the architectural synthesis, by undergraduate students in Architecture and Urbanism. The strategy was applied in a case study, using the practical and pedagogical possibilities provided by flipped classroom's methodology. By evaluating the projects developed by the students and investigating their perception about the process, it was found that, despite providing good learning results, the proposed systematization lacks adjustments regarding the chronological organization of the activities and the applicability of the decision-making tools selected for the process. Finally, the research reflects on the limitations and potentialities of these tools, relating their characteristics of interface, language and representation to the results of abstraction and efficiency of the insolation control afforded by them.

Keywords: solar geometry; design process; teaching method.

¹ Mestre em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Bauru, SP, Brasil. arq.jvlima@gmail.com; ORCID: 0000.0003.1089.4944

² Professor Associado, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Bauru, SP, Brasil. joao.rg.faria@unesp.br; ORCID: 0000.0002.8050.7818

1. Introdução

O conforto térmico é um dos principais critérios a serem assegurados no planejamento arquitetônico, por possuir uma relação direta com a eficiência energética da edificação, uma vez que a refrigeração ou o aquecimento dos ambientes pode representar até 48% do seu consumo energético (DELBIN, 2006). Nesse sentido, evidencia-se a importância do ensino do conforto ambiental em cursos de graduação em Arquitetura e Urbanismo, uma vez que, por meio deste, os profissionais podem ser capacitados a aplicarem corretamente as estratégias bioclimáticas em seus futuros projetos arquitetônicos.

No entanto, desde a sua integração como disciplina obrigatória nas grades curriculares de cursos de Arquitetura e Urbanismo brasileiros, a partir de 1994 (BITTENCOURT; TOLEDO, 1997), até os dias atuais, é notável a desvinculação do conforto ambiental em relação ao processo projetual, o que contribui para o baixo desempenho térmico e energético dos projetos arquitetônicos desenvolvidos pelos alunos, tanto dentro dos cursos, quanto no campo profissional (PAULA, 2015; VILELA; ZANCANELI; LIMA, 2015; DELBIN, 2006). Nesse sentido, percebe-se a apropriação inadequada dos princípios e representações referentes à geometria da insolação (FREIRE, 2017), com a utilização desenfreada de superfícies envidraçadas, muitas vezes sem referência a elementos de sombreamento, ou então com estes inseridos de maneira genérica, estando os estudos de insolação limitados às indicações do sol nascente e poente.

Em sua pesquisa com professores de Conforto Ambiental, Vianna (2001) identificou os principais problemas práticos e pedagógicos que dificultam a vinculação entre teoria e prática nessas disciplinas, dos quais se destacam: a falta de integração com outras disciplinas, principalmente as de projeto; carga horária pequena e número excessivo de alunos por classe; a falta de laboratórios e de equipamentos de conforto e a precariedade dos laboratórios de informática.

A falta de integração com outras disciplinas é causada principalmente pela abordagem utilizada em disciplinas de Conforto Ambiental, que, na maioria das vezes, “[...] consiste em uma abordagem teórica, seguida de cálculos que não apresentam nenhuma aplicação prática, fazendo com que o aluno não desenvolva um senso crítico quanto às questões projetuais” (VILELA; ZANCANELI; LIMA, 2015, p. 757). Assim, por mais que ele consiga atingir níveis satisfatórios de compreensão da disciplina, não adquire senso crítico em níveis maiores de abstração que possibilitem e estimulem a sua aplicação em disciplinas projetuais futuras, assim como na prática profissional (PAULA, 2015). Vianna (2001) defende que a metodologia a ser adotada deveria utilizar o projeto como objeto de estudo, aplicando sobre ele os conceitos e análises dos problemas relativos às disciplinas, uma vez que, segundo o autor, a informação não aplicada ou incorporada geralmente é esquecida.

No entanto, o MEC reconhece as disciplinas de conforto como sendo de tecnologia, e não projetuais, permitindo assim uma relação aluno/professor muito maior do que a possível para a prática projetual (VIANNA, 2001). Concomitantemente está a limitação de carga horária destinada às disciplinas de conforto ambiental nos cursos de Arquitetura Urbanismo brasileiros. Em um levantamento realizado junto a 26 faculdades de arquitetura brasileiras, o autor constatou que 36% delas trabalham com uma carga inferior à considerada mínima. Com esses obstáculos, a assistência a exercícios projetuais (principalmente individuais) é dificultada.

As limitações evidenciadas caracterizam um modelo didático-pedagógico que não contempla a integração entre teoria e prática do conforto ambiental e sua aplicabilidade no processo projetual. Por conta disso, Mavromatidis (2018) constata que os alunos de cursos de arquitetura se tornam desmotivados para investir tempo e esforço na aplicação desses conceitos em seus projetos arquitetônicos. O autor evidencia também que novas ferramentas

e métodos pedagógicos são necessários para minimizar essa lacuna entre sustentabilidade ambiental e o projeto arquitetônico.

Alunos de cursos de Arquitetura e Urbanismo geralmente possuem habilidades visuais; assim, a compreensão dos conceitos poderia ser facilitada por meio da exploração de métodos qualitativos, que permitissem a melhor visualização do fenômeno investigado, ao invés do uso de métodos quantitativos, de uso comum nas disciplinas de conforto (SARAMAGO; BORTOLI, 2012). Nessa linha, a aula tradicional, totalmente teórica, deveria ser substituída por um modelo de ensino que tenha como embasamento a busca pela habilidade de síntese arquitetônica por parte dos alunos, a busca do equilíbrio entre teoria e prática, a prática como processo didático, e a relação pedagógica professor-aluno como parte fundamental para o processo de ensino e aprendizado (VIANNA, 2001).

Neste sentido, as metodologias ativas de ensino podem se tornar instrumentos determinantes. Dentre uma vasta gama de possibilidades, esta pesquisa se volta para a metodologia da sala de aula invertida³ (*flipped classroom*), a qual consiste em uma inversão do modelo tradicional de ensino. Nessa metodologia, desenvolvida e disseminada por Bergmann e Sams (2012, 2016), ao contrário do que acontece no modelo tradicional, os alunos estudam o conteúdo da disciplina fora da sala de aula, geralmente por videoaulas gravadas pelo professor, com total controle sobre o seu ritmo de estudo, dando espaço para o desenvolvimento, em sala de aula, de atividades práticas que desenvolvam habilidades de raciocínio mais complexas (SUHR, 2016).

Este artigo relata uma experiência realizada como pesquisa de mestrado, a qual propõe o planejamento, aplicação e avaliação de uma estratégia de ensino, baseada na sala de aula invertida, que estimule a integração da arquitetura bioclimática com o processo projetual. O recorte aqui apresentado tem por objetivo avaliar a sistematização proposta para a representação gráfica da geometria da insolação no contexto do processo projetual, para sua apropriação mais intrínseca na síntese arquitetônica. A geometria da insolação foi enfatizada pelo fato de se dispor de métodos mais precisos em comparação a outras variáveis, como a ventilação natural, por exemplo (CHVATAL, 1998). Além disso, estudos revelam que até 40% do consumo energético com climatização das edificações é decorrente dos ganhos de calor por radiação solar pelas aberturas, e que o correto planejamento de proteções solares pode reduzir a demanda para resfriamento artificial anual em até 38%, principalmente quando essa radiação é bloqueada antes de atingir o vidro (CHO; YOO; KIM, 2014). Isso evidencia a necessidade de se considerar o planejamento de proteções solares externas como parte integrada do processo projetual.

2. Método

A presente pesquisa usa um estudo de caso para testar a efetividade da sistematização proposta para a representação gráfica da geometria na insolação no processo de ensino-aprendizagem do projeto de sombreamento de edificações. A estratégia de ensino tem enfoque nas fases iniciais do processo projetual (programação, esboço e desenvolvimento/anteprojeto), uma vez que, muito antes de se verificar e especificar os detalhes da envoltória, deve-se explorar totalmente as possibilidades tipológicas da edificação em relação às exigências do ambiente natural em que se insere (BONI, 1997). De fato, o ponto

³ Termo utilizado por Afonso Celso da Cunha Serra em sua tradução para o livro de Bergmann e Sams (2012, 2016) e adotado por Pavanelo e Lima (2017), Suhr (2016), Oliveira (2016), Lemos e Perl (2015), Valente (2014), Trevelin, Pereira e Neto (2013), entre outros.

crítico das tomadas de decisão voltadas ao desempenho térmico e energético das edificações está na transição entre a fase de programa e a fase de esboço (BALCOMB; CURTNER, 2000), sendo necessário dar a devida relevância aos parâmetros geométricos: forma, volume, orientação, distribuição dos espaços, parâmetros de dimensionamento, e localização de aberturas (KOWALTOWSKI e LABAKI, 1993).

Considerando o pressuposto já comprovado de que a sala de aula invertida proporciona resultados eficientes (BERGFJORD; HEGGERNES, 2016; TREVELIN; PEREIRA; NETO, 2013), mas, ao mesmo tempo, a atual escassez de investigações sobre o uso dessa metodologia para o ensino do conforto ambiental no contexto do processo projetual, esta pesquisa não assume um caráter experimental, mas sim exploratório e correlacional, mais precisamente de estudo de relação. Assim, não foi feita a comparação entre um grupo de experimento e um grupo de controle, mas sim uma investigação correlacional intrínseca ao processo de ensino-aprendizagem estudado, dentro de um mesmo grupo de alunos. Essa abordagem é particularmente importante em áreas do conhecimento ainda pouco investigadas, uma vez que, nesse caso, o objetivo é compreender a complexidade do fenômeno educativo por meio dos construtos que o integram e explicam (COUTINHO, 2008).

Face ao caráter bastante visual e metódico do conteúdo, a mídia escolhida para os estudos extraclasse foi o vídeo, bastante recomendado por Bergmann e Sams (2012, 2016) como instrumento didático para a sala de aula invertida. Os vídeos, constituídos por captura de tela e de áudio, foram gravados pelo próprio professor, de modo a se estabelecer uma conexão mais efetiva com os alunos e, ao mesmo tempo, garantir o controle do dinamismo e estrutura do conteúdo, em paralelo às atividades a serem desenvolvidas em sala de aula. Eles foram hospedados na plataforma de vídeos online YouTube (disponível em: <https://www.youtube.com/channel/UCg5mGgls4HtJ8fzv-86QKg>) e disponibilizados na plataforma online Moodle da instituição coparticipante, juntamente com exercícios de fixação referentes aos conteúdos e um fórum aberto para discussões sobre dúvidas e observações. As videoaulas foram estruturadas em dez módulos, com ordem crescente de complexidade.

2.1. Delineamento

A pesquisa foi desenvolvida numa instituição de ensino privada do interior do estado de São Paulo, coparticipante da proposta. A estratégia de ensino foi aplicada aos 35 alunos do 6º semestre do curso de Arquitetura e Urbanismo, na disciplina “Conforto Ambiental”, ministrada pelo primeiro autor deste artigo no primeiro bimestre do segundo semestre letivo de 2018 (5 dias com 3 horas/aula cada, desconsiderando as primeiras aulas preparatórias, um feriado e a aplicação da prova bimestral e dos demais instrumentos de avaliação). Durante esse período os alunos assistiram às videoaulas sobre o conteúdo da disciplina fora da sala de aula, e realizaram as atividades projetuais propostas em sala de aula, seguindo os preceitos da metodologia ativa da sala de aula invertida.

Para o desenvolvimento das atividades projetuais em sala de aula, os alunos foram divididos em sete grupos de cinco integrantes, com os quais trabalharam até o fim do bimestre. Essa divisão foi feita a critério dos próprios alunos para reduzir o nível de imposição das condições de desenvolvimento das atividades.

Como parte da avaliação dos resultados de aprendizagem dos alunos, foi solicitada a apresentação final do projeto desenvolvido durante a disciplina em forma de painel, como produto de todas as atividades realizadas em sala de aula, evidenciando os processos aplicados, relacionados à arquitetura bioclimática e à geometria da insolação. Considerando todas as particularidades do processo projetual proposto e a necessidade de avaliá-las nos

resultados apresentados pelos alunos, optou-se por avaliar os projetos com base em parâmetros relacionados intrinsecamente às etapas desenvolvidas. Os pesos foram atribuídos com base na pertinência de cada parâmetro e em sua complexidade de aplicação. Os projetos entregues pelos grupos foram então avaliados, com base em suas implantações, plantas, perspectivas (quando apresentadas), detalhamentos e apresentações dos instrumentos utilizados no processo, em uma escala de pontuação ponderada de 0 a 10 em relação a uma série de critérios. Devido ao escopo definido para a disciplina e ao tempo limitado para as atividades em sala de aula, os demais critérios de composição arquitetônica, como conforto acústico, desempenho luminoso, ventilação natural, linguagem arquitetônica, especificações e estudos termofísicos dos materiais não foram considerados.

Para compreender particularidades presentes no processo que possam ter interferido nos resultados de aprendizagem e, em particular, no desempenho dos projetos entregues, foi investigado o contexto pessoal dos alunos, tanto em relação aos seus estilos de aprendizagem, como em relação à sua percepção quanto à estratégia de ensino aplicada. A última investigação foi feita por meio da aplicação de um questionário de 21 questões constituído pelas seguintes categorias de investigação: eficiência da inversão da sala de aula; exequibilidade dos estudos extraclasse; autoavaliação; contribuição dos meios de aprendizagem; contribuições das videoaulas; nível de dificuldade encontrado em cada módulo da disciplina; frequência de visualizações para cada módulo; eficácia das atividades projetuais propostas em sala de aula; e contribuição das ferramentas de auxílio à tomada de decisão utilizadas na disciplina. As quatro últimas categorias foram enfatizadas nesta pesquisa, devido à sua contribuição para a compreensão das particularidades referentes à sistematização proposta para o processo projetual, no contexto da geometria da insolação.

2.2. Ferramentas de Auxílio à Tomada de Decisão no Âmbito Bioclimático

A inclusão de ferramentas de auxílio à tomada de decisão no processo de aprendizagem em cursos de Arquitetura e Urbanismo pode proporcionar maior interesse dos estudantes ao conteúdo abordado, assim como o surgimento de dúvidas sobre sua correta aplicação; além disso, a ação colaborativa entre os estudantes também é estimulada, uma vez que estes passam a auxiliar uns aos outros durante a realização das atividades práticas (SARAMAGO; BORTOLI, 2012). Shaviv (1999) classifica essas ferramentas em duas categorias principais:

- Ferramentas geradoras, que auxiliam nas definições geométricas: geralmente requerem poucos dados de entrada, sendo bastante úteis nas fases de análise dos contextos de projeto e definição de regras e restrições, assim como nas fases de síntese do projeto (buscas de soluções).
- Ferramentas de análise de desempenho (*Building Performance Analysis – BPAs*), como programas de simulação computacional: geralmente requerem muitos dados de entrada, e acabam sendo úteis principalmente para a avaliação quantitativa de desempenho das soluções adotadas (REINHART et al., 2012). Para que BPAs possam ser utilizadas como auxiliaadoras 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).

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

decisão, em todas as suas fases (JIN et al., 2019). Apesar disso, a utilização dessa tecnologia integrada ainda requer um conhecimento prévio de 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) aponta como principais problemas da inclusão de BPAs no ensino de conforto ambiental a dificuldade de montar um ateliê informatizado e o longo tempo dispendido no aprendizado das ferramentas.

Por outro lado, as ferramentas geradoras podem ser facilmente incluídas nas buscas de soluções (fases de síntese) e, ao mesmo tempo, contribuir ao processo de aprendizagem dos alunos, uma vez que apresentam interfaces amigáveis e, naturalmente, se direcionam às etapas iniciais do projeto, concentrando-se principalmente em suas definições geométricas (SHAVIV, 1999). No entanto, em um levantamento preliminar sobre as ferramentas geradoras desenvolvidas pelos principais laboratórios de conforto ambiental brasileiros e internacionais, foi possível constatar que estas ou se limitam apenas ao ensino e demonstração de conceitos específicos, ou realizam tarefas restritas (como as presentes no blog de MARSH, 2019), o que dificulta sua utilização simultânea para o processo de aprendizagem e para o processo projetual como um todo. Assim, conclui-se que, para a sua utilização no processo projetual em paralelo ao processo de aprendizagem, as ferramentas geradoras precisam ser utilizadas em conjunto e estruturadas por um método bem definido.

Considerando os pressupostos levantados acima e a limitação de recursos (tempo e ferramentas), faticamente enfrentada por muitos cursos de arquitetura brasileiros (VIANNA, 2001), a definição de ferramentas a serem utilizados pela estratégia de ensino proposta se pautou nos seguintes critérios: optou-se por não utilizar ferramentas de análise de desempenho, considerando o tempo necessário para que os alunos adquiram proficiência suficiente para a sua efetiva utilização no processo projetual (BONDARS, 2013; DELBIN, 2006); para a otimização do tempo dedicado às atividades projetuais em sala de aula, que deveria ocorrer paralelamente ao aprendizado dos alunos, optou-se por ferramentas geradoras que pudessem ser utilizadas tanto no âmbito didático quanto no âmbito instrumental; pelo fato de esta ter sido a primeira vez em que a disciplina foi ministrada na instituição coparticipante, foi necessário lidar com a inexistência de um laboratório de conforto ambiental dotado de ferramentas de experimento físico; da mesma forma, a inexistência de recursos para adquirir licenças pagas de programas computacionais condicionou a escolha de ferramentas gratuitas, ou já possuídas pelos alunos.

Assim, no presente contexto, foram empregadas, para os estudos de sombreamento, as seguintes ferramentas geradoras (Figura 1):

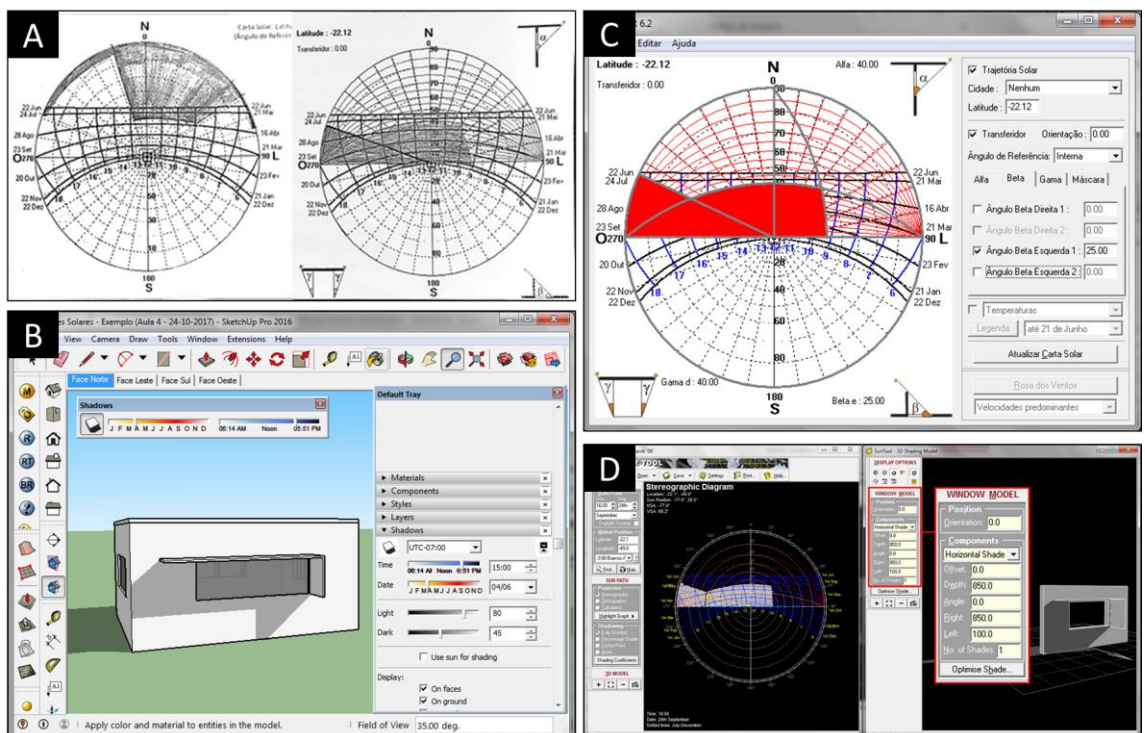
- Carta de trajetórias solares (ou, simplificada, carta solar) em projeção estereográfica e impressa: a ferramenta gráfica mais antiga para auxílio à representação de dispositivos de sombreamento, foi usada neste trabalho na projeção estereográfica, a mais difundida. Seu uso é explicado por Bittencourt (2004) para a representação de planos horizontais ou verticais. A representação de planos trapezoidais ou inclinados em relação à fachada requer conhecimentos mais avançados de geometria, conforme exemplos mostrados por Silva e Malato (1969).
- Programa SunTool (MARSH, 2001), versão não licenciada: utilizado como ferramenta de auxílio à compreensão da geometria da insolação, da modelagem tridimensional de elementos de sombreamento de aberturas e de barreiras do entorno edificado, assim como de suas respectivas representações na carta solar (OLIVEIRA; MACEDO, 2005). O programa possibilita a abertura de duas janelas de trabalho, uma com uma carta solar em duas possíveis representações (estereográfica ou ortográfica) e outra com um modelo tridimensional de uma

parede com uma abertura. Lâminas de sombreamento horizontais e/ou verticais podem ser dispostas ao redor da abertura; além disso, até 8 obstáculos tridimensionais de sombreamento podem ser arranjados ao redor da parede, simulando um entorno urbano. As informações da janela de modelagem (máscaras de sombreamento total, parcial ou no centro da abertura) são lançadas direta e simultaneamente na carta solar. O programa também possibilita a movimentação do sol ao longo de suas trajetórias através de cursor ou mouse nas duas janelas.

- Programa Analysis Sol-Ar (LabEEE, 2009), utilizado para a obtenção das cartas solares para as latitudes específicas e desenho das máscaras de sombra obtidas, tanto pelas influências de sombra das barreiras do entorno edificado, quanto pelas proteções projetadas. A entrada de dados se dá pela definição numérica dos ângulos limitadores. Para algumas cidades cadastradas é possível lançar a evolução das temperaturas do ar horárias sobre a área de trajetória do sol, identificando os horários críticos de sombreamento. O programa foi utilizado com objetivos semelhantes ao desta pesquisa por Saramago e Bortoli (2012).

Além das mencionadas acima, também foram elencadas ferramentas de uso geral de conhecimento dos alunos, como os programas computacionais AutoCAD, SketchUp, e Microsoft Excel. O SketchUp foi utilizado, com objetivos semelhantes, por Vilela, Zancaneli e Lima (2015).

Figura 1: Ferramentas de auxílio à compreensão da geometria da insolação utilizadas no processo – (A) cartas solares impressas; (B) interface do programa SketchUP; (C) interface do programa Analysis Sol-Ar; (D) interface do programa SunTool

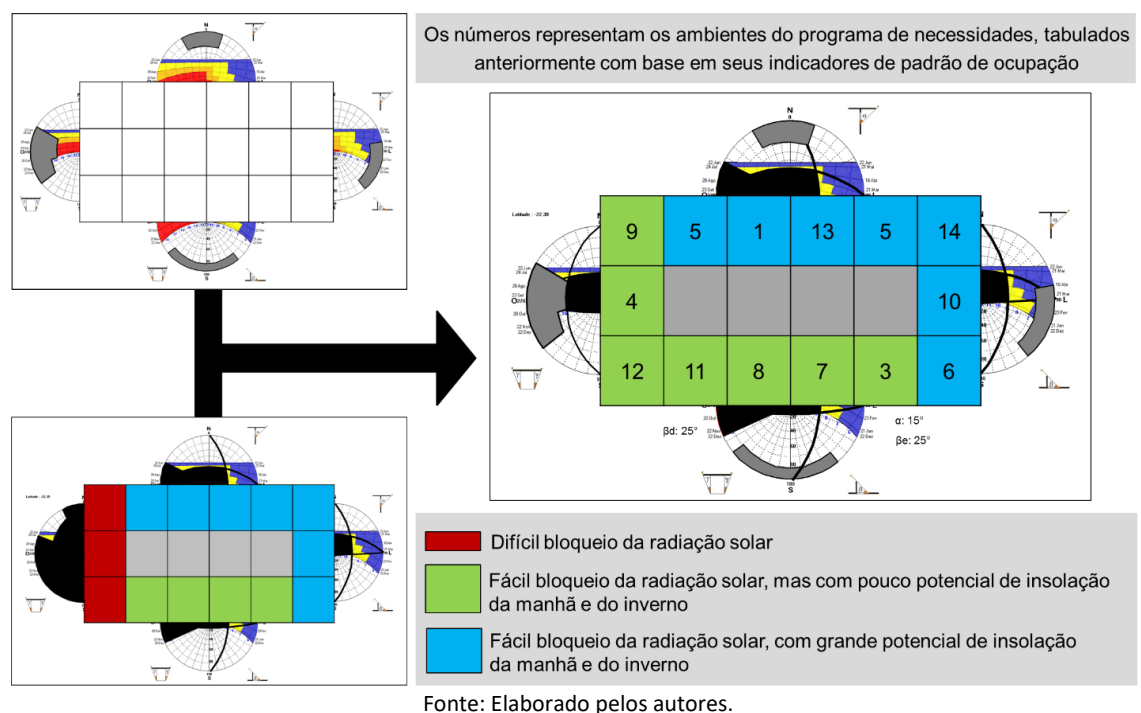


Fonte: Elaborado pelos autores.

Para se evitar a utilização de esquemas equivocados e não realistas, foi necessária a estruturação de um método que utilizasse as ferramentas geradoras como instrumentos para

a produção de conexões gráficas pragmáticas entre as fases de projeto, considerando a ênfase bioclimática e para a geometria da insolação. Baseou-se na experiência relatada por Boni (1997), na qual o autor utilizou cartas solares associadas a diagramas com códigos de cores como ferramentas didáticas e instrumentais em todas as fases de projeto realizadas pelos alunos, desde a organização funcional dos ambientes, até o dimensionamento exato das proteções solares. Segundo o autor, passou-se a explorar a geometria da insolação como linguagem analítica no processo projetual, em detrimento a processos meramente matemáticos e desassociados. Estruturação semelhante também foi utilizada por Oliveira e Macedo (2005), mas, nesse caso, com o uso do programa ECOTECT (descontinuado em 2015). Na presente pesquisa, foi empregado um processo análogo, porém híbrido dos dois esquemas, utilizando os diagramas com códigos de cores em paralelo à instrumentalização das ferramentas geradoras acima selecionadas, através de um método sistematizado, descrito no item a seguir e apresentado, em síntese, na Figura 2.

Figura 2: Esquematisação do mapeamento bioclimático como síntese das etapas de análise anteriores



2.3. Fases do Desenvolvimento do Projeto

Segundo Lawson (2011), para cada fase do processo de projeto existe uma sequência de decisões a serem tomadas, constituídas pelos processos cognitivos de análise, síntese e avaliação:

- No processo de análise, é feito o ordenamento e a estruturação do problema de projeto, determinando restrições e requisitos a serem supridos posteriormente.
- No processo de síntese, são tomadas as decisões de projeto como resposta aos problemas levantados anteriormente.

- No processo de avaliação, é feita a crítica das soluções tomadas, em relação às metas, restrições e requisitos identificados na fase de análise, de modo que estas possam ser validadas, repensadas, ou conduzidas como critérios prioritários a serem resolvidos na próxima etapa de projeto.

Os 3 processos cognitivos se repetem na transição entre as etapas de projeto (programa, esboço, desenvolvimento/anteprojeto e detalhamento) e, assim, acabam inerentemente existindo como ponte entre problema e solução em cada uma dessas etapas (ANDRADE; RUSCHEL; MOREIRA, 2011). Diante da grande quantidade de variáveis técnicas, econômicas, funcionais, estéticas, culturais e sociais que abrangem o projeto de arquitetura, os métodos de projeto foram desenvolvidos para estruturar e decompor o problema em partes manipuláveis, aumentando assim o controle do processo e facilitando o surgimento das soluções. No caso desta pesquisa, foram utilizados o método baseado em regras e o método baseado em precedentes (ANDRADE; RUSCHEL; MOREIRA, 2011).

O método baseado em regras foi utilizado no âmbito das relações ambientais, sintetizando as regras de caráter bioclimático em um esquema gráfico de fácil interpretação, capaz de nortear o processo de síntese projetual em somatória ao repertório anterior. Elas serviram de norteadoras para o processo projetual, mas não limitadoras para ele, garantindo apenas uma linha de raciocínio mais consciente e não baseada na tentativa e erro (KOWALTOWSKI; BIANCHI; PETRECHE, 2011).

Devido à carga horária limitada destinada à disciplina do estudo de caso, o método baseado em precedentes foi selecionado por estimular a busca de referências em experiências projetuais anteriores (ANDRADE; RUSCHEL; MOREIRA, 2011), de modo que os exercícios criativos em sala de aula pudessem se concentrar prioritariamente nos aspectos bioclimáticos. Neste sentido, foi importante que o programa arquitetônico escolhido já tivesse sido explorado pelos alunos em disciplinas passadas, de modo que os parâmetros funcionais, volumétricos e estéticos, já desenvolvidos anteriormente, pudessem ser resgatados para o processo projetual. Assim, o programa escolhido para o desenvolvimento das atividades projetuais foi o escolar, desenvolvido pela turma anteriormente em outras disciplinas. Além disso, tal programa possui grande variabilidade de padrões de ocupação, permitindo maior complexidade para a aplicação do método baseado em regras no âmbito das relações ambientais. Foi estipulado um terreno hipotético para a elaboração das atividades, com área suficiente para a composição de uma edificação térrea, e com certa complexidade de influência de sombra dos edifícios do entorno.

Assim, o processo projetual proposto na estratégia de ensino foi estruturado em 9 etapas, conforme a Figura 3 e descrição a seguir. As etapas de 1 a 3 compõem a primeira fase de análise; a 4, a primeira fase de síntese; as 5 e 6, a segunda fase de análise; e de 7 a 9, a segunda fase de síntese, com um processo de avaliação estabelecendo a transição entre as etapas 8 e 9.

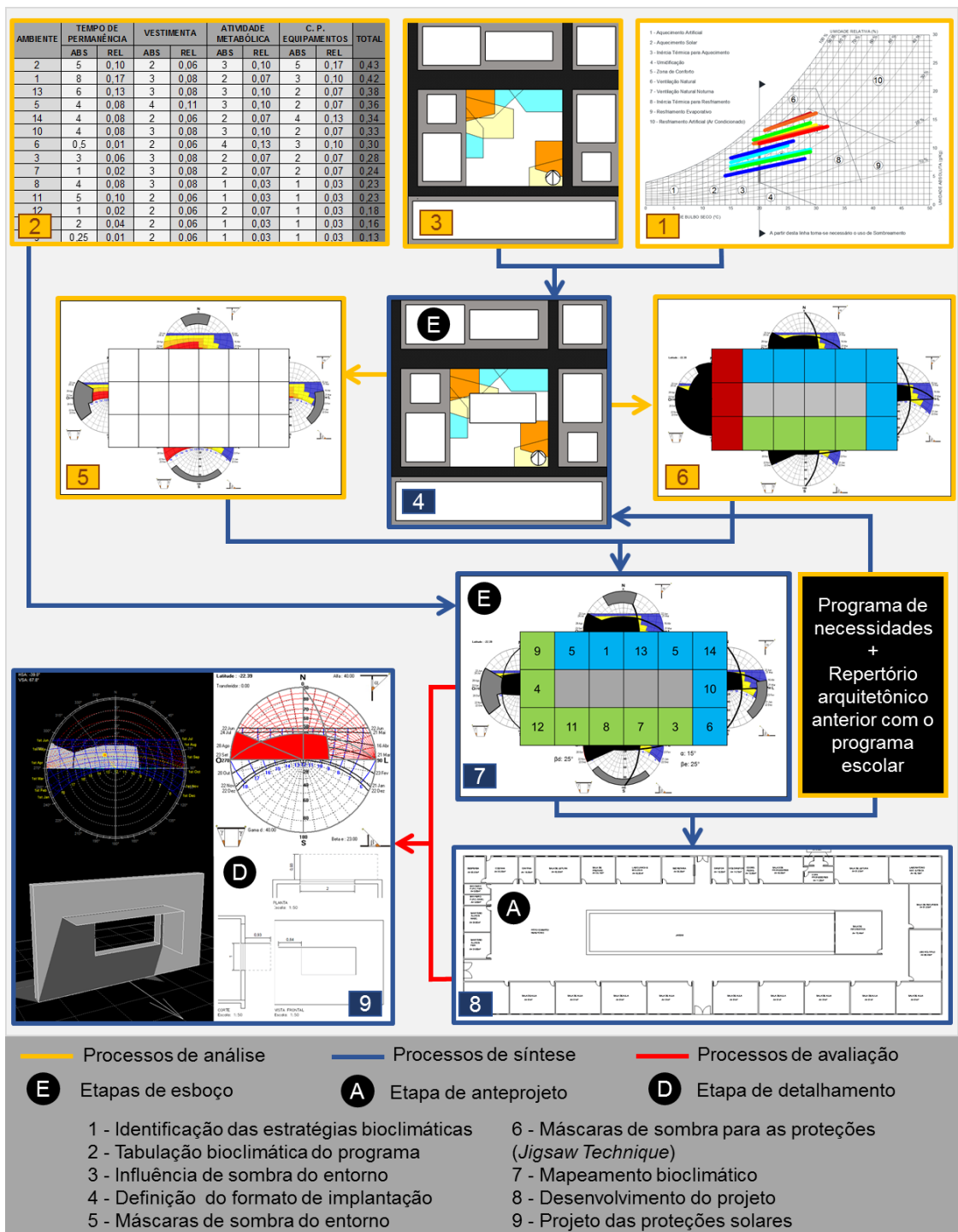
1. Identificação das estratégias bioclimáticas ideais para a cidade: os alunos deveriam identificar os dados climáticos mensais para a cidade a partir de um arquivo de ano típico de referência (TRY) e aplica-los na carta psicométrica com o *Diagrama de Givoni*, por meio da metodologia apresentada por Lamberts, Dutra e Pereira (2005). Assim, puderam identificar as estratégias bioclimáticas mais recomendadas para cada mês do ano e, inclusive, visualizar qual a pertinência do sombreamento dentre essas estratégias.
2. Tabulação bioclimática do programa de necessidades: utilizando o programa computacional Microsoft Excel, o docente elaborou uma planilha na qual os alunos

punderam 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. A planilha foi elaborada com cálculos automáticos para a normalização dos dados inseridos, assim como cálculos de média aritmética dos dados normalizados, 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 Microsoft Excel), de modo que fosse possível visualizar, comparativamente, quais ambientes exigiriam maior atenção e quais exigiriam menor atenção em relação ao desempenho térmico de sua composição arquitetônica. Evidencia-se que essa planilha foi elaborada para situações de climas predominantemente quentes, como o da cidade onde foi realizada a experiência. Em caso de climas predominantemente frios, seria necessária uma abordagem diferente.

3. Estudo de influência de sombra do entorno edificado: realizado com as ferramentas de sombra do 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. Apesar da familiaridade dos alunos na modelagem pelo programa, foi necessário ensiná-los sobre as ferramentas de inserção de latitude e do norte, e de estudos de sombra, o que indica que a ferramenta não era utilizada corretamente para os estudos de geometria da insolação.
4. Definição do formato de implantação (etapa de esboço): 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.
5. 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, com base nos procedimentos apresentados por Bittencourt (2004). 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.
6. 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. Para isso, utilizaram como ferramentas o SunTool, o Analysis Sol-Ar, e as cartas solares impressas. Considerando que todos os grupos decidiram trabalhar com implantações alinhadas em relação ao norte, provavelmente por recomendação das próprias videoaulas, o escopo limitado (faces norte, sul, leste e oeste, para todos os grupos) permitiu a aplicação da *jigsaw technique*. Nessa técnica de aprendizagem cooperativa, cada aluno dos “grupos base” (grupos de origem) é selecionado para integrar 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 (FATARELI et al., 2010).

Figura 3: Síntese do processo projetual proposto



Fonte: Elaborado pelos autores.

7. Mapeamento bioclimático no formato de implantação (esboço): 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 aos alunos que 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 (Figura 2). Esse instrumento norteador seria utilizado como regra a ser almejada nas próximas etapas projetuais, servindo como meio de registro e elo entre as fases do ciclo de decisão (ANDRADE; RUSCHEL; MOREIRA, 2011).
8. Desenvolvimento do projeto (anteprojeto): como síntese das informações contidas no programa de necessidades (setores e dimensões), do repertório arquitetônico anterior com o programa arquitetônico, e do mapeamento bioclimático no formato de implantação, 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 resultariam em uma revisão do anteprojeto e/ou na definição das proteções solares a serem projetadas na próxima etapa (detalhamento).
9. 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, eles puderam utilizar as ferramentas SunTool, Analysis Sol-Ar, cartas solares impressas, SketchUp e AutoCAD para criar as melhores composições possíveis.

3. Resultados e Discussões

A Tabela 1 apresenta uma síntese da avaliação dos projetos entregues. Os critérios preenchidos como “NA” representam aqueles que não foram avaliados, por não terem sido apresentados, ou apresentados de forma ilegível. Como resultado, dos sete grupos, apenas três apresentaram um desempenho considerado satisfatório (pontuação acima de 7,0). O gráfico da Figura 4 apresenta os mesmos dados da Tabela 1 organizados em relação aos valores normalizados das somas dos critérios avaliados nos projetos.

Primeiramente, observou-se que os alunos que atingiram melhores resultados de aprendizagem e, ao mesmo tempo, obtiveram bom desempenho nos projetos entregues,

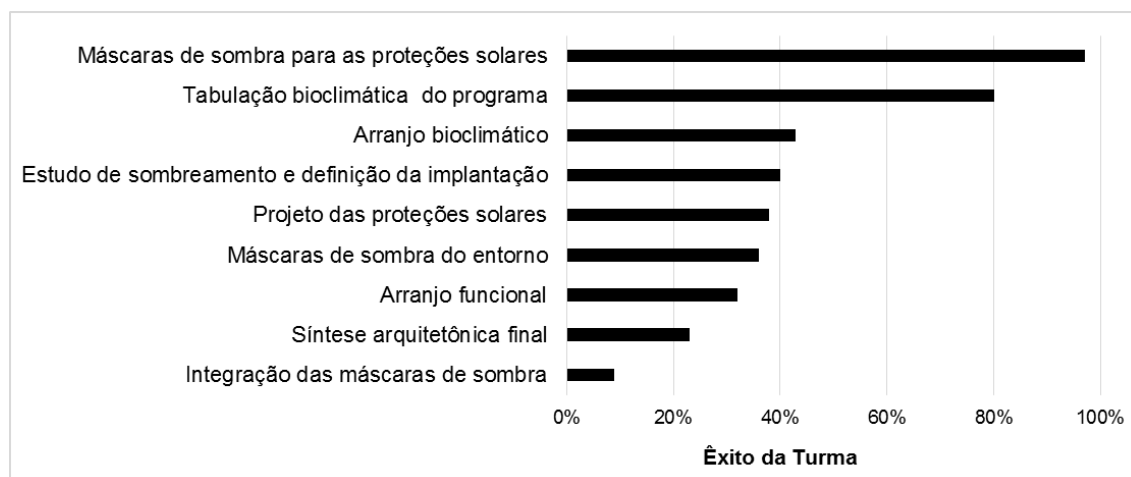
precisaram assistir às videoaulas com menor frequência, o que significa que, nesses casos, elas foram utilizadas como instrumento de preparação para as atividades a serem realizadas em sala de aula. Por outro lado, os alunos que obtiveram bons resultados de aprendizagem, mas, ao mesmo tempo, desempenho insatisfatório nos projetos entregues, precisaram, em sua maioria, assisti-las por mais vezes, o que sugere que, nesses casos, as videoaulas foram utilizadas como instrumento remediador. Essa importante constatação indica que a adequada preparação para as aulas e a aplicação rigorosa nas atividades projetuais desenvolvidas em sala de aula, além de possibilitarem que os alunos alcançassem maiores níveis cognitivos e de abstração, resultaram em menores demandas de tempo para os estudos extraclasse.

Tabela 1: Síntese da avaliação dos projetos entregues

CRITÉRIO	GRUPO							
	PESO	1	2	3	4	5	6	7
Estudo de sombreamento do entorno e definição do formato de implantação	1,0	0,3	0,5	1,0	0,3	NA	0,7	0,0
Tabulação bioclimática do programa	1,0	0,3	1,0	1,0	0,3	1,0	1,0	1,0
Máscaras de sombra do entorno	1,0	0,3	0,5	NA	0,9	NA	0,6	0,2
Máscaras de sombra para as proteções solares	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8
Integração das máscaras de sombra	0,5	0,3	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Arranjo bioclimático	1,5	NA	1,5	1,5	NA	NA	1,5	NA
Arranjo funcional	1,5	NA	0,8	1,3	NA	NA	1,3	NA
Projeto das proteções solares	1,5	0,3	1,2	0,7	NA	0,5	1,3	NA
Síntese arquitetônica final	1,0	NA	0,5	0,5	NA	NA	0,6	NA
		2,5	7,0	7,0	2,5	2,5	8,0	2,0

Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 4: Médias de alcance dos critérios avaliados nos projetos



Fonte: Elaborado pelos autores.

A Figura 4 mostra que, de uma maneira geral, os alunos apresentaram bom desempenho na aplicação dos conceitos nos processos de análise (máscaras do que é necessário sombrear e necessidades do programa), mas apresentaram dificuldades em transpor essas análises em soluções projetuais, nos processos de síntese (demais critérios analisados, com exceção das máscaras de sombra do entorno, que também se caracterizam por um processo de análise).

Mesmo os melhores projetos no quesito bioclimático apresentaram baixos níveis de desenvolvimento volumétrico, com implantações retangulares ou quadradas e proteções inseridas individualmente nas aberturas, e não como expressão volumétrica ou de desenho de fachada. Isso indica uma dificuldade de transposição da leitura das cartas solares para a síntese de projeto, inicialmente porque é muito difícil lançar na projeção estereográfica planos que não sejam horizontais ou verticais e, em segundo lugar, porque as informações da carta solar são angulares, enquanto as das interfaces de desenvolvimento de projeto (do lápis e papel aos programas computacionais) são predominantemente lineares. O resultado são soluções bastante simples, de abas horizontais e/ou verticais ao redor das aberturas.

Em paralelo, verifica-se que usar o método baseado em precedentes relacionado ao repertório projetual anterior do aluno pode não ter sido a melhor alternativa, uma vez que não se garante que o professor anterior tenha assumido uma preocupação significativa com os aspectos bioclimáticos, mesmo que simplificados, ou até mesmo com os aspectos funcionais. Isso sugere a necessidade de se utilizar este método com uma abordagem diferente, por meio da análise de projetos correlatos que tenham alcançado, simultaneamente, altos desempenhos bioclimáticos, funcionais e de abstração volumétrica.

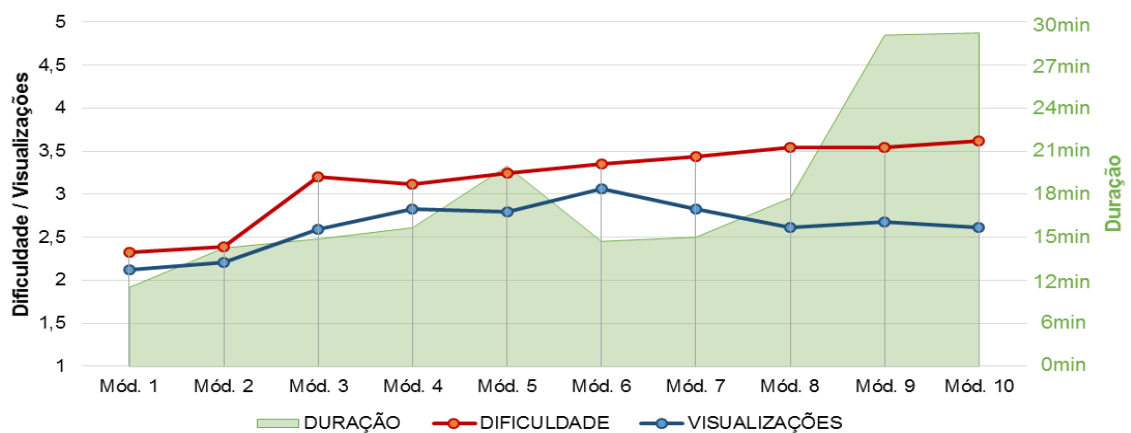
Todos os grupos apresentaram altos desempenhos nos estudos de máscaras de sombra para as proteções solares (processo de análise). Entretanto, como não houve integração dessas máscaras com as do entorno, é possível que os alunos tenham se apoiado nos resultados dos estudos cooperativos, ao não adaptá-los às suas realidades de projeto. Assim, apesar da *jigsaw technique* ter se mostrado um instrumento determinante para o compartilhamento de conhecimentos e dificuldades entre os alunos, sem que as atividades projetuais precisassem ser interrompidas, foi possível constatar que boa parte deles não adquiriu total domínio sobre esses estudos, o que foi corroborado pelo fato de que as pontuações de eficácia atribuídas para essa atividade foram diretamente proporcionais aos seus resultados de aprendizagem (notas somativas). Dessa forma, as máscaras de sombra muito bem executadas, presentes mesmo nos projetos com menores desempenhos, podem ter sido introduzidas nos projetos de forma mecânica, e não consciente.

Dentre os critérios referentes aos processos de análise, o único mal desenvolvido foi o traçado das máscaras de sombra do entorno edificado. Observou-se que a frequência de visualizações das videoaulas acompanhou a dificuldade atribuída para elas até o módulo 6 (máscaras de sombra para o entorno edificado), divergindo a partir dele (Figura 5), o que indica que esse módulo foi um ponto chave para a dualidade “desinteresse em assistir” e “dificuldade enfrentada”, identificada nos próximos módulos. Assim, constatou-se que, provavelmente, o nível de abstração exigido pela atividade equivalente a este módulo, uma das mais negligenciadas nos projetos entregues, tenha sido maior do que o exigido pelas próximas, o que sugere que ela tenha sido inserida prematuramente na sistematização proposta para o processo projetual.

Pelo olhar dos alunos (Figura 6), os programas computacionais SunTool e o Sol-Ar são as ferramentas que ofereceram menor contribuição ao projeto e à aprendizagem, enquanto as cartas solares impressas e o SketchUp seguem como as que geraram maiores contribuições.

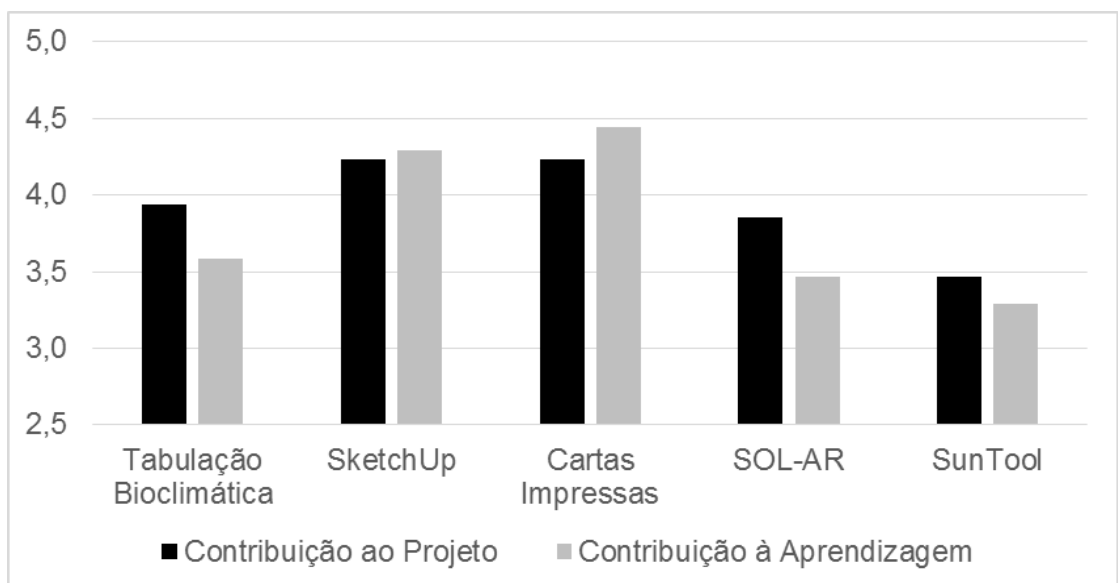
A maior contribuição das cartas solares impressas pode ser atribuída à sua maior flexibilidade de manuseio e maior possibilidade de envolvimento pessoal, principalmente na elaboração de máscaras de sombra do entorno edificado, que exigem a inserção de uma grande quantidade de ângulos limitadores ao mesmo tempo. Segundo os relatos de alguns alunos, essa ferramenta também se mostrou importante para aqueles que não possuem notebook, considerando a ausência de um laboratório de informática disponível para esse fim.

Figura 5: Relação entre a duração e as médias de dificuldade e de frequência de visualizações para cada módulo da disciplina



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 6: Médias das avaliações dos alunos quanto às contribuições das ferramentas utilizadas



Fonte: Elaborado pelos autores.

A alta contribuição do SketchUp se deve à facilidade de modelagem que o programa oferece e, ao mesmo tempo, à possibilidade de visualizar mais nitidamente as projeções de sombra de acordo com o período de estudo, contribuindo para a definição de formatos de

implantação relacionados com as sombras produzidas pelo entorno, assim como para a confirmação de desempenho das proteções projetadas. No entanto, a ferramenta não proporciona contribuições para a compreensão integrada entre relação física (representações em perspectiva) e projeção estereográfica nas cartas solares, o que leva ao dimensionamento de dispositivos de sombreamento por tentativa e erro.

Apesar de não contribuir significativamente para o processo de aprendizagem, a tabulação bioclimática se mostrou essencial como ferramenta de auxílio para a associação entre os indicadores de conforto térmico presentes no programa arquitetônico e as etapas seguintes de projeto.

O Analysis Sol-Ar foi bem utilizado para a elaboração das máscaras de sombra para as proteções solares, se mostrando bastante útil como ferramenta auxiliadora à aprendizagem e ao processo projetual, principalmente devido à sua precisão na definição de máscaras de sombra com o uso dos ângulos limitadores. No entanto, sua avaliação relativamente baixa na média geral pode ser atribuída à possibilidade limitada de inserção de ângulos por vez (dois de cada, para cada lado), o que dificulta sua utilização na elaboração de máscaras de sombra para entornos edificados mais complexos.

Curiosamente, o SunTool, cuja interface relaciona direta e simultaneamente as informações de um modelo tridimensional com as da carta solar estereográfica, recebeu a avaliação mais baixa, embora as possibilidades oferecidas por ele não sejam diferentes das de uso das cartas solares (impressas ou via Analysis Sol-Ar). Percebe-se que essa avaliação pode ser atribuída às dificuldades de modelagem apresentadas pelo programa, uma vez que ele não permite a mesma liberdade oferecida pelo SketchUp, por exemplo, devendo as características físicas do modelo ser inseridas por meio de dados numéricos, muitas vezes sem a possibilidade de definição do seu posicionamento (direita ou esquerda). Nesse caso, pode ter pesado também o pequeno tempo de demonstração em sala de aula e a não incorporação da ferramenta ao material didático das videoaulas.

Em paralelo, observou-se que os grupos que apresentaram estudos de proteções solares pelo SunTool demonstraram pouco ou nenhum domínio sobre os conceitos e procedimentos apontados por Bittencourt (2004). Apesar da simultânea apresentação estereográfica da trajetória solar, o programa também possibilita a definição de elementos de sombreamento por tentativa e erro, caso o aluno não tenha adquirido proficiência sobre a linguagem das cartas solares. Assim, o programa acabou sendo utilizado 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. Somente a partir do total entendimento das informações contidas na carta solar, e não apenas com base nos resultados imediatos, é possível desenvolver soluções mais livres, mas com elevada eficiência de sombreamento.

Em contrapartida, os dois grupos que apresentaram corretamente os detalhes para as proteções solares utilizaram como ferramenta o Analysis Sol-Ar, uma vez que essa só pode ser utilizada em um processo mais consciente no que diz respeito à composição das cartas solares e das máscaras de sombra. No entanto, apesar de corretas, as composições de proteções solares produzidas com o uso restrito dessa ferramenta apresentaram baixos níveis de abstração, considerando a dificuldade de se desenvolver composições mais complexas apenas com base nas projeções estereográficas.

4. Considerações Finais

O presente artigo relata uma experiência de ensino de conforto ambiental (especificamente o recorte de geometria da insolação) no contexto de um curso de Arquitetura e Urbanismo. A abordagem sistematizada de ferramentas geradoras no desenvolvimento de um projeto com ênfase em alternativas de sombreamento possibilitou mapear os pontos positivos e negativos do processo, os quais são sinteticamente expostos a seguir:

- Nos processos de análise, os estudos de máscaras de sombra do entorno edificado exigiram maior grau de abstração do que os estudos de máscaras de sombra das proteções solares, que por serem realizados de forma colaborativa, possibilitaram a troca de conhecimento entre os alunos mais e menos engajados. Assim, sugere-se a inversão da ordem cronológica dessas duas atividades, de modo que os grupos possam se ajudar primeiro em uma atividade menos complexa (máscaras de sombra para as proteções solares), para depois enfrentarem de forma autônoma uma atividade com maior grau de complexidade (máscaras de sombra do entorno edificado).
- Concomitantemente, maior ênfase e carga horária deve ser atribuída à representação estereográfica empregada nas cartas solares para análise das condições de entorno, à sua integração com as propostas de máscaras de sombra para as proteções solares, e à materialização desses estudos integrados no desenvolvimento de elementos de sombreamento que se traduzam em alternativas de projeto arquitetônico mais complexas.
- A limitação do programa Analysis Sol-Ar, no que diz respeito à possibilidade limitada de inserção de ângulos por vez, inviabiliza sua utilização para a produção de máscaras de sombra do entorno edificado, tornando-o mais apropriado para os estudos de máscaras de sombra para as proteções solares. Em contrapartida, as cartas solares impressas apresentam maior flexibilidade de manuseio e maior possibilidade de envolvimento pessoal, o que as torna ideal para os dois processos de análise, individualmente, ou de forma integrada.
- Todas as ferramentas de representação da geometria da insolação que usam restritamente a projeção estereográfica apresentam inerentemente dificuldades para a planificação de superfícies que não sejam horizontais ou verticais e de planos que não sejam paralelos ou ortogonais à fachada em estudo. Dessa forma, alternativas de sombreamento geradas exclusivamente a partir delas tendem a ser bastante simples, apesar de conscientes. Nesse caso, ferramentas computacionais de representação estereográfica com interfaces gráficas de modelagem tridimensional podem facilitar a inserção e o manuseio de planos mais complexos, desde que, no entanto, permitam uma modelagem flexível, e não limitada à inserção de dados numéricos referentes às características físicas do modelo (como no caso do SunTool). Também é importante, nesse caso, que os alunos já possuam proficiência na leitura das cartas solares e das máscaras de sombra.
- Em contrapartida, programas com interface gráfica tridimensional, de uso geral, que garantem modelagens flexíveis, como o SketchUp, não possuem ferramentas de desenvolvimento de elementos de sombreamento satisfatórias, que garantam um processo de projeto mais consciente. Nesse caso, o desenvolvimento desses elementos se dá por tentativa e erro. Eventualmente é possível obter uma boa solução projetual, mas não se parte do princípio físico-estereográfico para tal.

- As ferramentas geradoras para projetos envolvendo geometria da insolação apresentam um tempo de aprendizado relativamente longo num contexto de disciplinas semestrais de graduação. Assim, quando a abordagem da sala de aula invertida é adotada, evidencia-se a necessidade de inclusão de todas as ferramentas selecionadas nas gravações das videoaulas, familiarizando suas interfaces para os alunos antes de submetê-los ao contato com elas durante as aulas práticas.

Referências

ANDRADE, Max L. V. X. de; RUSCHEL, Regina Coeli; MOREIRA, Daniel de Carvalho. O Processo e os Métodos. In: KOWALTOWSKI, Doris C.C.K.; MOREIRA, Daniel de Carvalho; PETRECHE, João R. D.; FABRÍCIO, Márcio M. **O Processo de Projeto em Arquitetura**. Ed. 1. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. Cap. 4, p. 80-99.

BALCOMB, J. Douglas; CURTNER, Adrienne. **Multi-Criteria Decision-Making Process for Buildings**. National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado, 2000. Disponível em: <https://www.nrel.gov/docs/fy00osti/28533.pdf> Acesso: Setembro de 2019.

BERGFJORD, Ole Jakob; HEGGERNES, Tarjei. Evaluation of a “Flipped Classroom” Approach in Management Education, in: **Journal of University Teaching & Learning Practice**, v.13, n. 5, 2016, p. 1-13.

BERGMANN, Jonathan; SAMS, Aaron. **Flip Your Classroom: Reach Every Student in Every Class Every Day**. Eugene, Oregon: ISTE, 2012. 104 p.

_____. **Sala de Aula Invertida: Uma Metodologia Ativa de Aprendizagem**. (Tradução: Afonso Celso da Cunha Serra). 1ª ed., Rio de Janeiro: LTC, 2016. 104 p.

BITTENCOURT, Leonardo. **Uso das Cartas Solares: Diretrizes para Arquitetos**. Maceió: EDUFAL, 2004. 109p. (ed. 4 revisada e ampliada).

BITTENCOURT, Leonardo Salazar; TOLEDO, Alexandre Márcio. Ensino de Conforto Ambiental: Mudanças de Enfoque e Metodologia. IV Encontro Nacional de Conforto do Ambiente Construído, **Anais...** Salvador-BA, V. 4, p. 537-541, 1997.

BONDARS, Edgars. Implementing Bioclimatic Design in Sustainable Architectural Practice. **Architecture and Urban Planning**, v. 7, p. 84-86, 2013.

BONI, Fabio. A Formação do Arquiteto e a Área de Conforto Ambiental – a Experiência da UNISINOS. IV Encontro Nacional de Conforto do Ambiente Construído, **Anais...** Salvador-BA, V. 4, p. 598-599, 1997.

CHO, Jinkyun; YOO, Changwoo; KIM, Yundeok. Viability of Exterior Shading Devices for High-Rise Residential Buildings: Case Study for Cooling Energy Saving and Economic Feasibility Analysis. **Energy and Buildings**, V. 82, p. 771-785, out. 2014.

CHVATAL, Karin Maria Soares. **A Prática do Projeto Arquitetônico em Campinas, SP e Diretrizes para o Projeto de Edificações Adequadas ao Clima**. 1998. 173p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas-SP, 1998.

COUTINHO, Clara Pereira. Estudos correlacionais em educação: potencialidades e limitações. **Psicologia Educação e Cultura**, v. 13, n. 1, p. 143-169, 2008.

DELBIN, Simone. **Inserção de Simulação Computacional de Conforto Ambiental de Edifícios em Ensino de Projeto Arquitetônico: Proposta de Metodologia**. 2006. 220p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas-SP, 2006.

FATARELI, Elton Fabrino; FERREIRA, Luciana Nobre Abreu Ferreira; FERREIRA, Jerino Queiroz; QUEIROZ, Salete Linhares. Método Cooperativo de Aprendizagem Jigsaw no Ensino de Cinética Química. **Química Nova na Escola**. V. 32, n. 3, p. 161-168, ago. de 2010.

FREIRE, Márcia Rebouças. Um Olhar Sobre a Abordagem do Conforto Térmico no Ensino de Projeto na FAUFBA. XIV Encontro Nacional de Conforto do Ambiente Construído, **Anais... Balneário Camboriu, SC**, V. 14, p. 701-710, 2017.

JIN, Ruoyu; ZHONG, Botao; MA, Ling; HASHEMI, Arman; DING, Lieyun. Integrating BIM With Building Performance Analysis In Project Life-Cycle. **Automation In Construction**, v. 106, p. 1-11, 2019.

KOWALTOWSKI, Doris C. C. K.; BIANCHI, Giovana; PETRECHE, João R. D. A criatividade no processo de projeto. In: KOWALTOWSKI, Doris C.C.K.; MOREIRA, Daniel de Carvalho; PETRECHE, João R. D.; FABRÍCIO, Márcio M. **O Processo de Projeto em Arquitetura**. Ed. 1. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. Cap. 1, p. 21-54.

KOWALTOWSKI, Doris C. C. K.; LABAKI, Lucila C. O Projeto Arquitetônico e o Conforto Ambiental: Necessidade de uma Metodologia. ENTAC 1993 – V Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, **Anais... São Paulo-SP**, v. 5, p. 785-794, 1993.

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

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo: PW, 2005. 366p.

LAWSON, Bryan. **Como Arquitetos e Designers Pensam**. Tradução de Maria Beatriz Medina. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 295p.

LEMOS, André; PERL, Lara. Comunicação e Tecnologia Uma Experiência de “Sala de Aula Invertida”. **Comunicação & Educação**, ano 20, número 1, 2015, p. 127-139.

MARSH, Andrew John. **Performance Analysis and Conceptual Design**. 1997. 215p. Tese (Doutorado) - School of Architecture and Fine Arts, The University of Western Australia, 1997.

_____. **SUNTOOL v1.10**: Window Shading and Overshadowing. Perth (Australia), 2001.

_____. **Andrew’s blog**. Disponível em <<http://andrewmarsh.com>>. Acesso em: jan. 2019.

MAVROMATIDIS, Lazaros. Coupling Architectural Synthesis to Applied Thermal Engineering, Constructal Thermodynamics and Fractal Analysis: an Original Pedagogic Method to Incorporate “Sustainability” Into Architectural Education During the Initial Conceptual Stages. **Sustainable Cities and Society**, v. 39, p. 689–707, may 2018.

OLIVEIRA, Eliana Maria Pavan. Docência em Direito e a “Sala de aula invertida” como opção metodológica ativa. **Evidência**, Araxá, v. 12, n. 12, 2016, p. 59-77.

OLIVEIRA, Mônica Maria Fernandes de; MACEDO, Ilanna Paula de Oliveira. Uma Metodologia de Ensino de Conforto Ambiental. In: VIII Encontro Nacional de Conforto do Ambiente Construído, **Anais...** Maceió-AL, v. 8, p. 1368-1377, 2005.

PAULA, Kênia Alves de. **Integração do Conforto Ambiental ao Processo de Ensino-Aprendizagem de Projeto Arquitetônico com o Uso de Aplicativos em Dispositivos Móveis**. 2015. 120p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2015.

PAVANELO, Elisângela; LIMA, Renan. Sala de Aula Invertida: A Análise de Uma Experiência na Disciplina de Cálculo I. **Bolema**, Rio Claro (SP), v. 31, n. 58, 2017, p. 739-759.

REINHART, Christoph F.; DOGAN, Timur; IBARRA, Diego; SAMUELSON, Holly Wasilowski. Learning by Playing – Teaching Energy Simulation as a Game. **Journal of Building Performance Simulation**, v. 5, n. 6, p. 359-368, 2012.

SARAMAGO, Rita de Cássia Pereira; BORTOLI, Karen Carrer Ruman de. Aplicação de Simulação Computacional no Ensino de Conforto Ambiental e Eficiência Energética. 2º Colóquio de Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo e Design Brasil-Portugal, **Anais...** Uberlândia-MG, V. 2, p. 209–218, 2014.

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

SILVA, Armando Cavaleiro; MALATO, João José. **Geometria da insolação de edifícios**. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1969 (Informação Técnica – Edifícios, 5).

SUHR, Inge Renate Frose. Desafios no Uso da Sala de Aula Invertida no Ensino Superior. **Revista Transmutare**, Curitiba-PR, v. 1, n. 1, p. 4–21, jan./jun. 2016.

TREVELIN, Ana Teresa Colenci; PEREIRA, Marco Antonio Alves; NETO, José Dutra de Oliveira. A Utilização da “Sala de Aula Invertida” em Cursos Superiores de Tecnologia: Comparação entre o Modelo Tradicional e o Modelo Invertido “Flipped Classroom” Adaptado aos Estilos de Aprendizagem. **Revista de Estilos de Aprendizagem**, v. 11, n. 12, 2013, p. 1-14.

VALENTE, José Armando. Blended Learning e as Mudanças no Ensino Superior: a Proposta da Sala de Aula Invertida. **Educar em Revista**, Curitiba, Brasil, Edição Especial n. 4, 2014, p.79-97.

VIANNA, Nelson Solano. Análise Crítica do Ensino de Conforto Ambiental nas Escolas de Arquitetura. VI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, **Anais...** Brasília-DF, V. 6, p. 1-7, 2001.

VILELA, João Paulo; ZANCANELI, Mariana; LIMA, Fernando. Reflexões Sobre a Simulação Ambiental e BIM: Uma Abordagem Pedagógica em Arquitetura e Urbanismo. SiGraDi, 2015 – XIX Congresso da Sociedade Ibero-Americana de Gráfica Digital, **Anais...** Florianópolis-SC, V. 19, p. 756–760, 2015.