



ANÁLISE CLIMÁTICA APLICADA AO ENSINO DE CONFORTO TÉRMICO NA GRADUAÇÃO

Samantha Campos Paiva Barrozo (1); Eleonora Sad de Assis (2)

(1) graduanda em Arquitetura e Urbanismo, bolsista do PMG do Dep. Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo, samanthac@ufmg.br, UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

(2) D.Sc., Professora do Dep. Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo, elsad@ufmg.br, UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais, Rua Paraíba, 697, Funcionários, Belo Horizonte/MG, 30130.140

RESUMO

A incorporação das estratégias bioclimáticas nos projetos de arquitetura implica na análise de um conjunto de dados complexos, o que demanda a investigação de metodologias integradas para o ensino de conforto térmico, adaptadas ao contexto da graduação. Assim, o objetivo deste artigo é relatar a experiência dos estudantes de graduação, no âmbito da monitoria, durante o desenvolvimento das atividades práticas da disciplina TAU075 – Conforto Térmico e Climatização de Ambientes, ofertada pela Escola de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal de Minas Gerais. O método aplicado consistiu na análise integrada das condições de ventilação natural, insolação e desempenho térmico das envoltórias. Como resultados, os estudantes apresentaram os processos de adequação e aplicação das estratégias bioclimáticas nos projetos autorais.

Palavras-chave: ensino-aprendizagem, zoneamento bioclimático, ventilação natural, cartas solares.

ABSTRACT

The incorporation of bioclimatic strategies in architectural projects implies the analysis of complex data, which demands the development of integrated methodologies for teaching thermal comfort, adapted to the undergraduate context. Thus, this paper aims to report undergraduate students' experience, within the scope of tutoring, during the development of practical activities of the course TAU075, offered by the School of Architecture and Urban Planning, of the Federal University of Minas Gerais. The methodology consisted of the integrated analysis of the conditions of natural ventilation, insolation, and thermal performance of the envelopes. Consequently, students presented adaptation processes and bioclimatic strategies employed in authorial projects.

Keywords: teaching-learning, bio-climatic zoning, natural ventilation, solar chart.

1. INTRODUÇÃO

Os benefícios da incorporação das estratégias bioclimáticas para o conforto ambiental e para a economia de energia podem ser potencializados quando aplicados durante as etapas de projeto. Tais estratégias resultam da interpretação de um conjunto de variáveis climáticas, o que considera a adaptação da arquitetura ao clima e a avaliação do conforto humano (Frota e Schiffer, 2001). Diversos índices adaptativos foram desenvolvidos considerando-se as diferenças climáticas e locais, o que resultou em uma série de recomendações de projeto (Frota e Schiffer, 2001). Dessa forma, pode-se dizer que embora os processos de projeto não sejam lineares, podem ser orientados de forma a se beneficiarem com maior proveito das condições climáticas locais (Assis, 2001).

Contudo, segundo Souza *et al.* (2021), o ensino de conforto ambiental nem sempre ocorre de maneira integrada ao ensino de projeto, o que evidencia lacunas no processo de ensino-aprendizagem. Ainda, os autores perceberam que o interesse dos estudantes em aderirem os métodos para a análise climática em suas práticas cotidianas está associado ao conhecimento das estratégias disponíveis e ao grau de complexidade que envolve o processo de sua aplicação. Neste sentido, é esperado que as metodologias de ensino sejam capazes de traduzir dados complexos para uma realidade, considerando-se fatores como o acesso às ferramentas e às bases de dados, a rapidez das simulações, bem como a confiabilidade e a facilidade de interpretação dos resultados (Souza *et al.*, 2021). Desse modo, a aplicação de um método integrado de análise climática pode contribuir para o ensino-aprendizagem de conforto térmico na graduação, sobretudo no contexto das disciplinas introdutórias. Além disso, estes métodos poderão instigar o aprimoramento dos processos criativos, visto que a adaptação ao clima demanda flexibilidade, assim como repertório arquitetônico e técnico (Assis, 2001).

Diante da aplicação de metodologias integradas para a análise climática, no contexto do ensino-aprendizagem de arquitetura, o presente artigo buscou relatar as experiências dos estudantes que cursaram a disciplina Conforto Térmico e Climatização de Ambientes (TAU075), durante o primeiro e o segundo semestre de 2022. A disciplina, cursada em 30 horas, integra a base curricular da Escola de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Minas Gerais (EAUFMG), e introduz o módulo destinado ao conforto ambiental, subdividido em três semestres (conforto térmico, iluminação natural e artificial, e conforto acústico). A disciplina é regularmente cursada no 3º período, e atende cerca de 40 estudantes por semestre. Além das aulas teóricas, que introduzem a temática e fornecem subsídios para as práticas de projeto, com o objetivo de alcançar o conforto térmico passivo, são propostos ensaios laboratoriais e investigações em campo, de forma a incentivar o trabalho em grupo e o interesse na pesquisa (Teixeira e Assis, 2014).

Para a realização das atividades, são formados grupos de 4 a 5 integrantes, que deverão selecionar um projeto autoral desenvolvido nas disciplinas de projeto, cursadas nos semestres anteriores. Estas atividades são subdivididas em dois trabalhos práticos (TP's). O primeiro (TP1), consiste na análise da ventilação natural, enquanto o segundo (TP2) integra a análise das condições de insolação. No final do semestre, as soluções para as adequações climáticas dos projetos são apresentadas em sala de aula, no formato de seminário.

Assim, como objeto de estudo, os grupos analisaram um núcleo habitacional estudantil, elaborado nas disciplinas de introdução ao projeto arquitetônico. O núcleo habitacional, com cerca de 45 lotes de 120 m², seria implantado em terreno do Campus Universitário da UFMG. As habitações foram concebidas na lógica *tiny house*, que se baseia na construção de pequenas unidades habitacionais e prioriza o uso de materiais sustentáveis. A área construída dos projetos foi limitada a 35 m² e conforme o programa de necessidades, deveria atender a dois estudantes. As Figuras 1 e 2 ilustram o projeto-tipo desenvolvido pelos estudantes no semestre anterior, e a Figura 3 a proposta do conjunto habitacional.



Figura 1 – Planta humanizada do projeto *AquaDomus*, como exemplo de projeto-tipo analisado pelos grupos.



Figura 2 – Corte humanizado do projeto *AquaDomus*.

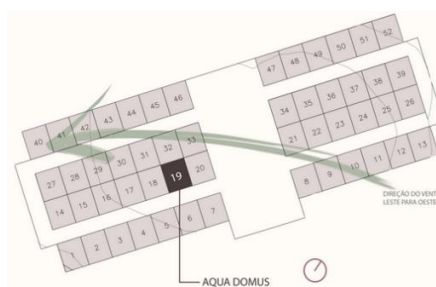


Figura 3 – Representação esquemática do loteamento proposto para o conjunto habitacional, indicando o local de implantação do projeto *AquaDomus* (Grupo Ludgero, Martins e Melquíades).

Fonte: SEMINÁRIO DE CONFORTO TÉRMICO, 2022.

Para isso, na primeira seção do artigo foram abordadas as metodologias empregadas para a análise crítica dos projetos quanto às legislações e às normativas pertinentes, assim como para a avaliação das condições de insolação, ventilação e desempenho das envoltórias. Na sequência, foram abordadas as propostas de adequação de projeto, com base na incorporação das estratégias bioclimáticas. Por fim, foram levantadas as principais potencialidades e os desafios decorrentes da experiência dos discentes, suscitando reflexões acerca das metodologias de ensino-aprendizagem na área de conforto ambiental.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo consiste em relatar a aplicação de um método integrado de análise climática para o ensino-aprendizagem de Conforto Térmico, no contexto da graduação, adotado na disciplina TAU075 da EAUFMG, a partir da experiência das turmas do primeiro e do segundo semestre de 2022.

3. MÉTODO

O método proposto para a realização dos trabalhos práticos consistiu na análise integrada das condições climáticas adaptadas ao projeto de arquitetura, elaborado a partir de modelos empíricos de cálculo, modelos geométricos simplificados, recomendações normativas e ferramentas para simulações computacionais. Para isso, as atividades foram desenvolvidas ao longo de quatro etapas: 1ª. Caracterização do objeto de análise e levantamento dos índices climáticos, visando o conforto térmico passivo; 2ª. Análise das condições de ventilação natural e dimensionamento das aberturas; 3ª. Análise das condições de insolação e projeto dos dispositivos de proteção solar; e 4ª. Análise do desempenho térmico das envoltórias.

3.1. Caracterização do projeto-tipo e levantamento dos índices climáticos para o conforto térmico passivo

A etapa inicial do estudo consistiu no levantamento das informações de projeto, tais como o *briefing* de arquitetura e os desenhos técnicos. Inicialmente, estas informações foram comparadas às exigências da Lei nº 11.181, de 08 de agosto de 2019 (Belo Horizonte, 2019), que dispõe sobre o Uso e Ocupação do Solo em Belo Horizonte (LUOS), e a Lei nº 9.727, de 15 de julho de 2009 (Belo Horizonte, 2009), que contém o Código de Edificações (CE). No caso da LUOS, foram consideradas as exigências de afastamento, os coeficientes de aproveitamento e a taxa de ocupação. Conforme o CE, foram determinadas as dimensões mínimas dos vãos para iluminação e ventilação higiênicas.

Sequencialmente, o índice climático analisado foi o Zoneamento Bioclimático Brasileiro (ZBBR), caracterizado pela NBR 15220 (ABNT, 2005), o qual deriva do Diagrama Bioclimático de Givoni (DBG). A norma subdivide o território em oito zonas com características climáticas semelhantes, e prescreve estratégias de conforto térmico passivo, por meio de recomendações para o dimensionamento e a proteção das aberturas, bem como parâmetros para as envoltórias (ABNT, 2005). Além da consulta direta à norma, os discentes empregaram o *software* ZBBR (UFSCar, 2004) como ferramenta complementar aos estudos. O ZBBR sintetiza as recomendações para a zona bioclimática do município analisado, e fornece a carta psicrométrica correspondente.

Posteriormente, a partir da análise crítica e das eventuais adequações às legislações municipais e à NBR 15220 (ABNT, 2005), os grupos elaboraram modelos físicos simplificados para cada projeto autoral, na escala 1:50. As maquetes foram utilizadas conjuntamente nos ensaios de ventilação e insolação, de forma a reproduzir os conjuntos habitacionais propostos pelas turmas. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Conforto Ambiental da Escola de Arquitetura (LABCON-EAUFMG), conforme descrito nos subitens 3.2 e 3.3.

3.2. Análise das condições de ventilação natural e dimensionamento de aberturas

A análise das condições de ventilação natural foi realizada em cinco etapas: 1ª. Levantamento das Normas Climatológicas (1991-2020), disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET); 2ª. Levantamento das condições de ventilação *in loco*; 3ª. Investigação dos efeitos aerodinâmicos, mediante os ensaios no túnel de vento; 4ª. Simulações das condições de ventilação nos ambientes internos, empregando-se o *software* Fluxovento©; e 5ª. Dimensionamento das aberturas, segundo modelos empíricos de cálculo.

Os dados de velocidade e direção predominante dos ventos, levantados a partir das Normas Climatológicas, foram comparados aos dados aferidos em campo. Para essa finalidade, cada grupo definiu pontos de medição ao longo do terreno de implantação dos conjuntos habitacionais hipotéticos (ver Figura 4).

As velocidades médias para cada ponto foram aferidas empregando-se anemômetros digitais do modelo THAL-300, para horários variados do dia, estipulados pelos grupos, durante os meses de abril e setembro de 2022.

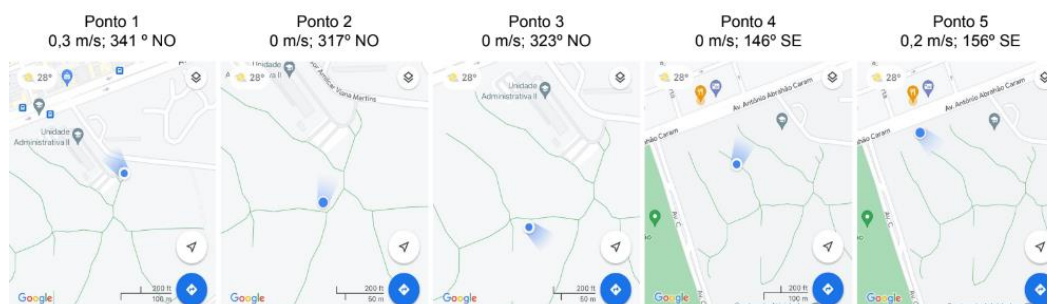


Figura 4 – Marcação dos pontos para medição do vento local, realizada no primeiro semestre de 2022, no Campus da UFMG (Grupo Takaesu, Ferreira, Costa e Oliveira).

Fonte: SEMINÁRIO DE CONFORTO TÉRMICO, 2022.

Na terceira etapa, os grupos realizaram os ensaios no túnel de vento, conforme as direções predominantes, levantadas nas etapas anteriores. Durante os ensaios, a velocidade média dos ventos foi de 1,5 m/s e adotou-se a direção leste como dominante para os ventos em Belo Horizonte. Os efeitos aerodinâmicos foram identificados e registrados pelos estudantes com base nos modelos propostos por Gandemer (1979) e Rivero (1986), *apud* Frota e Schiffer (2001).

Na quarta etapa, utilizou-se o *software* Fluxovento© para a análise das condições internas de ventilação, uma vez que se trata de uma ferramenta aberta e de fácil apreensão gráfica. Para as simulações, os ambientes analisados são representados em planta ou corte, a partir de linhas simples. No primeiro momento, os grupos simularam as condições originais de ventilação, e posteriormente, as adequações propostas.

Na quinta etapa, foram aplicados os métodos empíricos para o cálculo das vazões de conforto, por ação dos ventos (ventilação cruzada), e por diferença de pressão (efeito chaminé). O cálculo das vazões por pressão dos ventos varia em função do sistema de aberturas. No caso das janelas sem obstruções (modelos de correr ou abrir), empregou-se o modelo de Irminger e Nokkentued (Toledo, 1967, *apud* Frota e Schiffer, 2001), e para as janelas com obstruções (modelo balsa) utilizou-se o modelo de Van Straaten (1967), *apud* Mascaró, 1985. Para os casos que recorreram à ventilação por diferença de pressão, adotou-se as equações da termodinâmica, enquanto que para a ventilação por efeito combinado empregou-se o modelo de Jorgensen (Mesquita *et al.*, 1977).

3.3. Análise das condições de insolação e projeto dos dispositivos de proteção solar

A análise das condições de insolação foi realizada em duas etapas: 1ª. Análise da disponibilidade da luz solar por meio da trajetória aparente do Sol (Frota e Schiffer, 2001; Bittencourt, 2000); e 2ª. Projeto de dispositivos de proteção para controle da insolação (Frota e Schiffer, 2001; Bittencourt, 2000). Assim, na primeira etapa, as condições de insolação e sombreamento foram analisadas por meio de ensaios no *heliodon* e simulações no *SketchUp*, empregando-se as ferramentas *Geo-location* e *Shadow*. Em ambos, a trajetória aparente do sol foi analisada para cinco horários representativos de um dia típico dos solstícios de inverno e verão, bem como para um dia típico dos equinócios (7h, 9h, 12h, 14 h e 17h). A Figura 5 ilustra os modelos físicos desenvolvidos por cada grupo para os ensaios no túnel de vento e no *heliodon*.



Figura 5 – Maquetes desenvolvidas pelos grupos da turma de 2022.02.

Fonte: AUTORAS, 2022.

Após os eventuais ajustes na orientação dos projetos, em decorrência do aproveitamento das condições favoráveis ao vento, as equipes deveriam propor dispositivos de proteção solar para as aberturas situadas em ambientes sujeitos ao sobreaquecimento devido à exposição solar direta. Para o projeto dos dispositivos, empregou-se a carta solar de Belo Horizonte (latitude 19°S), em conjunto ao diagrama de radiação solar incidente, considerada crítica a partir de 400 W/m². De forma simultânea, o *software* *Analysis Sol-Ar* (UFSC) foi indicado como ferramenta complementar para o estudo das máscaras de obstrução. Por fim, a eficácia dos dispositivos de sombreamento foi verificada através de novas

simulações no *SketchUp*.

3.4. Análise do desempenho térmico das envoltórias

Para a análise do desempenho térmico das envoltórias, recorreu-se a NBR 15220 (ABNT, 2005), que recomenda parâmetros para os sistemas de coberturas e envoltórias, bem como a NBR 15575 (ABNT, 2021), que fornece as equações simplificadas para o cálculo da transmitância térmica (U), do atraso térmico (ϕ) e dos fatores solares (FS_o). Para os sistemas construtivos não tradicionais, recorreu-se às pesquisas acadêmicas e aos catálogos dos fabricantes, quando disponíveis. Ademais, empregou-se como ferramenta auxiliar a Calculadora de Propriedades, disponibilizada pela plataforma digital Projeteer – Projetando Edificações Energeticamente Eficientes.

4. RESULTADOS

Como resultados, os estudantes apresentaram as adequações de projeto em formato de seminário, o que permitiu o compartilhamento das experiências entre os grupos. Assim, as decisões de projeto foram baseadas na análise crítica das legislações urbanas e das normas técnicas, bem como nas análises integradas de ventilação, insolação e desempenho das envoltórias, discutidas a seguir.

4.1 . Resultado do levantamento das recomendações bioclimáticas

No que tange à regularização dos projetos em função da LUOS (Belo Horizonte, 2019), os grupos apontaram o não atendimento ao afastamento frontal e ao coeficiente de aproveitamento mínimo. Neste caso, o não atendimento aos parâmetros pode ser associado ao emprego de uma lógica construtiva não tradicional, que visa à concepção de moradias em tamanho reduzido. Quanto ao CE (Belo Horizonte, 2009), os grupos pontuaram que a aplicação de parâmetros mínimos para a ventilação e a luz solar podem não ser suficientes para o alcance do conforto térmico passivo. Analogamente, em relação às recomendações bioclimáticas, adequações para a melhoria da ventilação cruzada, assim como para a especificação de sistemas de isolamento térmico foram apresentadas pelos grupos. Ainda, por se tratar de uma disciplina introdutória, as alterações no sentido de orientação das fachadas e no posicionamento das aberturas foram apontadas de maneira recorrente pelos estudantes (ver as Figuras 6, 7 e 8).

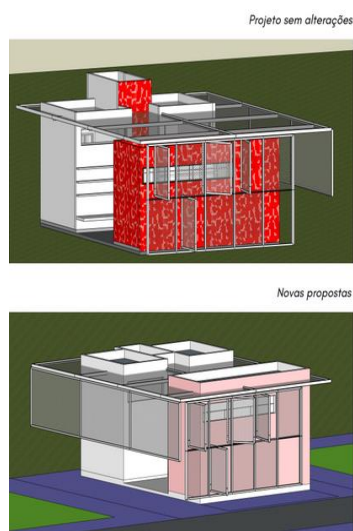


Figura 6 – Alterações na orientação e no dimensionamento das aberturas visando a ventilação cruzada na cozinha.

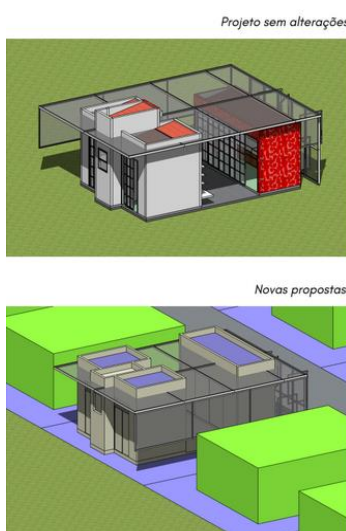


Figura 7 – Alterações nos elementos verticais em chapas metálicas expandidas, visando a proteção da fachada noroeste.



Figura 8 – Alterações na orientação e no dimensionamento das aberturas visando a ventilação cruzada nos quartos (Grupo Thomaz, Duarte, Miranda e Prado).

Fonte: SEMINÁRIO DE CONFORTO AMBIENTAL, 2022.

4.1. Resultados das adequações conforme as condições de ventilação natural

Por intermédio do ensaio no túnel de vento, os grupos puderam registrar as pressões nas fachadas e os efeitos

aerodinâmicos decorrentes da interação entre as condições de contorno e a edificação objeto de análise (ver Figuras 9 e 10). Neste sentido, para a melhoria nas condições de ventilação, observou-se a recorrência de alterações na orientação de implantação dos projetos, assim como o reposicionamento de aberturas. Houve um caso de alteração na inclinação da cobertura, evitando-se a criação de uma zona de sombra de vento na edificação adjacente.

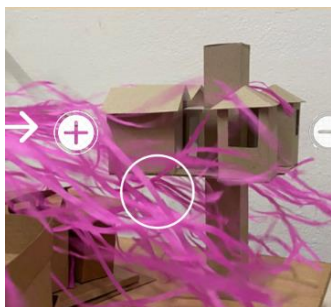


Figura 9 – Estudo de orientação das fachadas a partir dos ensaios no túnel de vento.

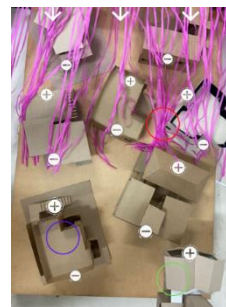


Figura 10 – Estudo da influência do entorno nos efeitos aerodinâmicos.

Fonte: SEMINÁRIO DE CONFORTO AMBIENTAL, 2022.

De maneira similar, notou-se que os ensaios no túnel de vento contribuíram para a construção de uma percepção sensível dos conceitos introduzidos pela disciplina, sobretudo no que se refere às relações estabelecidas entre o projeto e o contexto urbano. Além disso, discutiu-se sobre a simplificação do modelo físico e a influência das variáveis de contorno para a determinação dos resultados. Os grupos demonstraram reconhecer os impactos da massa vegetal e da topografia, mas optaram por suprimi-las da representação, uma vez que não houve o detalhamento prévio da área vegetada e a implantação do loteamento foi prevista para a área plana do terreno. Não obstante, percebeu-se algumas dificuldades na identificação dos efeitos aerodinâmicos, relatados como inexistentes por alguns grupos. A elaboração de croquis e registros fotográficos, durante os ensaios, facilitou na identificação destes efeitos (ver as Figuras 11 e 12).



Figura 11 – Efeitos aerodinâmicos percebidos no ensaio no túnel de vento para o projeto *AquaDomus*.



Figura 12 – Análise dos efeitos aerodinâmicos percebidos em ensaio para o projeto *Shin Machiya* (Grupo Tavares, Santiago, Anthony e Samuel).

Fonte: SEMINÁRIO DE CONFORTO AMBIENTAL, 2022.

Quanto às condições de ventilação interna, as simulações no *software Fluxovento*® auxiliaram na identificação dos ambientes com baixa circulação de ar. As principais alterações de projeto foram o reposicionamento das esquadrias, o aumento do número de aberturas, e mudanças na setorização dos ambientes. As Figuras 13 e 14 representam os resultados simulados para o projeto inicial e após as soluções para as melhorias na circulação de ar. Como soluções alternativas, alguns grupos empregaram barreiras vegetais para o redirecionamento do fluxo de ar em direção ao interior dos ambientes, como é o caso ilustrado nas Figuras 15 e 16.



Figura 13 – Análise do fluxo de ar interno a partir da simulação das condições originais de projeto.

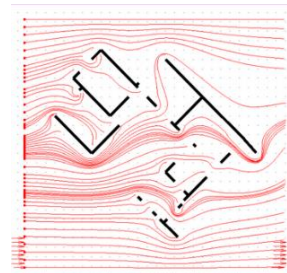


Figura 14 – Análise do fluxo de ar nos ambientes internos após alterações visando a circulação de ar (Grupo Totiani, Deus, Pinto e Nunes).

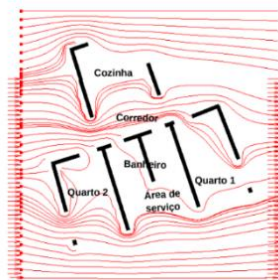


Figura 15 – Análise do fluxo de ar interno a partir da simulação das condições originais de projeto.

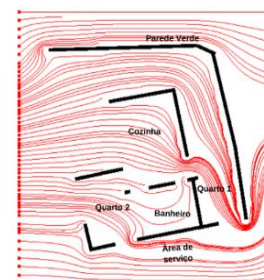


Figura 16 – Análise do fluxo de ar nos ambientes internos após o acréscimo da parede verde (Grupo Mundim, Rodrigues e Reis).

Fonte: SEMINÁRIO DE CONFORTO AMBIENTAL, 2022.

Embora a facilidade de interpretação dos dados e a rapidez das simulações tenham sido apontadas como vantagens do *Fluxovento*®, estudantes relataram dificuldades na elaboração dos desenhos no *software*, visto que modelos pré-definidos não podem ser importados. Algumas imprecisões nas simulações foram corrigidas por meio da ativação do comando atração, o qual “amarra” as linhas do desenho no *gride*. Além disso, alguns grupos apontaram a ausência do entorno como uma limitação da ferramenta, o que dificultou na interconexão entre os resultados simulados e os efeitos aerodinâmicos identificados no túnel de vento.

No que tange às equações empíricas, as áreas obtidas foram superiores às áreas definidas pelo CE. Assim, em função das dimensões dos projetos (área construída inferior a 35 m² e pé direito de 3 m), o uso da ventilação cruzada foi preferível (ver Figura 17). Com base na velocidade predominante dos ventos (0 a 3,3 m/s, classificado como ar e brisa suave na escala de Beaufort) recorreu-se à manutenção ou ao aceleração dos fluxos de ar. (Frota e Schiffer, 2001).

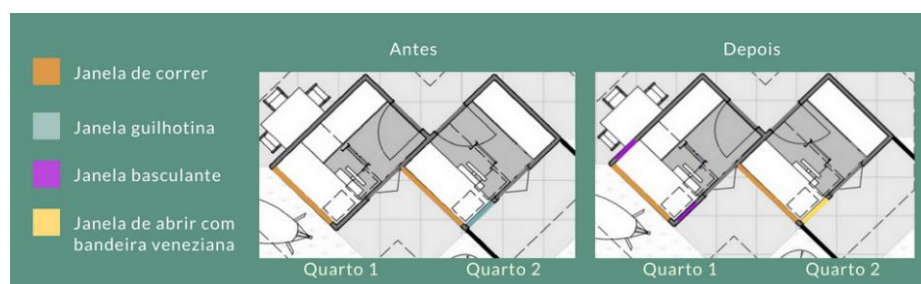


Figura 17 – Estudo e proposta de esquadrias para o projeto Casa Bambu (Grupo Leite, Lima, Pazzini, e Eiti).

Fonte: SEMINÁRIO DE CONFORTO TÉRMICO, 2022.

Contudo, visando a manutenção do partido arquitetônico, alguns grupos optaram pelo efeito combinado. Portanto, o conhecimento dos métodos empíricos auxiliou no detalhamento das aberturas, permitindo a comparação entre as vazões recomendadas para a ventilação higiênica e para a ventilação visando o conforto térmico.

4.3. Resultados das adequações conforme as condições de insolação

Como esperado, os grupos relataram convergências em relação aos ensaios realizados no *Heliodon* e as

simulações feitas no *SketchUp*, o que permitiu a identificação das fachadas críticas quanto à exposição solar direta, assim como os ambientes demasiadamente sombreados, de forma que o aumento do número de horas de sol seria indicado. Dessa forma, tendo em vista a manutenção das condições favoráveis de ventilação, foram realizadas adequações quando à orientação dos projetos, modificações na setorização dos ambientes e o reposicionamento de aberturas (ver as Figuras 18, 19 e 20).

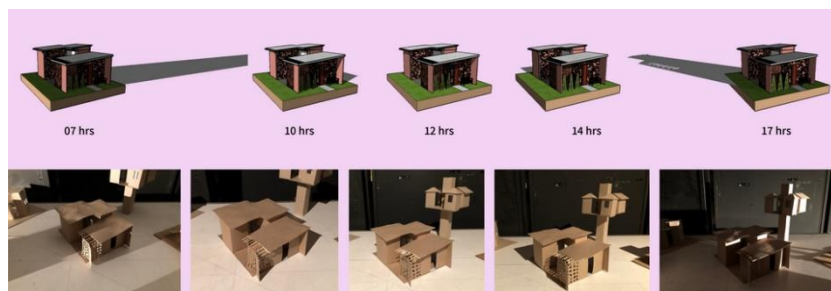


Figura 18 – Simulação no *SketchUp* e ensaio no *Heliodon* para o projeto *Vinea*, durante o solstício de inverno.

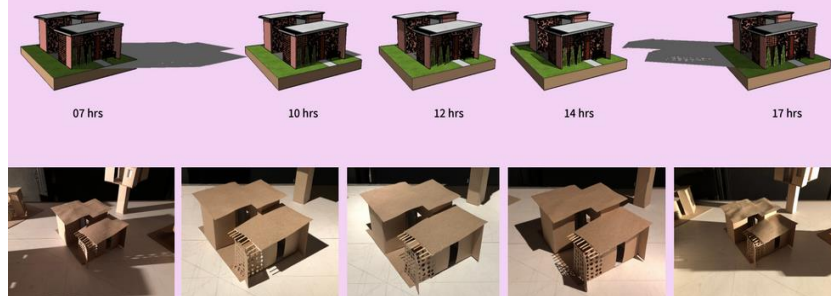


Figura 19 – Simulação no *SketchUp* e ensaio no *Heliodon* para o projeto *Vinea*, durante os equinócios.

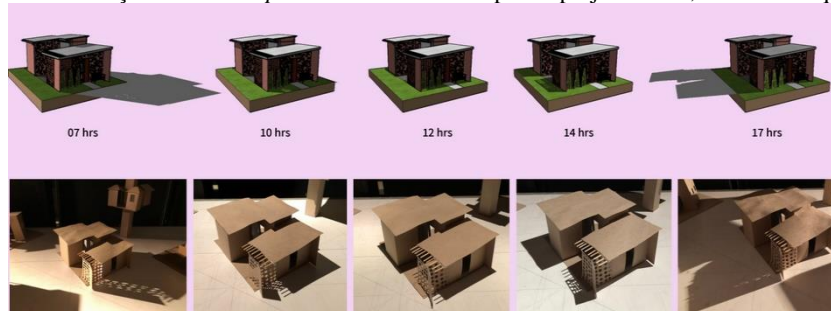


Figura 20 – Simulação no *SketchUp* e ensaio no *Heliodon* para o projeto *Vinea*, durante o solstício de verão (Grupo Totiani, Deus, Pinto e Nunes).

Fonte: SEMINÁRIO DE CONFORTO TÉRMICO, 2022.

Em seguida, mediante os conceitos da geometria da insolação, foram projetados os dispositivos de proteção solar para os ambientes passíveis de sobreaquecimento, tais como *brise-soleils*, pergolados, cobogós e o prolongamento de beirais. As Figuras 21 e 22 demonstram os estudos realizados para a elaboração dos dispositivos de proteção solar, correlacionando as máscaras de obstrução ao modelo projetado.

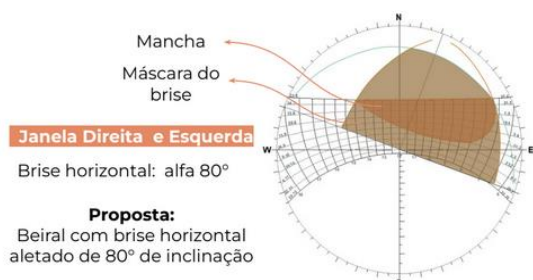


Figura 21 – Estudo da máscara solar para a proposição de brises.



Figura 22 – Dispositivo de proteção solar e simulações no *SketchUp* (Grupo Lobato, Valadares, César e Salgado).

Fonte: SEMINÁRIO DE CONFORTO AMBIENTAL, 2022.

De maneira geral, percebeu-se que os grupos obtiveram facilidade para o manuseio e a interpretação das cartas solares, ao extraírem dados como a orientação das fachadas, as alturas solares e os períodos de exposição solar. Todavia, houveram dificuldades para a elaboração dos dispositivos de sombreamento em função das máscaras de obstrução traçadas. Esta dificuldade pode ser associada à incompatibilidade entre o partido arquitetônico e o dispositivo de sombreamento projetado, percebido como superdimensionados para as dimensões dos projetos, o que poderia resultar no escurecimento dos ambientes e comprometer a circulação de ar. Dessa forma, os grupos foram instigados à exploração estética e funcional dos elementos de sombreamento propostos.

4.4. Resultados das adequações de desempenho térmico das envoltórias

No que se refere ao desempenho térmico das envoltórias, os discentes recorreram às recomendações da NBR 15220 (ABNT, 2005) e à planilha de cálculo disponibilizada para a disciplina, elaborada com base nas equações simplificadas da termodinâmica, apresentadas pela NBR 15575 (ABNT, 2021). As Figuras 23 e 24 sintetizam a análise dos sistemas construtivos escolhidos para as envoltórias e para a cobertura do projeto Casa Terra.

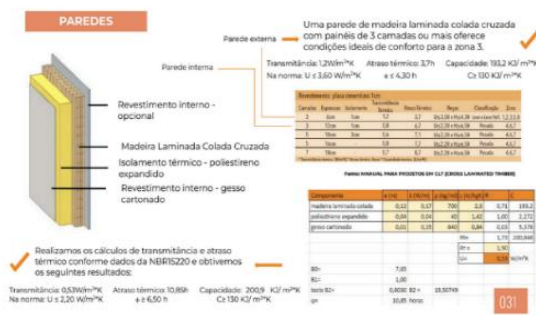


Figura 23 – Análise das propriedades térmicas das envoltórias conforme as recomendações normativas.

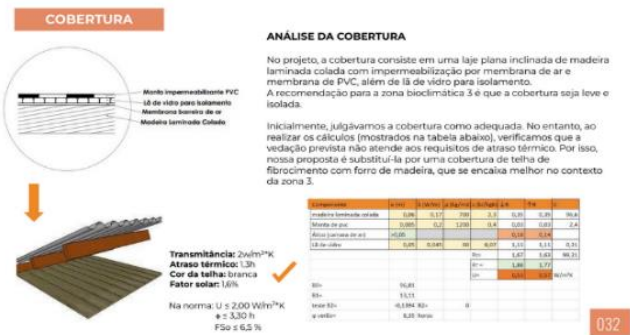


Figura 24 – Análise das propriedades térmicas da cobertura conforme a NBR 15220 e a NBR 15575 (Grupo Lobato, Valadares, César e Salgado).

Fonte: SEMINÁRIO DE CONFORTO AMBIENTAL, 2022.

Todavia, devido à diversidade de materiais e sistemas construtivos especificados nos projetos, sobretudo no que tange aos sistemas não tradicionais, como por exemplo, o *wood frame*, o *steel frame*, e os tijolos ecológicos produzidos a partir do rejeito de minério, recorreu-se às pesquisas acadêmicas e aos catálogos dos fabricantes para o levantamento e a comparação das propriedades térmicas destes sistemas.

5. CONCLUSÕES

As experiências relatadas demonstraram a importância da aplicação de métodos integrados para o ensino-aprendizagem de Conforto Térmico no contexto da graduação, partindo-se da análise das condições de ventilação natural, insolação e desempenho das envoltórias. Para isso, o método aplicado consistiu na combinação de atividades práticas embasadas na leitura crítica das normativas pertinentes, ensaios físicos e simulações computacionais, assim como o estudo de modelos geométricos simplificados e modelos empíricos de cálculo.

Neste sentido, percebeu-se que tais métodos, embora sejam simplificados, são viáveis para a incorporação das estratégias bioclimáticas durante as diferentes fases de concepção dos projetos de arquitetura, o que beneficia diretamente na melhoria do desempenho termo energético das edificações. Somado a isto, a formação de repertório técnico e arquitetônico contribuiu para a tomada de decisões embasadas e criativas, o que agrega valor funcional e estético aos projetos apresentados pelos discentes.

Em contrapartida, a não interoperabilidade entre os *softwares* (ZBBR, Fluxovento©, SketchUp e Analysis Sol-Ar) foi apontada como fator desfavorável para a interpretação dos dados, o que gerou resultados fragmentados e “processos trabalhosos” para a apreensão das informações de forma holística. Estas questões podem ser consideradas nos estudos futuros, mas ressalta-se que é importante investir em treinamentos e

materiais didáticos para a introdução de *softwares* e simulações mais complexas na graduação, sobretudo no contexto das disciplinas de caráter introdutório. Ademais, o investimento no PMG mostrou-se relevante para a aplicação das metodologias de ensino-aprendizagem, o que forneceu o auxílio necessário para a realização das atividades extraclasse.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSIS, Eleonora Sad de. MÉTODO INTEGRADO DE ANÁLISE CLIMÁTICA PARA ARQUITETURA APLICADO À CIDADE DE BELO HORIZONTE, MG. In: Anais do VI Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído. **Anais...**São Pedro (SP), 11 a 14 nov. 2001. Disponível em: <https://docplayer.com.br/81134954-Metodo-integrado-de-analise-climatica-para-arquitetura-aplicado-a-cidade-de-belo-horizonte-mg.html>. Acesso em: abr. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3: Desempenho Térmico Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro**. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15575: Edificações habitacionais: desempenho**. Rio de Janeiro, 2021.

BELO HORIZONTE. **Lei Municipal nº9.725, de 15 de julho de 2009, e atualizações**. Instituí o Código de Edificações do Município de Belo Horizonte e dá outras providências. Belo Horizonte: Câmara Municipal, [2009]. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/codigo-de-obras-belo-horizonte-mg>. Acesso em: abr. 2023.

_____. **Lei nº11181, de 09 de agosto de 2019**. Aprova o Plano Diretor do Município de Belo Horizonte e dá outras providências. Belo Horizonte: Câmara Municipal, [2019]. Disponível em: <https://www.cmbh.mg.gov.br/atividade-legislativa/pesquisar-legislacao/lei/11181/2019>. Acesso em: out. 2022.

BITTENCOURT, Leonardo. **Uso das cartas solares: diretrizes para arquitetos**. 4ª ed. Maceió: EDUFAL, 2004. 109p.

FROTA, Anésia Barros.; SCHIFFER, Sueli Ramos. Geometria da insolação. Capítulo 4. In: FROTA, A.; SCHIFFER, S. **Manual de Conforto Térmico**, 5ª ed., São Paulo: Studio Nobel, 2001, p.75-120.

_____. Ventilação natural. Capítulo 5. In: FROTA, A.; SCHIFFER, S. **Manual de Conforto Térmico**, 5ª ed., São Paulo: Studio Nobel, 2001, p.124-138.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O.R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3ª ed., São Paulo: PW Brasil, 2014. 365p.

MESQUITA, Armando Luis de Sousa; GUIMARÃES, Fernando de Araújo; NEFUSSI, Nelson. **Engenharia de Ventilação Industrial**. São Paulo: CETESB/ASCETESB, 1977. 442p.

SEMINÁRIO DE ANÁLISE CLIMÁTICA. **Análise Climática e recomendações arquitetônicas**. Seminário (Disciplina TAU075: Conforto Térmico e Climatização de Ambientes) – Escola de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022.

SOUZA, Larissa Pereira de et al.. ENSINO DE SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES: UM ESTUDO DE CASO COM ESTUDANTES DE ARQUITETURA. In: Anais do XVI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído/ XII Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...**Palmas(TO) online, 2021. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/encac2021/338689-ENSINO-DE-SIMULACAO-TERMOENERGETICA-EM-EDIFICACOES--UM-ESTUDO-DE-CASO-COM-ESTUDANTES-DE-ARQUITETURA>. Acesso em: abr. 2023.

TEIXEIRA, Marianna; ASSIS, Eleonora Sad de. Teaching thermal comfort at the School of Architecture of the UFMG: project practice. In: 3rd International Conference on Mass Customisation and Sustainability in Housing, 2014, Londrina. **Proceedings of ZEMCH 2014**. Londrina: Hirota, Ercília H.; Formoso, Carlos T.; Onyango, John, 2014. v. 1. p. 139-155. Disponível em: <http://www.zemch.org/proceedings/2014/zemch2014.pdf>. Acesso em: abr. 2023.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem à PROGRAD da UFMG pela bolsa concedida a discente no Programa de Monitoria da Graduação (PMG) e à UFMG por fomento a participação no evento.