

Pilot study of numerical modeling tool to evaluate the thermal performance of walls according to Brazilian standards

Sthefane Adrielly Barbosa Cabral

Universidade Federal da Paraíba | Brazil | sthefane.arq@gmail.com

Carlos Alejandro Nome

Universidade Federal da Paraíba | Brazil | carlos.nome@gmail.com

Natália Queiroz

Universidade Federal de Santa Catarina | Brazil | nataliaqueiroz@labcon.ufsc.br

Abstract

The paper discusses a numerical modeling tool to evaluate thermal performance of building envelope according to Brazilian NBR15.220 and NBR 15.575 standards. Contemporary integrated design processes require the development of early design stage decision support mechanisms in order to optimize building performance. The development of the proposed tool focused on early stage decisions on building envelope design and integrating tool usability in the design process. Results indicate that the proposed tool provides basis for decision making that respond to Brazilian standards previously disregarded by participants. Also indicate improved understanding on parameters that affect building envelope thermal performance.

Keywords: Thermal performance, Numeric modeling tool, Building envelope, Evidence Based Design.

INTRODUÇÃO

O conceito de projeto é entendido como um exercício que integra criatividade e conhecimento, além da prática através da experiência que consiste em um processo rumo a otimização. (Stemmer, 1998 apud Rauber, 2005, p. 19). Dentro de um contexto de processos contemporâneos de projeto, cada vez mais reconhece-se a demanda por integração de múltiplas disciplinas no ato projetual (AIA-CC, 2007). Da mesma maneira é sabido que tomada de decisões durante a programação arquitetônica e etapas iniciais da concepção de um projeto tem maior potencial de impactar positivamente o desempenho de um edifício a custos menores. (Eastman, 2008)

Para que isto seja possível é necessário que estas decisões estejam amparadas ao conhecimento (Hamilton, 2009). O que torna crucial o desenvolvimento de ferramentas que habilitem profissionais da área com a finalidade de incorporar questões que afetarão o desempenho do edifício nas etapas iniciais do seu processo projetual. (Boddy et all, 2007)

Quando o desempenho de um edifício é considerado desde suas fases iniciais de projeto com ferramentas específicas para atender a estas demandas, é possível reduzir erros nas fases de execução e operação, acarretando na diminuição do custo da obra (Eastman, 2008). O resultado é potencialmente um projeto mais

eficiente que perpassa em sua resposta questões de linguagem arquitetônica e estética.

O contexto específico deste artigo diz respeito ao desempenho térmico de edifícios bem como as normas brasileiras referentes a esse tema. Desta maneira passam a primeiro plano a avaliação de como edifícios se comportam considerando sua orientação e o clima ao qual estão inseridos, além de questões relacionadas a materialidade dos mesmos. No Brasil existem atualmente duas normas que nos servem de guia para projetar edifícios com desempenho adequado. NBR 15.575/2013 trata do desempenho de edificações, abordando requisitos gerais e A NBR 15.220/2005, em revisão, diz respeito ao desempenho térmico de edificações, com questões mais específicas. É desta última norma que se obtém os parâmetros de desempenho para o objeto do estudo. (Roriz, 2012)

Decisões acerca da envoltória, composta esta por elementos de vedações verticais e horizontais, apresentam atribuições importantes. Desde questões ligadas a proteção e segurança do espaço interior e dos usuários, às questões relacionadas ao conforto térmico, através de uma “barreira climática”. Desta maneira, a escolha dos materiais está relacionada a questões bioclimáticas, portanto tornar-se uma estratégia projetual. A sua eficiência térmica acarreta em reduções de usos de equipamentos elétricos de condicionamento do ar, além de redução no custo de operação e manutenção do edifício. (Mascaró, 2010)

Diante disso, ao iniciar um novo projeto de arquitetura, deve-se atentar às propriedades térmicas dos materiais construtivos e como estes absorvem e transmitem o calor, possibilitando a previsão do comportamento dessa envoltória às condicionantes climáticas. (Olgyay, 1973) Como exemplo, devem-se observar as propriedades de absorção (α) e a atraso térmico (ϕ) que estão respectivamente relacionados à cor e a espessura dos materiais¹, além da transmitância térmica (U), medida da passagem de calor para o ambiente interno. (Cheng, V. Etal, 2005)

A especificação dos materiais construtivos é uma das decisões que cabem ao arquiteto. Para isso, este profissional deve observar a transmitância térmica do fechamento desejado, pois isto representa seu desempenho em termos de trocas térmicas entre os ambientes internos e externos. (Lamberts et al., 1997, p. 267)

A incorporação das questões projetuais e parâmetros de desempenho são cada vez mais demandadas na concepção de projeto de arquitetura. A integração destas questões pode ser auxiliada através de simulação computacional, ferramentas que facilitam o entendimento do projetista acerca de suas decisões projetuais, e que colaboram com a compreensão da performance do edifício construído.

Segundo Mendes et al. (2005) iniciativas de simulação computacional de desempenho termo energético no Brasil, começaram na década de 80, através do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Buscaram analisar desde a assimetria da radiação solar nos ambientes internos até o desenvolvimento do programa SPTE, através de uma metodologia dos fatores de resposta, que consiste em um algoritmo de análise de desempenho térmico de edificações. Outro programa gerado por grupos de pesquisa da UFSC, em 1990, o UMIDUS, algoritmo, inicialmente gerado na plataforma Windows, simula a transferência de calor e umidade de elementos porosos.

Apesar da disponibilidade o uso de simulação computacional e a presença de consultores, geralmente não são considerados no processo projetual. Isso é resultado da complexidade das interfaces, exigência de conhecimento prévio de alguns fatores de influência para gerar resultados, custos, além do tempo gasto na simulação (LIMA, 2012).

A complexidade das ferramentas existentes e a falta de programas nacionais são as principais causas da fraca disseminação desse tipo de tecnologia no Brasil. (Mendes et al., 2005, p.59)

Como Mendes et al. (2005) ressalta, o impulsionamento do uso dessas ferramentas em escritórios pode ser mais atrativo quando desenvolvidas ferramentas com apoio à normas. O atendimento a normativas em projetos residenciais como demandado pelas NBR 15.575/2013 e 15.220/2005 reforça a necessidade de desenvolver

ferramentas de suporte ao processo de tomada de decisões do arquiteto ainda nas fases iniciais de projeto.

Isto posto, o artigo descreve o desenvolvimento de uma ferramenta de modelagem numérica que auxilia em decisões iniciais de projeto de envoltórias verticais opacas a partir da normativa brasileira, no que concerne o desempenho térmico (NBR 15.220/2005). Além de expor resultados de um estudo piloto para avaliação desta com arquitetos e estudantes de arquitetura.

A proposição deste modelo numérico, considera a norma ainda vigente, utilizando os parâmetros para a Zona Bioclimática (ZB) 8, segundo a NBR15.220/2005. A escolha se deu por se tratar da ZB com mais representatividade, 53,7% do território brasileiro.

Os critérios e desenvolvimento da ferramenta foram: precisão dos resultados em relação a norma; a usabilidade; acessibilidade a dados de entrada; favorecimento da compreensão de conceitos avaliados; potencial de ajuste de sistemas de envoltória; e geração de alternativas nas fases iniciais de projeto.

METODOLOGIA

O presente artigo caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, com a finalidade de gerar conhecimento na tomada de decisões em fases iniciais de projeto de arquitetura. Quanto aos procedimentos técnicos, apresenta-se como um estudo experimental.

A metodologia de experimentação planejada consiste em determinar o vínculo da causa e efeito, além de auxiliar na construção de processos de fabricação, o qual podem ser influenciados por diversos fatores. (Montgomery, 2009)

O experimento planejado, faz variações deliberadas ou propositais nas variáveis controláveis do sistema ou processo, observa os dados de saída do sistema resultante e então faz uma interferência ou decisões acerca das quais variáveis são responsáveis pelas mudanças observadas no desempenho da saída. (Montgomery, 2009, p.3)

Com isso, adapta-se a sequência de etapas desta metodologia, com a finalidade de desenvolver a proposição do processo de construção do modelo numérico, na qual se comprehende na Figura 1.

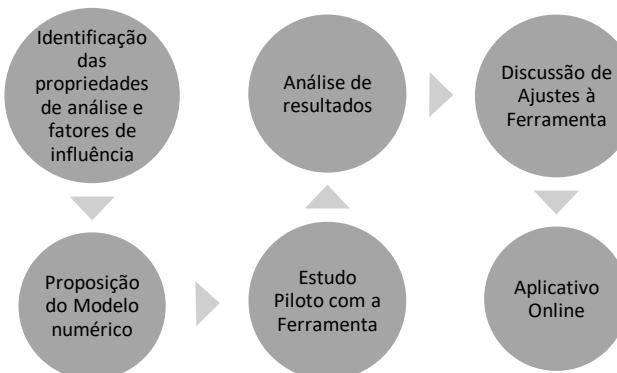


Figura 1: Etapas da metodologia. Fonte: Autora, 2018.

IDENTIFICAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE ANÁLISE E FATORES DE INFLUÊNCIA

Com o entendimento que a NBR 15.220, aponta indicadores para as seguintes propriedades: atraso térmico, fator de ganho solar, transmitância térmica. Fez-se uma tabela com estas propriedades, equações matemáticas, indicadores climáticos e descrição do comportamento térmico. Assim foi identificada a interação entre as variáveis de influência quando submetidas ao modelo numérico (Ver Tabela 1).

Diante disso, identifica-se que a cor, a espessura e o número de camadas são as variáveis que influenciam significativamente as propriedades térmicas a serem avaliadas. A partir desta identificação, a etapa de construção do modelo numérico, tem por finalidade integrar essas propriedades a personalização do sistema construtivo que o usuário deseja construir em seu projeto.

Tabela 1: Fatores de influência. Fonte: Autora, 2018.

| Propriedade Térmica | Decisão projetual | Equação | Indicador Climático (ZB8) |
|-----------------------|-------------------|--|---------------------------|
| Fator de ganho solar | Cor | $FS_o = 4 \cdot \alpha \cdot U$ α : absorvância U: transmitância térmica | $\leq 4,3$ (h) |
| Atraso térmico | Espessura | $\Phi = 0,7284 \cdot \sqrt{Rt \cdot Ct}$ Rt: resistência térmica de superfície a superfície Ct: capacidade térmica | $\leq 4,0$ (%) |
| Transmitância térmica | Camadas | $U = 1/Rt$ | $\leq 3,60$ |

PROPOSIÇÃO DO MODELO NUMÉRICO

Conforme declarado os critérios e desenvolvimento da ferramenta foram: precisão dos resultados; a usabilidade; acessibilidade a dados de entrada; favorecimento da compreensão de conceitos avaliados; potencial de ajuste de sistemas de envoltória; e geração de alternativas nas fases iniciais de projeto. Para assegurar a precisão dos resultados as equações correspondentes às propriedades térmicas foram aferidas em inseridas na planilha de cálculo da ferramenta.

Quanto a usabilidade, foi caracterizado o processo completo de uso da ferramenta de forma a identificar e simplificar cada estágio de interação do usuário. Em termos de acessibilidade à dados de entrada, desenvolveu-se uma base de dados (Figura 1) a partir da

NBR 15.220/2005 e dados disponíveis em Corbella (2015) e Minke (2001).

O favorecimento da compreensão de conceitos avaliados dá-se a partir da interface gráfica dos resultados que aponta para potenciais inadequações de desempenho da envoltória em avaliação. O potencial de ajuste de sistemas de envoltória ocorre na forma de avisos aos usuários sobre estratégias para aprimorar o desempenho detectado como insuficiente.

Por fim, a geração de alternativas nas fases iniciais de projeto é possibilitada pelo registro de cada variação de envoltória testada de forma a permitir a comparação de resultados obtidos. A ferramenta foi desenvolvida em Excel desde a planilha de cálculos à base de dados. Esta é dividida em dois componentes. O primeiro inclui informações sobre materiais construtivos e suas respectivas propriedades térmicas. Já o segundo incorpora as possíveis cores classificados por norma e fabricantes contendo as suas propriedades.

Inicialmente, os dados sobre materiais e sistemas construtivos foram extraídos da NBR 15.220/2005. Para melhor compreensão e seleção do material ou sistema a ser avaliado, optou-se por subdividir as propriedades dos materiais e sistemas em três categorias:

- Propriedades Variáveis - customizáveis pelo usuário (Figura 2);
- Propriedades Medidas - ensaiadas previamente em laboratório (Figura 2); e
- Propriedades Calculadas – definidas por equações matemáticas e resultam das propriedades anteriores (Figura 3).

A ferramenta desenvolve-se utilizando uma sequência de tomadas de decisões acerca da escolha do sistema de envoltórias. O diagrama (Figura 4) descreve o protocolo de utilização da ferramenta. Primeiramente o usuário deve escolher o número de camadas que o compõe o sistema, em seguida que tipo de material será utilizado em cada camada, a espessura respectiva a cada camada e a cor que será utilizada na face externa (exposta ao sol) do sistema.

A interface inicial (Figura 5) é dividida em duas partes; a primeira a área de entrada, onde os usuários preencherão todas as informações relacionadas ao sistema que será avaliado, como visto no parágrafo anterior. E a área de resultados, que é composta por um

| Fonte | Camada | Material | VARIÁVEL | | MEDIDO | | |
|----------------|--------------|---|---------------|-----------------|----------------------|---------------|---------------------------|
| | | | Espessura (m) | Absortância (α) | Calor específico (c) | Densidade (ρ) | Condutividade Térmica (λ) |
| NBR 15220 | Isolante | Aglomerado de fibras de madeira (denso) | 0,01 | 0,12 | 2,3 | 1000 | 0,2 |
| NBR 15220 | Isolante | Aglomerado de fibras de madeira (leve) | 0,03 | 0,3 | 2,3 | 250 | 0,058 |
| NBR 15220 | Isolante | Aglomerado de partículas de madeira | 0,04 | 0,5 | 2,3 | 650 | 0,17 |
| NBR 15220 | Revestimento | Ardósia, xisto | 0,5 | 0 | 0,84 | 2000 | 2,2 |
| NBR 15220 | Revestimento | Argamassa celular | 0,1 | 0,75 | 1 | 600 | 0,4 |
| NBR 15220 | Revestimento | Argamassa comum | 0,1 | 0,75 | 1 | 1800 | 1,15 |
| NBR 15220 | Revestimento | Argamassa de gesso | 0,1 | 0,75 | 0,84 | 1200 | 0,7 |
| CORBELLA, 2015 | Revestimento | Basalto | 0,1 | 0 | 0,84 | 2700 | 1,6 |
| CORBELLA, 2015 | Camada Base | Bloco de Adobe | 0,1 | 0,69 | 0,84 | 1700 | 0,52 |

Figura 2: Modelo estruturado do banco de dados. Fonte: Autora, 2018

gráfico tipo bolha e a legenda que contém o resultado do cálculo numérico das três propriedades que serão avaliadas e os parâmetros, neste caso para a Zona Bioclimática 8.

A área de resultados é bastante dinâmica, de acordo com cada entrada do usuário, o gráfico e a legenda são

atualizados simultaneamente. A legenda também auxilia na interpretação dos dados, quando está verde é sinal de que o resultado está dentro dos parâmetros normativos e quando fica vermelha é sinal que está fora dos parâmetros.

| CALCULADO | | | | | | | |
|---------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---|-------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Resistência térmica do material | Resistência térmica interna | Resistência térmica externa | Resistência térmica ambiente a ambiente(RT) | Capacidade térmica (Ct) | Transmitância Térmica (U) | Atraso térmico (Φ) | Fator de ganho solar (%) |
| 0,05 | 0,13 | 0,04 | 0,05 | 23 | 20,00 | 0,78 | 9,60 |
| 0,52 | 0,13 | 0,04 | 0,69 | 17,25 | 1,46 | 2,51 | 1,75 |
| 0,24 | 0,13 | 0,04 | 0,41 | 59,8 | 2,47 | 3,59 | 4,93 |
| 0,23 | 0,13 | 0,04 | 0,40 | 840 | 2,52 | 13,31 | 0,00 |
| 0,25 | 0,13 | 0,04 | 0,42 | 60 | 4,97 | 3,66 | 14,91 |
| 0,09 | 0,13 | 0,04 | 0,26 | 180 | 2,97 | 4,95 | 8,91 |
| 0,14 | 0,13 | 0,04 | 0,31 | 100,8 | 3,97 | 4,09 | 11,91 |
| 0,06 | 0,13 | 0,04 | 0,23 | 226,8 | 4,30 | 5,29 | 0,00 |
| 0,19 | 0,13 | 0,04 | 0,36 | 142,8 | 2,76 | 5,24 | 7,62 |

Figura 3: Continuação do modelo estruturado do banco de dados. Fonte: Autora, 2018

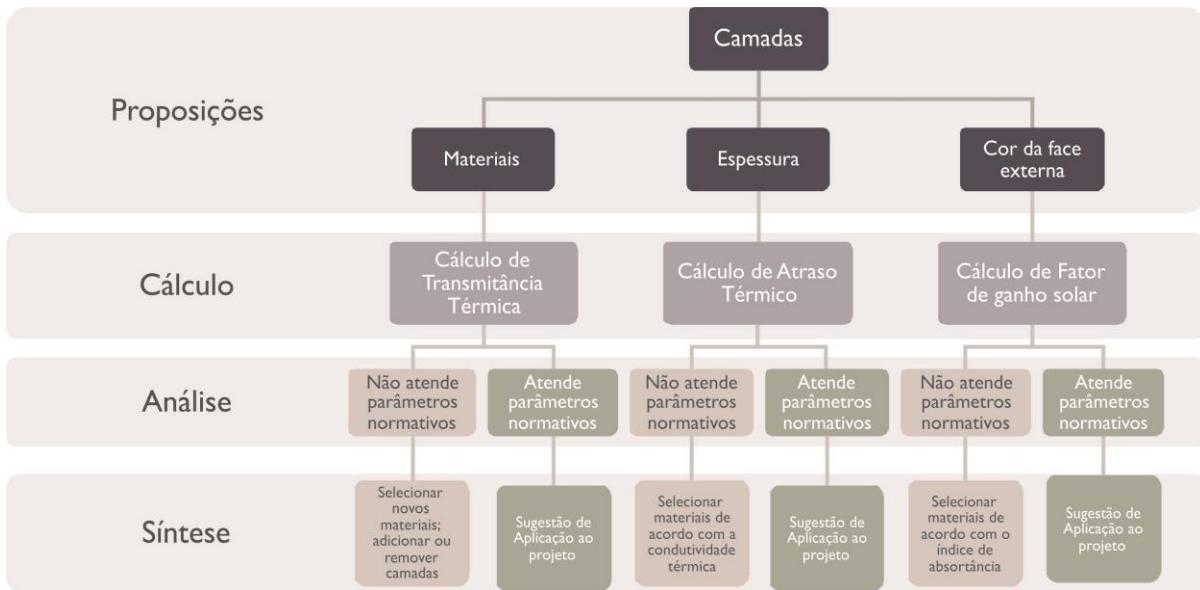


Figura 4: Protocolo de uso. Fonte: Autora, 2018.

| Camadas | MATERIAIS | Espessura (m) | Cor da face externa |
|-------------|-------------------------------------|---------------|---------------------|
| EXTERNA | Painel de borracha expandida rígida | 0,01 | Branco |
| ADICIONAL 1 | nenhum | 0 | |
| ADICIONAL 2 | nenhum | 0 | |
| ADICIONAL 3 | nenhum | 0 | |
| ADICIONAL 4 | nenhum | 0 | |

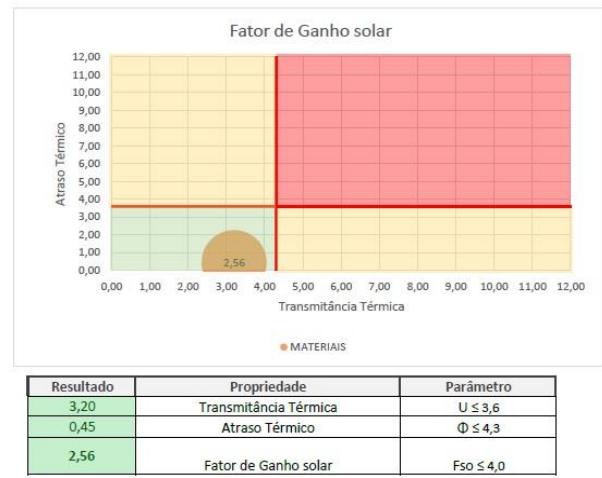


Figura 5: Interface inicial da ferramenta desenvolvida. Fonte: Autora, 2018.

ESTUDO PILOTO COM A FERRAMENTA

O estudo piloto acontece com 12 indivíduos. Os participantes utilizam a ferramenta para o desenvolvimento e avaliação de dois sistemas de envoltória. Em seguida são questionados sobre a percepção de usabilidade da ferramenta e utilidade dos resultados.

Como se trata de uma ferramenta para as fases iniciais de projeto, houve o cuidado de envolver arquitetos e estudantes de arquitetura. Assim sendo dos 12 participantes, 5 estudantes de graduação de arquitetura e urbanismo e 7 arquitetos e urbanistas (Figura 9). Vale ressaltar que o estudo foi aprovado pelo comitê de ética e

está devidamente registrado na Plataforma Brasil (CAAE: 86602318.5.0000.5188).

Todos os participantes assinaram o termo de consentimento de livre e esclarecido de voluntariado concordando na divulgação dos resultados, sob sigilo de identificação.

Os sistemas avaliados pelos participantes foram selecionados de forma livre, de acordo com suas escolhas. Alguns simularam sistemas convencionais, outros ousaram em aplicar materiais até então não considerados por eles em seus projetos. Abaixo observa-se alguns exemplos de sistemas simulados.

| Camadas | MATERIAIS | Espessura (m) | Cor da face externa |
|-------------|-------------------|---------------|---------------------|
| EXTERNA | Argamassa celular | 0,015 | Branco |
| ADICIONAL 1 | Bloco de Adobe | 0,09 | |
| ADICIONAL 2 | Argamassa celular | 0,015 | |
| ADICIONAL 3 | nenhum | 0 | |
| ADICIONAL 4 | nenhum | 0 | |



Figura 6: Exemplo 1 de teste do estudo piloto. Fonte: Autora, 2018.

| Camadas | MATERIAIS | Espessura (m) | Cor da face externa |
|-------------|------------------|---------------|---------------------|
| EXTERNA | Concreto Normal | 0,05 | Branco |
| ADICIONAL 1 | Cortiça em placa | 0,02 | |
| ADICIONAL 2 | nenhum | 0 | |
| ADICIONAL 3 | nenhum | 0 | |
| ADICIONAL 4 | nenhum | 0 | |



Figura 7: Exemplo 2 de teste do estudo piloto. Fonte: Autora, 2018

| Camadas | MATERIAIS | Espessura (m) | Cor da face externa |
|-------------|-----------------|---------------|---------------------|
| EXTERNA | Argamassa comum | 0,015 | Branco |
| ADICIONAL 1 | Placa de gesso | 0,05 | |
| ADICIONAL 2 | Câmara de ar | 0,02 | |
| ADICIONAL 3 | Compensado | 0,015 | |
| ADICIONAL 4 | nenhum | 0 | |



Figura 8: Exemplo 3 de teste do estudo piloto. Fonte: Autora, 2018

RESULTADOS

Os resultados a seguir foram extraídos dos questionários aplicados. Este consiste em três questões objetivas e três questões discursivas. As questões objetivas exploravam clareza e viabilidade de uso. Já as questões discursivas buscavam entendimentos sobre os aspectos positivos, negativos e potenciais melhoramentos relativos à ferramenta.

FORMAÇÃO DOS AVALIADORES

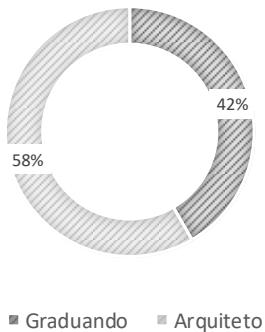


Figura 9: Percentual dos participantes no estudo piloto. Fonte: Autora, 2018.

A primeira questão objetiva, indaga sobre o nível de compreensão dos resultados gerados pela ferramenta. Em resposta, 6 participantes declararam que tiveram ótima compreensão dos resultados apresentados pela ferramenta, 4 consideraram boa a clareza dos resultados e 2 consideraram-se neutros quanto a esse aspecto (Figura 10).

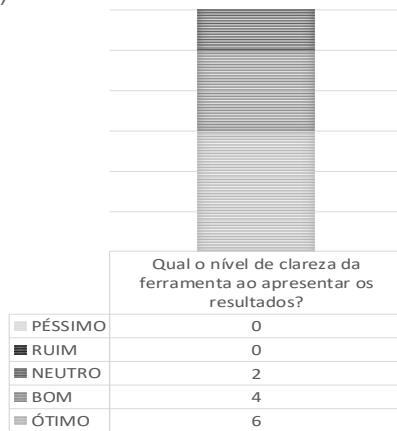


Figura 10: Resultados sobre a clareza da ferramenta. Fonte: Autora, 2018.

A segunda questão objetiva averigua sobre a viabilidade de uso da ferramenta no amparo a decisões projetuais sobre a envoltória na etapa inicial de projeto. Neste aspecto 6 participantes respondem que certamente consideravam a ferramenta proposta viável para amparar suas decisões projetuais, enquanto 5 declararam que provavelmente sim e apenas 1 se manteve neutro (Figura 11).

A terceira questão objetiva explora o potencial de uso da ferramenta caso estivesse disponível a projetistas. Sobre este tema 6 avaliadores afirmam que certamente utilizariam a ferramenta caso ela estivesse disponível e outros 6 declararam que provavelmente sim.

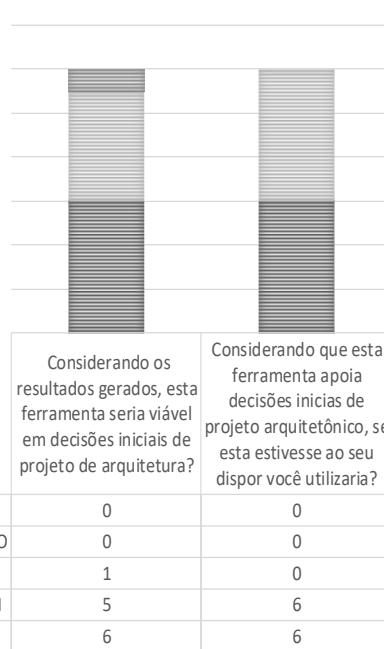


Figura 11: Resultados sobre a viabilidade da ferramenta. Fonte: Autora, 2018.

A partir das respostas obtidas no estudo piloto, entende-se um resultado positivo quanto aos três aspectos avaliados. Participantes declaram na maioria ótima ou boa compressão dos resultados gerados pela ferramenta. A maioria dos participantes considera viável a sua aplicação como suporte à tomada de decisões de projeto nas fases iniciais de um projeto. Por fim a totalidade dos participantes declara como provável a utilização da ferramenta caso haja disponibilidade da mesma para novos projetos de arquitetura

As perguntas discursivas exploram a percepção dos participantes quanto a pontos positivos, pontos negativos e potenciais melhoramentos à ferramenta desenvolvida.

Sobre os pontos positivos da ferramenta a maioria dos participantes ressalta a facilidade de uso da ferramenta. Sobre este aspecto destacam-se a simplicidade da interface e a clareza dos resultados. Foi pontuada a didática relativa a aspectos de conforto térmico, uma vez que esclarece os parâmetros de interferência no desempenho da envoltória. Ainda ficou evidente a vantagem de oferecer aos participantes uma base de dados com as propriedades dos materiais a compor os sistemas de envoltória avaliados. Por fim, participantes consideram importante à interatividade instantânea da interface quanto à apresentação os resultados das avaliações.

Sobre os pontos negativos, questões de ordem técnica e de domínio conceitual foram relatadas. Participantes declararam dificuldades operacionais quanto à adição de camadas ao sistema de envoltória. Embora a base de dados tenha sido vista como um ponto positivo, ironicamente, o fato de não ser exaustiva foi visto como algo negativo. Outros pontos negativos listados:

- Falta de conhecimento sobre como adicionar os materiais à suas camadas correspondentes;
- Valores de espessuras padrões;

- Ausência de materiais
- Dificuldade em interpretação dos resultados no gráfico.

As recomendações para aprimoramentos são no sentido de sanar pontos considerados como negativos. A ampliação da gama de materiais bem como desenvolvimento de mecanismos de filtragem dos mesmos são as recomendações mais frequente dos participantes. Ao aprimoramento da adição, subtração e ajustes dimensionais de camadas dos sistemas de envoltória também são recomendações frequentes dos participantes.

Outro aspecto avaliado no estudo piloto, o tempo de uso da ferramenta para o exercício proposto (Figura 12). Onde para avaliação do sistema 1, os usuários utilizam em média 9,3 minutos, e para o sistema 2, 10 minutos. Processos convencionais para a obtenção destes resultados implicariam em procedimentos significativamente mais trabalhosos e complexos. Como todos os participantes são inexperientes na efetuação das avaliações propostas, os resultados nos levam a concluir que a ferramenta é de rápida assimilação, possui um processamento rápido e interface de uso simples.

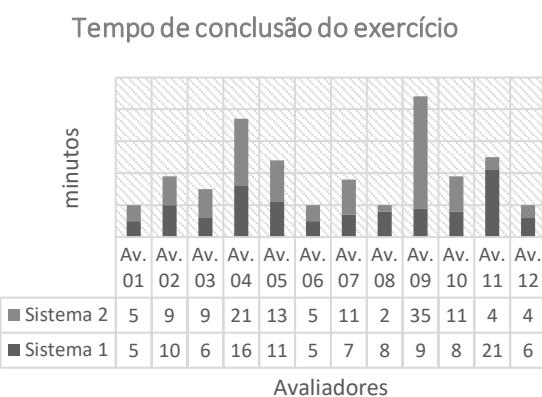


Figura 12: Tempo de conclusão do exercício. Fonte: Autora, 2018.

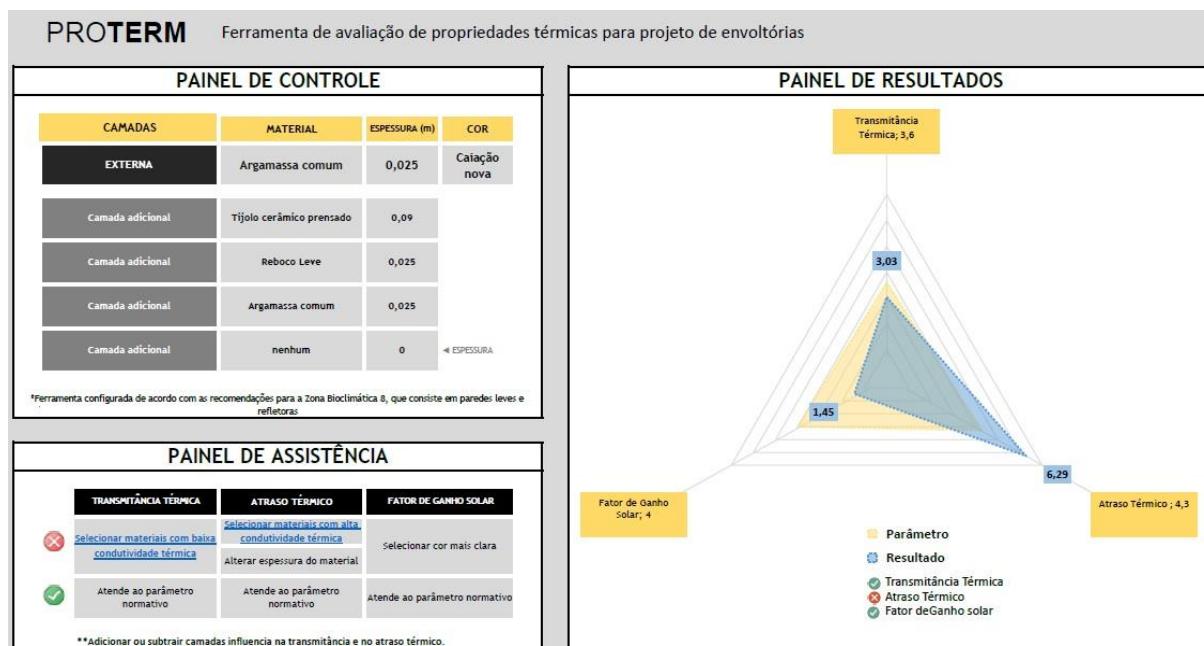


Figura 13: Interface atualizada. Fonte: Autora, 2018.

DISCUSSÕES

As conclusões são estabelecidas a partir dos resultados do questionário respondido pelos participantes. Por se tratar de um estudo piloto, entendemos que a ferramenta precisa passar por alterações com a finalidade de aprimorar o modelo. Especificamente questões associadas à usabilidade já apontadas e melhorias à base de dados que alimenta a ferramenta. As proposições mostram-se pertinentes para a próxima etapa, que visa solucionar os pontos negativos listados e enfatizar os pontos positivos.

A dependência de programas como o Excel não foi apontada como problemática pelos participantes. No entanto, os pesquisadores entendem que uma interface web ou aplicativo móvel são passos necessários no desenvolvimento de uma solução que visa atender processos integrados de projeto.

Contudo, fica claro que a interface inicial e o processo de uso da ferramenta baseada no modelo numérico desenvolvido implicam em potenciais benefícios a processos integrados de projeto. O alcance rápido de resultados de avaliações consideradas complexas ou trabalhosas faz com que projetistas percebam valor agregado ao uso de ferramentas como a desenvolvida.

Considerando que 42% dos avaliadores são estudantes de graduação de arquitetura e 58% arquitetos atuantes no mercado, o modelo numérico possibilita a integração de questões de desempenho térmico nos meios acadêmico e profissional.

A partir das recomendações propostas no estudo piloto, elaborou-se uma nova interface para a ferramenta (Figura 13). A próxima etapa consiste submeter esta interface a outro processo de avaliação. Trabalhos futuros também irão considerar prováveis mudanças na norma 15.220 que se encontra em revisão.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todos os voluntários que fizeram parte do estudo piloto, contribuindo para o aprimoramento da ferramenta. Ao Laboratório LM+P por todo suporte para a realização do estudo piloto, à Universidade Federal da Paraíba e a Capes pelo apoio.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 15220-1: Desempenho térmico de edificações. Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 8 p.
- _____. NBR 15220-2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 30 p.
- _____. NBR 15220-3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 30 p.
- _____. NBR 15575-1: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. 70 p.
- _____. NBR 6492: Representação de projetos de arquitetura. Rio de Janeiro: ABNT, 1994. 27p.
- AIA-CC. (2007). Integrated Project Delivery: A Guide AIA-California Council (Ed.)
- Boddy, S., Rezgul, Y., Cooper, G., & Wetherill, M. (2007). Computer integrated construction: A review and proposals for future direction. *Advances in Engineering Software*, 38 (10), 677-687.
- Cheng, V.; Ng, E.; Givoni, B. (2005) Effect of envelope colour and thermal mass on indoor temperatures in hot humid climate. *Solar Energy*, 528-534.
- Corbella, O. Corner, V. (2015). Manual De Arquitetura Bioclimática Tropical. (1^a ed.). Rio De Janeiro: Editora Revan.
- Eastman, C. M. (2008). BIM handbook : a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors. Hoboken, N.J.: Wiley.
- Hamilton, D. K., & Watkins, D. H. (2009). Evidence-based design for multiple building types. Hoboken, N.J.: John Wiley & Sons, Inc.
- Lamberts, R.; Dutra, L.; Pereira, F. O. R. (1997). Eficiência energética na arquitetura. (3^a ed.). São Paulo: PW.
- Lima, Raoni Venâncio dos Santos. Modos projetuais de simulação: uso de ferramentas de simulação térmica no processo projetual de arquitetura. 2012.
- Mascaró, Juan Luis. (2010). O custo das decisões arquitetônicas. (5^a ed.). Porto Alegre, Masquattro Editora.
- Mendes, N., Wesphal, F., Lamberts, R. e Neto, J. (2005, out./dez.). Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 5, n. 4, (ISSN 1415-8876), 47-68.
- Minke, G. (2001). Earth Construction HandBook. The Building Material Earth in the Modern Architecture. WIT Press, Southampton, U.K.
- Montgomery, Douglas C. Runger, George C. (2009). Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros. (4^a ed.). Editora LTC.
- Olgay, V. Design with Climate, Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism, Princeton University Pres. Princeton. 190p, 1973.
- Rauber, Felipe Claus. (2005). Contribuições ao projeto arquitetônico de edifícios em alvenaria estrutural. (113p.). Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- Roriz, Maurício. Proposta de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro. Acesso em: 30/06/2018. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/projetos/proposta-de-revisao-do-zoneamento-bioclimatico-brasileiro>>. 2012.