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

USO DOS APLICATIVOS DA LADYBUG TOOLS NA ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO DE UMA ACADEMIA DE MUSCULAÇÃO LOCALIZADA EM SÃO JOÃO DEL-REI

Linda Rodrigues (1); Laura Resende Tavares (2)
(1) Arquiteta e Urbanista, lindaearqcontato@gmail.com, Av. Irmãos Vasserman, 51, Bragança Paulista – SP, (035) 99977-0610 / (011) 99367-8506
(2) Mestre, Arquiteta e Urbanista, Professora do curso de Arquitetura e Urbanismo, laura_tavares@ufsj.edu.br, Universidade Federal de São João del-Rei, Av.Visconde do Rio Branco S/n. Colônia do Bengo. São João del-Rei - MG, (032) 3379-4972 / (032) 3379-4970

RESUMO
Este trabalho avalia o desempenho térmico de uma academia de musculação na cidade de São João del-Rei e propõe possíveis soluções para a melhoria do conforto térmico de seus usuários. Para tanto, o diagnóstico foi realizado por meio de questionário *in-loco*, simulação computacional pelo método PMV e adaptativo. A intenção foi julgar qual dos métodos representaria com maior fidelidade o desempenho térmico real. Poucos são os programas que conseguem atrelar na mesma plataforma o *design* do edifício e análise ambiental completa. Por isso, neste trabalho, as simulações foram executadas utilizando o *Ladybug Tools*, ferramenta de análise climática disponível para o software de *design Rhinoceros/Grasshopper*. Estas ferramentas permitiram analisar o modelo digital utilizando as bases de dados do *EnergyPlus Weather* (EPW) e gerar gráficos interativos 2D e 3D. Os resultados demonstraram que o método PMV não é adequado para as condições da academia estudada e, por meio dos questionários, foi possível verificar que o conforto dos usuários não teve relação com a atividade metabólica e sensação térmica. As simulações utilizando o método adaptativo tiveram resultado semelhante ao questionário, e os gráficos e mapas térmicos permitiram verificar quais aspectos arquitetônicos causavam prejuízo ao conforto dos usuários e poderiam ser modificados.
Palavras-chave: *Rhinoceros*; *Ladybug Tools*; Conforto Térmico; Academia; São João del-Rei

ABSTRACT
This work evaluates the thermal performance of a bodybuilding gym in the city of São João del-Rei and proposes possible solutions for improving the thermal comfort of its users. For that, the diagnosis was made through an *in-loco* questionnaire, computer simulation by the PMV and adaptative method. The intention was to judge which of the methods would better represent the real thermal environment. The number of modeling programs that can integrate building design and complete environmental analysis on the same platform is very limited. For that, in this work, the simulations were run using the Ladybug Tools, available for Rhinoceros/Grasshopper, a design software. These tools allowed to analyze the digital model using the EnergyPlus Weather (EPW) databases and generate interactive 2D and 3D graphics. The results showed that the PMV method was not adequate for the studied academy and, through the questionnaires, it was possible to verify that the user's comfort had no relation with the metabolic activity and thermal sensation. The simulations using the Adaptive method had a similar result to the questionnaire, and the thermal charts and maps allowed to verify which architectural aspects impacted the user's comfort and may be modified.
Keywords: Rhinoceros; Ladybug Tools; Thermal Confort; Gym; São João del-Rei

1. INTRODUÇÃO

Na arquitetura, a necessidade por edifícios com baixo consumo de energia e com qualidade ambiental tem aumentado. Assim, os estudos de análise climática têm se tornado ainda mais relevantes, pois auxiliam o projetista a definir o melhor *design* da edificação para bom desempenho térmico, aproveitamento da luz natural e, por consequência, menor consumo de energia.

Gonçalves e Bode (2015) destacam que a maioria dos projetos de mestrado em "*Sustainable Environmental Design*" publicados na *Architectural Association* tem revelado que alguns parâmetros se sobressaem em importância quando se trata de desempenho térmico do edifício, são estes: a profundidade da planta, a geometria dos ambientes, a admissão e controle da radiação solar e mecanismos adaptativos disponíveis. Por esse motivo, um dos focos do presente trabalho é o estudo da influência das aberturas (janelas) no conforto térmico, uma vez que são agentes reguladores da entrada de luz e trocas de calor e se correlacionam diretamente com o *design* do edifício.

Quando se trata de simulação computacional para verificação do desempenho térmico de um edifício/projeto, Roudsari et al. (2013) destaca vários pesquisadores que identificaram a necessidade de uma plataforma de simulação que integrasse análise ambiental, dados climáticos e geometria da construção. O *Rhinoceros* é considerado o sétimo melhor programa de design arquitetônico de 2019 pela *TechRadar's Best Architecture Software Ranking*. A criação dos aplicativos da *LadybugTools* para o *Rhinoceros* possibilitou aos arquitetos realizar simulações de conforto climático e consumo de energia em um software de projeto já consolidado na área. Os dados que são gerados pelas simulações auxiliam o profissional a ter um completo entendimento do *design* do edifício, das condições ambientais do local e da influência desses no conforto humano e no consumo de energia. Portanto, estes programas podem ser utilizados tanto quando se quer saber os efeitos das decisões projetuais no processo de desenvolvimento de um novo projeto, ou quando se deseja fazer melhorias em edificações existentes visando o conforto e a eficiência energética.

Os estudos utilizando o *Rhinoceros* para análise térmica de edifícios ainda são restritos, devido ao recente lançamento dos componentes de conforto térmico do Honeybee, em 2016. Os recursos de aprendizagem estão, em sua maioria, na língua inglesa. São vídeos disponibilizados pelos criadores, arquivos de exemplos e discussões em fórum. No Brasil, as pesquisas utilizando estes programas são incipientes. No periódico científico Ambiente Construído, por exemplo, existem somente três publicações que citam o uso das ferramentas *Ladybug/Honeybee do Ladybug Tolls* (dados de 07/2019). Como fonte de aprendizagem na língua Portuguesa existe o manual "Experiência Grasshopper-metodologia para análise digital Ambiental e Termo-Energética na Arquitetura", produto do trabalho de pesquisa de Faria (2017). Este manual trata de simulações de incidência de radiação solar nas fachadas e consumo de energia.

Recentemente, Rodrigues e Tavares (2018) elaboraram um manual de utilização da ferramenta e, por meio da aplicação prática, elucidaram o processo de uso do *Rhinoceros* para a realização de análise de conforto térmico, iluminância, microclima interno e balanço térmico de uma edificação com o *Ladybug Tools*. Também discutiram a influência do desenho do edifício nas condições de conforto térmico e iluminação natural. Baseando-se nesse manual, este artigo apresentará o estudo e a discussão dos resultados das análises térmicas realizados em uma academia, localizada em São João del-Rei - MG. Visa-se demonstrar alguns dos recursos de diagnóstico do desempenho térmico utilizando o *Ladybug Tools* e, ao mesmo tempo, propor melhorias para a academia estudada. Por meio dos gráficos e mapas gerados foi possível verificar as consequências dos aspectos construtivos e do *design* do edifício no conforto térmico e na temperatura interna.

Como estudo de caso, a academia de musculação foi escolhida como objeto de análise, pois apesar de ser um espaço de curta permanência, um ambiente inadequado pode prejudicar a performance e a saúde dos usuários, as quais, segundo Liz (2011, p.180), são as motivações de quem as frequenta. Além disso, Rodrigues e Tavares (2018, p.45) atestaram em pesquisa de campo que 75,8% das academias de São João del-Rei estão inseridas em espaços adaptados e que a implantação e posicionamento das aberturas demonstram que não houve preocupação quanto ao clima e localização das mesmas em seus projetos e construções. Segundo a mesma pesquisa de campo, a academia estudada neste artigo é aquela que representa a maioria das características presentes nas academias de São João del-Rei. Desta forma, o diagnóstico e soluções encontrados possivelmente poderiam ser aproveitados e adaptados para as demais. Por fim, este trabalho amplia o alcance das pesquisas na área de conforto uma vez que as academias são edificações pouco estudadas.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é analisar o desempenho térmico de uma academia a fim de propor possíveis soluções para a melhoria do conforto dos usuários e de avaliar a potencialidade dos recursos de simulação climática da *Ladybug Tools.*

3. MÉTODO

Para o alcance do objetivo proposto, o trabalho foi realizado nas seguintes etapas:

1. Levantamento dimensional, coleta de dados de ocupação, materiais construtivos da academia e de seu entorno;
2. Questionário para determinação do conforto térmico dos usuários;
3. Construção do modelo no *Rhinoceros* e do *script* de análise no *Grasshopper* para simular o conforto e o desempenho térmico da academia;
4. Análise e comparação dos dados obtidos em questionário com os resultados das simulações;
5. Proposição de modificações para melhoria do conforto térmico dos usuários.

3.1. Levantamento

A academia está localizada em uma via arterial de grande movimento. Encontra-se no segundo andar de um edifício de três andares. O piso do segundo andar está a 3,95m em relação ao nível da rua, o pé direito é de 2,90m e a área destinada às atividades físicas somam 218,4m².

As atividades são separadas de acordo com seu tipo. As atividades aeróbicas (bicicleta e esteira) ficam próximas da entrada da academia, na área central ficam os equipamentos para musculação e ao fundo da sala principal há uma área com poucos equipamentos para os exercícios de solo e calistenia, como demonstra a Figura 1.

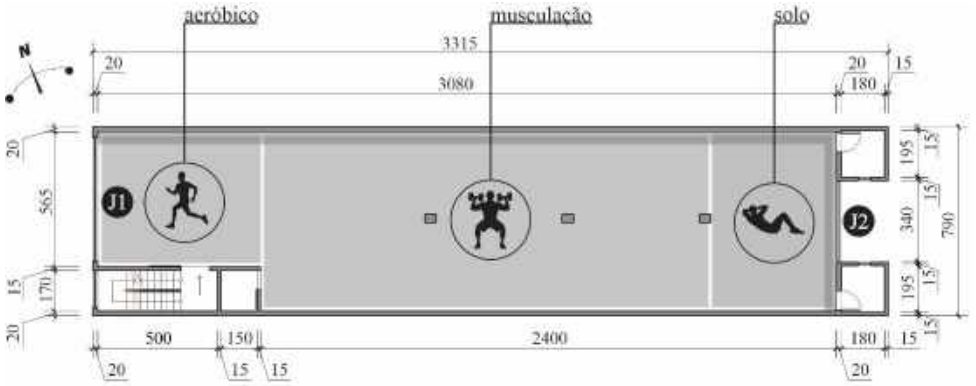


Figura 1 – Planta e disposição do espaço interno da academia estudo de caso

A fachada principal do prédio está voltada para oeste e as aberturas existentes na sala principal estão voltadas para oeste e leste. A área operável das duas aberturas é de 36% e 28% - janela 1 e 2 respectivamente. A direção predominante do vento na maior parte do ano é sudeste, no entanto, no dia extremo de calor, que foi um dos utilizados na simulação, é oeste. A Tabela 1 a seguir, organiza e tabula todos os dados de entrada necessários para executar as simulações no software. Estes dados foram coletados em visita ao local.

Tabela 1 - Dados de entrada coletados para simulação no *Ladybug Tools*

	Parâmetro	**Dado**
Geral	Forma	Levantamento da planta baixa e entorno próximo
	Orientação das aberturas	Oeste e leste
	Porcentagem de aberturas	9,70%
	Edifícios adjacentes	As laterais são geminadas, sendo o edifício da direita com altura de 3m e o da esquerda 9,5m. A frente, um boulevard e ao fundo um terreno sem construção.
	Arquivo Climático (Dados registrados pelo INMET e baixados no site da EnergyPlus)	<https://energyplus.net/weather-location/south_america_wmo_region_3/BRA//BRA_MG_Sao.Joao.del.Rei.836880_INMET>

PMV	Vestimenta média	0,35clo
	Taxa metabólica média por pessoal	6,38met (utilizada somente nas simulações de PMV)
Características do Material Construtivo	Piso	U=1,8; R=0,56
	Parede	U=2,6; R=0,38
	Cobertura	U=1,8 R=0,56
	Vidro	U=5,7
Cargas Internas (kWh)	Pessoas/m²	0,1
	Iluminação/m²	3,16W/m²
	Equipamento/m²	24W/m²
	Ventilação/m²	0,0315m³/sm² (ação do ventilador)
Horário de Funcionamento	Pessoas	seg-sex das 6hàs12h e das 14hàs22h; sab das 8hàs12h
	Luz Artificial	seg-sex das 6hàs12h e das 14hàs22h; sab das 8hàs12h
	Equipamentos	seg-sex das 6hàs12h e das 14hàs22h; sab das 8hàs12h
	AVAC	n.a.
Manipulação dos sistemas AVAC	T° para ligar/desligar aquecedor e arrefecedor	n.a.
Ventilação Natural	T°máx para janelas abertas	sempre aberta quando quente
	T°min para janelas abertas	15°C
	% operável da janela	30%

3.2. Questionário para determinação do conforto térmico dos usuários

O questionário foi aplicado a fim de obter a porcentagem de pessoas desconfortáveis termicamente e a sensação térmica delas. A partir da aplicação do questionário também foi possível obter alguns dos dados de entrada necessários para simulação, referentes aos usuários, tais como isolamento da vestimenta, taxa metabólica e número de pessoas por m².

O questionário aplicado foi construído conforme o apêndice Appendixe E do documento *Proposed Addendum to Standard* 55-2004, Thermal *Environmental Conditions for Human Occupancy* (ASHRAE, 2008).

O período de aplicação do questionário de conforto térmico foi manhã, tarde e noite, no dia 06/04/2018. As janelas foram conservadas abertas, os ventiladores desligados e as lâmpadas mantidas apagadas no período diurno e acesas no noturno durante a análise.

3.3. Construção do modelo no *Rhinoceros* e do *script* de análise no *Grasshopper*

A construção do modelo e do *script* foi feita conforme indicado no manual contido em Rodrigues e Tavares (2018, p.29 a 44). O método de utilização do *Rhinoceros* e do *Ladybug Tools* para a execução das simulações respeita um fluxo de trabalho. Inicia-se pela modelagem da geometria no *Rhinoceros*; a criação do *script* utilizando os aplicativos do *Ladybug Tools* no *Grasshopper* para execução da simulação; e, por fim, a visualização dos resultados em gráficos e mapas no *Rhinoceros*. Os tópicos 3.3.1 a 3.3.5 a seguir, pretendem apenas demonstrar o fluxo de trabalho aplicado neste trabalho, não tem por finalidade ensinar detalhadamente a criação do modelo e dos *scripts*.

3.3.1. Criação do modelo no Rhinoceros

Na plataforma do *Rhinoceros* foi criada uma geometria que representa em escala o edifício analisado e o entorno próximo. O modelo deve ser o mais simples possível, e o ambiente interno deve ser dividido em Zonas Térmicas. As Zonas são as áreas que serão analisadas na simulação. A Figura 2 ao lado ilustra o modelo criado. Em amarelo está a região ocupada pela academia.

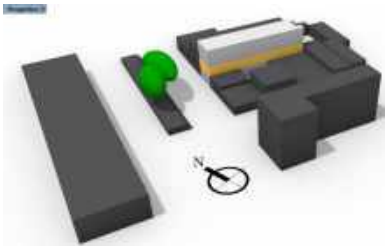


Figura 2 – Modelo criado da academia para simulação

3.3.2. Inserção dos aplicativos que introduzem o modelo criado no Grasshopper

Após a criação do modelo, é necessário inserir a informação geométrica (o modelo) no ambiente de simulação do *Grasshopper*. Isto se dá por meio dos aplicativos da *Ladybug Tools*. A inserção do modelo também é feita com base na criação das Zonas Térmicas de estudo. A Figura 3 ao lado demonstra parte do *script* criado. Esta captura de tela mostra a criação da Zona Térmica referente à área frontal da academia.

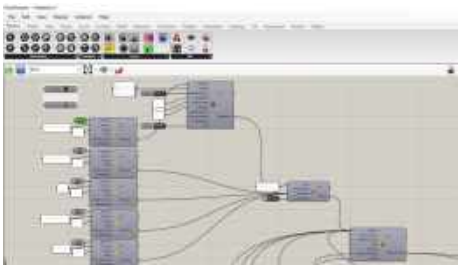


Figura 3 – Aplicativos de inserção da geometria e criação das Zonas Térmica

3.3.3. Inserção dos aplicativos que aplicam informação à geometria

Após a inserção da informação geométrica, é preciso inserir os aplicativos que possibilitam atribuir características ao edifício e ao clima local. Estas são: características dos materiais da envoltória, cargas internas, horários de funcionamento, dados climáticos (*epw) e manipulação da ventilação. Estes dados foram previamente coletados e tabulados na Tabela 1, já mencionada anteriormente. A Figura 4 ao lado, refere-se a esta etapa do fluxo de trabalho.

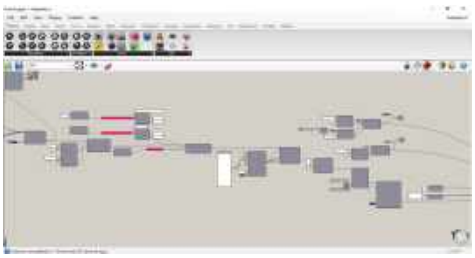


Figura 4 – Aplicativos que caracterizam o modelo

3.3.4. Inserção dos aplicativos para a análise específica desejada

A última sequência de aplicativos a ser inserida no *script* programa o tipo de simulação que se deseja executar e como os dados gerados devem ser representados. A Figura 5 representa esta etapa.

Os gráficos e mapas gerados na simulação são visualizados na plataforma do *Rhinoceros*, como demonstra a Figura 6.

Na avaliação do desempenho térmico foram utilizados os aplicativos do *Ladybug Tools* para análise de PMV/PPD, conforto adaptativo, microclima interno e balanço térmico do edifício.

O PMV/PPD é o método que prediz o conforto térmico em ambientes artificialmente climatizados baseando-se no metabolismo das pessoas, vestimenta, atividade, temperatura do ar e das superfícies, umidade e velocidade do ar. Como o PMV/PPD foi concebido para ser utilizado em ambientes condicionados, e isto não se aplica a realidade da academia, foi inserido nos aplicativos da etapa anterior um valor de ventilação mecânica que simula o volume de ar gerado pela ação dos ventiladores que existem no local.

Os aplicativos para simulação de conforto adaptativo geram informações para construção do gráfico de

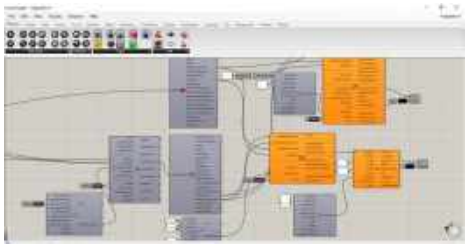


Figura 5 – Aplicativos para programar a simulação e a representação dos resultados

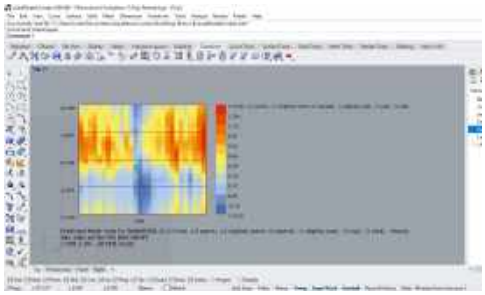


Figura 6 – Visualização do resultado simulado no Rhinoceros

conforto adaptativo e os mapas do microclima interno do edifício. O gráfico do conforto térmico adaptativo relaciona temperatura interna e externa para obtenção da condição térmica ideal. Os mapas de microclima demonstram a temperatura operativa, do ar e conforto térmico ponto a ponto da área analisada.

O gráfico do balanço térmico é construído pela média mês a mês de todas as trocas de calor que os componentes do edifício realizam. Por meio dele é possível identificar em que pontos da edificação o *design*er deve interferir para regular a temperatura interna.

3.4. Análise e comparação entre questionário e simulação

Tanto no questionário, quanto na simulação de conforto PMV e adaptativo, foi obtido o percentual de pessoas desconfortáveis termicamente. O resultado de cada metodologia foi comparado em número absoluto e por período do dia.

Para a etapa de comparação, foi utilizado nas simulações o dia extremo de calor (*cooling design day*: 21/02). Este dia é determinado na ASHRAE como o ideal para projetar os sistemas de arrefecimento do edifício. Ademais, a temperatura externa do dia da aplicação do questionário *in loco* variou entre 25°C a 30°C no período mais quente do dia, valores próximos aos tabelados no dia extremo de calor de São João del-Rei.

3.5. Simulação das propostas de modificações

As simulações para diagnóstico do desempenho térmico do edifício foram executadas no dia extremo de calor (*cooling design day*: 21/02) e no dia extremo de frio (*heating design day:* 21/06). A partir do diagnóstico feito, foram propostos três conjuntos de modificações que poderiam melhorar o desempenho térmico da academia e, a partir desses conjuntos, três novos modelos. Estes modelos também passaram por simulações de desempenho térmico com o objetivo de verificar se as modificações geraram resultados positivos. No item 4.2.1.é possível verificar quais delas resultaram em melhorias para a academia.

4. RESULTADOS

4.1 Questionário

A Tabela 2 a seguir resume os resultados obtidos pelo questionário de conforto térmico.

Tabela 2 - Resultado questionário realizado no dia 06/04/2018 na Academia.

Número	**Vestimenta (clo)**	**Taxa Metabólica (met)**	**Sensação Térmica**	**Desconforto Térmico**	**Horário**	**Tº Ar Interna-Externa (ºC)**
1	0,31	5,8	2	Confortável	10:30	
2	0,31	7	1	Confortável	10:30	
3	0,31	7,7	2	Confortável	11:00	
4	0,31	11	2	Confortável	11:00	
5	0,31	5	3	Confortável	15:00	
6	0,31	5	2	Desconfortável	15:00	
7	0,45	3,8	2	Confortável	15:30	
8	0,31	6	2	Confortável	15:30	
9	0,31	7	2	Confortável	15:30	
10	0,45	5	1	Confortável	19:00	
11	0,31	5	3	Desconfortável	19:00	
12	0,31	9.3	0	Confortável	19:00	
13	0,31	5	2	Confortável	19:00	
14	0,31	6	1	Confortável	19:00	
15	0,45	7,7	1	Confortável	19:30	
16	0,45	5,8	1	Confortável	19:30	
Média Dia	**0,35**	**6,38**	**1,69**	**12,50%**		**26,8 – 26,9**
Média do Período	Manhã 0,31	194,00	1,75	0%		26 – 26
	Tarde 0,34	156,00	2,20	20%		27,4 – 29,8
	Noite 0,37	168,43	1,29	14%		27,2 - 25

Os resultados obtidos revelam que os usuários da academia no dia 06/04/2018 apresentaram a sensação térmica de 1,69, ou seja, estavam levemente com calor à com muito calor. Cerca de 12,5% declararam-se desconfortáveis com o ambiente térmico, sendo relevante a variação dos resultados em cada período do dia. Pela manhã nenhuma pessoa declarou desconforto, no período da tarde foram obtidos os piores valores, cerca de 20% declararam-se desconfortáveis, e a noite 14%.

A temperatura do edifício às 10h da manhã já se equivalia à temperatura externa. À tarde a temperatura externa se elevou, no entanto, devido à inércia térmica, houve um retardamento na elevação da temperatura interna. O contrário ocorreu no período da tarde, devido à capacidade dos materiais de armazenar calor e ao uso, a temperatura interna não acompanhou a mesma queda da temperatura externa.

Percebe-se que a sensação de conforto não estabelece relação direta com a atividade metabólica e a sensação térmica.

4.2 Simulação

Dentre as questões levantadas neste trabalho, uma é a escolha do método adequado para predição do conforto térmico em academias. Foi constatado nas simulações que, no método PMV/PPD, o alto valor de taxa metabólica prediz como resultado 100% de sensação de desconforto por calor, mesmo com inserção de volume de ventilação que simula o efeito dos ventiladores existentes no edifício. Desta forma, esta análise apenas confirma que este cálculo é aplicável somente para atividades sedentárias, o que já era previsto pela norma (ISO 7730/2005).

O resultado obtido na simulação pelo método adaptativo se aproximou daquele obtido nos questionários *in-loco*. O desconforto por calor calculado pelo software foi de 18,5% contra 12,5% verificados em questionário na academia. Tal resultado reforça a teoria do conforto adaptativo, pois aponta que em ambientes naturalmente ventilados o conforto térmico tem maior relação com a diferença entre temperatura interna e externa e a expectativa que o indivíduo tem sobre o ambiente térmico interno, do que com a temperatura operativa, vestimenta e a taxa metabólica em si.

A Figura 7 ilustra o gráfico de conforto térmico adaptativo. A região entre as linhas diz respeito às temperaturas em que 90-80% das pessoas sentem conforto térmico e a cor revela quantas horas por ano essa condição é presenciada.

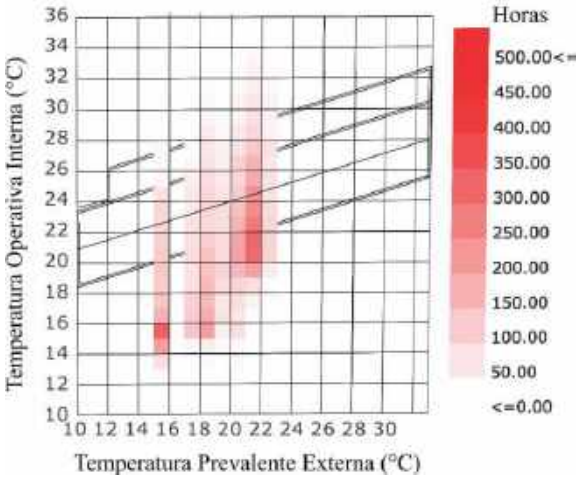


Figura 7 – Gráfico de conforto adaptativo

Ao correlacionar a Figura 7 com os dados e resultados obtidos no questionário, verifica-se que a temperatura do período da manhã e tarde encontram-se na linha ideal de conforto e a noite acima da linha central, mas ainda dentro da área de conforto. No período da tarde o gráfico de conforto adaptativo não conseguiu prever com fidelidade o aumento do desconforto térmico em consequência da elevação da temperatura externa, quase 30°C. Neste período, o resultado do gráfico representa um erro de 10%.

As Figuras 8 e 9, a seguir, referem-se à análise conjunta dos mapas do microclima interno com o gráfico de sensação térmica, ambos do conforto adaptativo. Juntos, possibilitam o estudo integrado de dimensão e tempo. Enquanto o mapa mostra a localização da média do valor obtido ponto a ponto da área analisada, o gráfico discrimina o dado hora a hora.

No dia extremo de calor, na Figura 8, a Sala Frontal apresentou o maior desconforto por calor da Academia - 35%, seguida da Sala Central com 17%. A Sala Posterior obteve resultado satisfatório de conforto adaptativo, apenas 11% de desconforto. Isso se deve ao fato de a fachada oeste receber radiação solar direta no período da tarde, do edifício ter acumulado calor ao longo de todo o dia e das temperaturas externas estarem mais altas.

Ao contrário do que ocorre em boa parte do ano, a direção do vento no dia extremo de calor é oeste. Desta forma, apesar da fachada oeste receber grande radiação solar durante o período da tarde, a ventilação ajuda no processo de arrefecimento dessa área. Ademais, essa é fachada que possui maior porcentagem de abertura, o que permite trocas térmicas com o ambiente externo.

A Sala Central não possui aberturas e, por isso, possui temperatura operativa mais homogênea, pois não realiza trocas diretas de calor com o exterior e a velocidade do ar é menor. Ademais, suas fachadas não têm incidência de radiação solar direta para o dia extremo de calor.

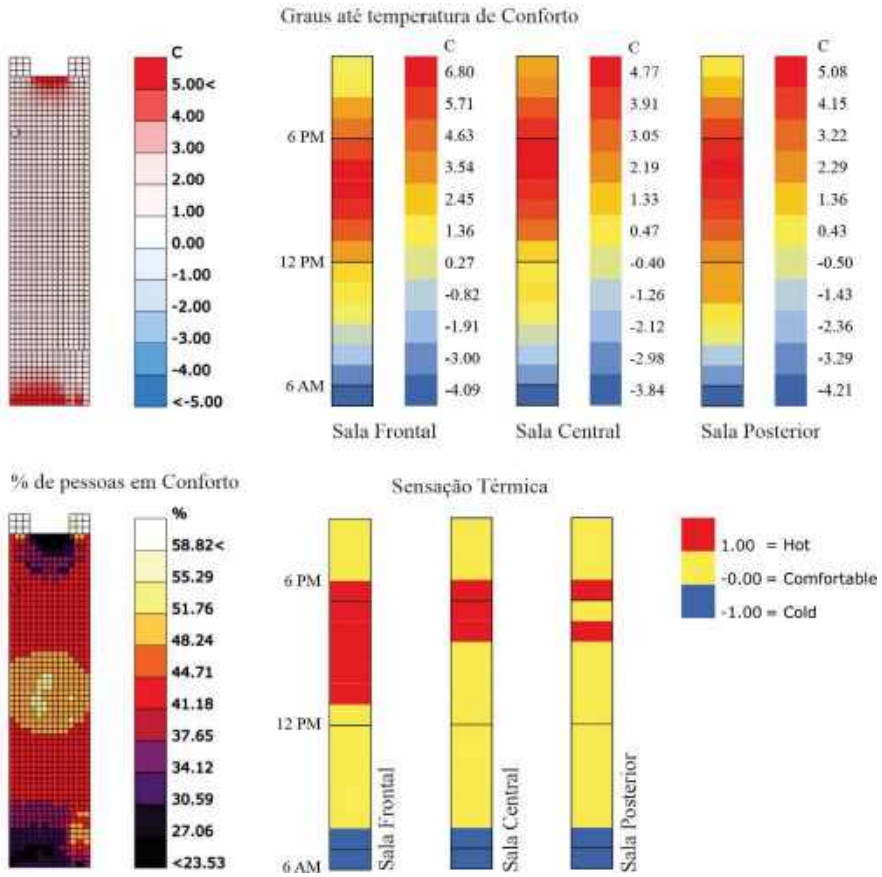


Figura 8: Microclima interno e sensação térmica da simulação de conforto adaptativo para o dia extremo de calor

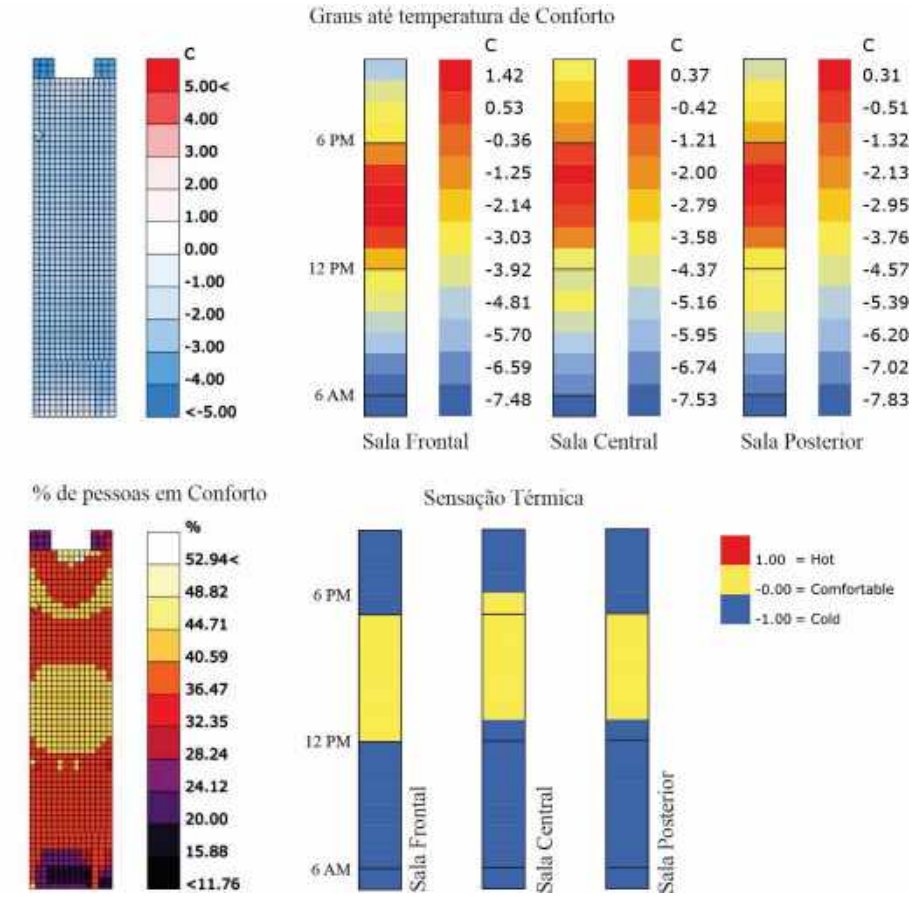


Figura 9: Microclima interno e sensação térmica da simulação de conforto adaptativo para o dia extremo de frio

A análise obtida para o dia extremo de frio, na Figura 9, resultou em desconforto acentuado por frio em todo o edifício, com valor médio de 66,6% de pessoas em desconforto. A temperatura baixa é menos aceita na sala posterior que nas demais. Isto ocorre devido à orientação (fachada leste), que não recebe radiação direta durante a tarde, acrescida das trocas térmicas através da ventilação da abertura.

Apesar da temperatura média da sala frontal resultar na temperatura indicada para o conforto adaptativo, a porcentagem de pessoas confortáveis nessa região é a mais baixa do edifício. Isto porque, além das manhãs frias, ao final do dia a temperatura nesta região cai pelo menos 1ºC a mais que nas outras duas. Efeito que pode ter causas na maior taxa de abertura dessa fachada, mas que precisaria de um estudo mais detalhado para se chegar a uma conclusão.

O gráfico de balanço térmico na Figura 10 a seguir demonstra a média de troca de calor de cada variável do edifício mensalmente. Por meio destes dados que se define onde devem ocorrer intervenções para melhorar o desempenho térmico do edifício.

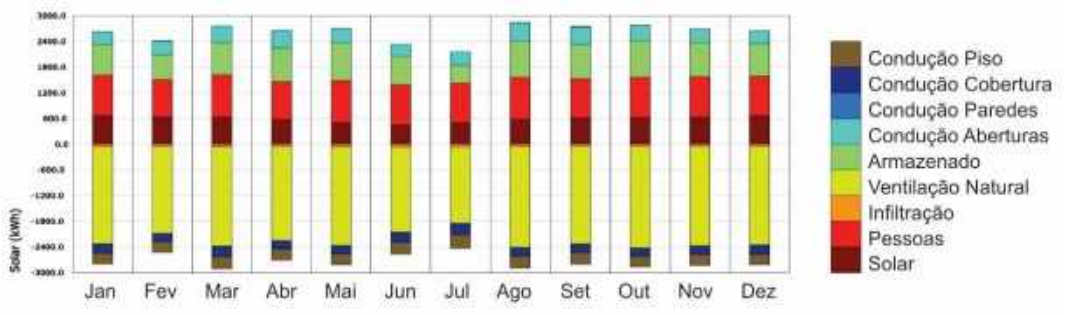


Figura 10 - Balanço térmico do edifício existente

A começar pela análise da condução do piso e cobertura, nota-se que ambas são fontes de perda de calor. Isto ocorre principalmente por que a academia se encontra entre dois pavimentos, ou seja, essas faces não trocam temperatura direta com o exterior nem recebem radiação direta. As paredes têm um equilíbrio entre ganhos e perdas de calor no ano inteiro. Valores positivos (ganho de calor) aparecem de forma pouco expressiva. Conclui-se assim, que as paredes possuem material adequado para o clima local, pois proporciona equilíbrio de perdas e ganhos de calor independente da estação.

A condução das aberturas é positiva para todos os meses do ano. Isto por que o vidro simples possui alta transmitância térmica. A infiltração diz respeito à vedação das aberturas do edifício. Tanto ela, quanto o calor gerado pelas pessoas foram calculados utilizando valores padrão. No caso das pessoas, é possível inferir que os dados reais seriam maiores que os demonstrados no gráfico, pois a atividade metabólica das pessoas na academia é maior que a do padrão utilizado para criar o gráfico, sendo esta uma limitação do programa.

A ventilação natural é a variável de maior relevância nas trocas térmicas do edifício e causa grande perda de calor em todos os meses do ano. A orientação das aberturas favorece a ventilação cruzada, pois estão em fachadas opostas e direcionadas para o vento predominante. Além disso, no dia extremo de calor, a abertura da fachada oeste coincide com a direção do vento predominante.

Os resultados acima confirmam que as aberturas são o fator principal na determinação das trocas térmicas do edifício do estudo de caso, e por assim dizer, na temperatura e conforto interno, como mencionado no referencial teórico deste trabalho. Além de permitirem a entrada facilitada da radiação solar, são elas que regulam a ventilação natural.

4.2.1. Proposta Final para melhoria do desempenho térmico da academia analisada

Visto as condições acima assinaladas, conclui-se que é preciso propor estratégias para aumentar a perda de calor e proteger as aberturas da radiação direta no verão e no inverno restringir a ventilação e aumentar os ganhos por condução das aberturas.

Para chegar a uma proposta formal mais específica, foram realizadas simulações de desempenho térmico de algumas possíveis modificações. Algumas variáveis foram testadas para chegar à proposta que gerasse maior benefício, sendo estas: porcentagem de aberturas das fachadas; porcentagem de área operável das aberturas; inserção de brises; proposição de temperaturas limites para abrir/fechar janelas (controle da ventilação natural).

A proposta final para melhoria do desempenho térmico da academia é:

a) Controlar a entrada de ventilação natural por meio de cronograma de utilização das janelas. No período de calor permitir ventilação cruzada durante todo o horário de funcionamento da academia, e no período de

frio, restringir a ventilação. Observando o gráfico de conforto adaptativo, foi taxada a temperatura de 20°C no interior como a mínima para se abrir as janelas nesta data. Esta temperatura é a mais baixa dentro da região de temperatura de conforto.

b) Aumento da taxa operável da abertura de 30% para 66%. A ampliação da taxa operável melhorará o arrefecimento no verão por meio da ventilação cruzada.
c) Implantação de brise horizontal para proteger da radiação direta apenas no horário que o sol está mais alto. Sugere-se brise com ângulo alfa de 60° na fachada leste e na fachada oeste de 55º. Este brise ajudará no arrefecimento do edifício no verão, e seu tamanho ainda permite que o edifício possa receber sol nas aberturas no inverno;
d) Realocar os exercícios na academia de acordo com a temperatura do ambiente e a taxa metabólica. Exercícios de alta taxa metabólica devem ficar na zona mais fria da academia (Sala Posterior).

5. CONCLUSÕES

O clima de São João-del Rei oferece desafio para a proposição de estratégias passivas para conforto térmico, pois possui invernos muito frios e verões quentes, que influenciam diretamente na temperatura do edifício e no conforto do usuário. Os aplicativos da *Ladybug Tools* ofereceram uma gama de gráficos e mapas que auxiliaram a obter uma visão ampla da relação entre *design* arquitetônico e as consequências que este tem no desempenho térmico da academia estudada. Por meio deles foi possível propor soluções para a melhoria do conforto térmico da academia.

Ao correlacionar o questionário com os métodos de predição de conforto térmico PMV e adaptativo, ressalta-se algumas questões: o desconforto térmico não teve relação nem com a taxa metabólica e nem com a sensação térmica, uma vez que o usuário da academia já espera sentir calor em sua atividade física; apesar de ter demonstrado maior relação com a temperatura interna e externa, o gráfico de conforto adaptativo não prevê com alto grau de fidelidade o conforto real.

Em relação aos gráficos de conforto adaptativo, balanço térmico e mapas de microclima interno, são utilizados valores padrões para carga gerada pelas pessoas, não existe um recurso para aumentar esta carga, como seria necessário no caso de uma academia de musculação.

Conclui-se, portanto, que os gráficos e mapas gerados são grandes aliados na tomada de decisão projetual, mas que, neste caso de edifício existente com o uso de academia de musculação, não alcançam a precisão de uma pesquisa *in-loco* com os usuários da edificação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BSR/ASHRAE. **Addendum d to ANSI/ASHRAE Standard 55-2004**, *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy* First Public Review Draft (Shows Independent Substantive Changes to Current Standard). 2008

CASTO, Adriana. **Análise da Refletância de Cores de Tintas Através da Técnica Espectofotométrica**. Dissertação de mestrado. UNICAMP. Campinas, São Paulo. 2002

FARIA, Roberta. **Experiência Grasshopper-metodologia para análise digital Ambiental e Termo-Energética na Arquitetura.** Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. UnB. Brasília, 2017

FROTA, A.; SCHIFFER, S. **Manual de Conforto Térmico**. 8a edição. São Paulo: Studio Nobel, 2003.

GONÇALVES, Joana; BODE, Klaus. **Edifício ambiental**. Oficina de Textos, 2015.

HONEYBEE CREATES. **Honeybee**. Ladybug tools LLC, 2017-2018. Disponível em <https://www.ladybug.tools/honeybee.html> Acessado em 09/2018.

ISO - International Standards Organization. **ISO 7730**: Ergonomics of the thermal environment -- Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.

LADYBUG PERFORMS. **Ladybug.** Ladybug tools LLC, 2017-2018. Disponível em <https://www.ladybug.tools/ladybug.html> Acessado em 09/2018.

LAMBERTS, Roberto; XAVIER, Antônio. **Conforto e Stress Térmico**. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Florianópolis, 2008.

LIZ, Carla. **Motivação para a Prática de Musculação de Aderentes e Desistentes de Academias**. Florianópolis, 2011.

PROJETEEE. **Ventilação natural**. UFSC. Diponível em <http://projeteee.mma.gov.br/estrategia/ventilacao-natural/> Acessado em 10/2018.

RODRIGUES, Linda; TAVARES, Laura. **Aplicabilidade do Rhinoceros na Análise Climática de Edifícios: Estudo de caso em academia de musculação de São João del-Rei.** Trabalho de Conclusão de Curso de Arquitetura e Urbanismo. UFSJ. São João del-Rei. 2018.

ROUDSARI, Mostapha; PAK, Michelle; SMITH, Adrian. **Ladybug: A Parametric Enviromental Plugin for Grasshopper to Help *design*ers Crate an Environmentally-Conscicius *Design***. 13th Conference Of International Building Performance Simulation Association. Chambéry, 2013.