

XXXIV Encuentro Arquisur.
XIX Congreso: “CIUDADES VULNERABLES. Proyecto o incertidumbre ”

La Plata 16, 17 y 18 de septiembre.
Facultad de Arquitectura y Urbanismo – Universidad Nacional de La Plata

EJE: Investigación
Área 2 – TECNOLOGÍA

ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO DE ESQUADRIAS

**Prof. Dr. Roni Anzolch,
Acad. Bruna Fleck**

Laboratório de Conforto Ambiental. Faculdade de Arquitetura - UFRGS. Porto Alegre, RS. Brasil.
www.labcon.com.br –
labcon@ufrgs.br

Este estudo tem por objeto analisar o desempenho climático de esquadrias e sua interação com distintas tipologias arquitetônicas. Porém, nosso foco são esquadrias que geralmente não são encontradas e/ou oferecidas no mercado, uma vez que foram produzidas com finalidades de controle climático muito específicas. O que exige entender seu comportamento em relação às tipologias arquitetônicas para as quais foram projetadas e que possam ser inseridas num perfil de comportamento térmico já conhecido por meio das zonas bioclimáticas. A questão é que pouco se sabe do grau de interação do desenho de aberturas com as tipologias arquitetônicas além de uma comprovação empírica e, por isso, nos propomos a nos aprofundar no assunto através de medições e simulações computacionais.

Nas simulações feitas até aqui, os modelos testados levam em consideração todas as características construtivas e de uso das edificações e os resultados iniciais foram bem interessantes e ensejam alguma discussão sobre o comportamento térmico destas edificações. Entretanto, encontramos restrições ao uso da base de dados climáticos mais aproximados às reais condições de medição, porque alguns programas até aqui testados não aceitam a modificação de sua base de dados e, portanto, não permitem uma melhor aproximação da simulação com a realidade medida.

Palavras chave: **ESQUADRIAS – SIMULAÇÃO – DESEMPENHO CLIMÁTICO**

1. ESQUADRIAS E TIPOLOGIAS ARQUITETÔNICAS

Na história da arquitetura brasileira, seja ela erudita, vernácula, moderna ou tradicional, pode-se perceber o grau de importância das esquadrias no resultado final do arranjo arquitetônico. Sem menosprezar os aspectos estéticos, há que se considerar, nos casos mais exemplares, a importância dos aspectos de controle climático como parte de um processo de projeto. Processo que implica na consideração de dispositivos capazes de interagir com as especificidades do clima para o qual foram pensadas. Claro que precisamos considerar a pré-existência de certos usos como aspectos de uma cultura construtiva que, para o nosso objeto de estudo, constitui um marco. E é a partir disso que pensamos entender a contribuição das inovações nestes elementos, procurando compreender e analisar sua presumida eficácia.

As tipologias arquitetônicas configuram, aqui, este marco, pois será a partir delas que pretendemos estabelecermos parâmetros comparativos de eficiência do projeto de esquadrias. E os parâmetros dos quais falamos são físicos, como temperatura do ar e umidade relativa, pois supomos que a interação entre a tipologia arquitetônica e as esquadrias seja um fato positivo, ou seja, cujos dados mensurados indiquem um desempenho climático favorável das edificações face ao clima nas ditas zonas bioclimáticas, tal como preconizadas por Givoni (1994) e Olgay (1998).

Entretanto, se mensurar o comportamento térmico de edifícios não é nenhuma novidade, o mesmo não se pode dizer das comparações de desempenho que se possa fazer. E isso é exatamente o que os recursos computacionais hoje disponíveis nos oferecem pelo fato de que já é possível simular com certa confiabilidade nos resultados. Portanto, na prática, se dispusermos de dados mensurados podemos comparar com os simulados e vice-versa, visando a acurácia dos modelos e dos estudos de caso. Com isso chegamos ao nosso objetivo que é o estudo da contribuição das esquadrias às melhorias do conforto térmico, pois é quase impossível encontrar-se situações reais em que possamos comparar a mesma edificação no mesmo entorno, sob as mesmas condições climáticas, mas com aberturas diferentes, salvo se construirmos modelos físicos para tal fim, o que geralmente implica em dispêndios materiais consideráveis.

Na via das simulações, a norma brasileira NBR 15520 (2005) já prevê procedimentos relativos à isto, uma vez que em grande número de casos, procedimentos de certificação energética como o RTQ-C (2013) e o RTQ-R (2012) não são aplicáveis. É o que ocorre quando há o uso de dispositivos especiais de ventilação, projetos arquitetônicos climaticamente diferenciados ou projetos que levem em consideração a influência do entorno.

Então, se inicialmente nos propusemos a estudar o desempenho climático das esquadrias na arquitetura modernista no Brasil e sua interação com o projeto arquitetônico, este trabalho representa um passo atrás, metodologicamente necessário, no sentido de recompor o estudo de uma trajetória aparentemente exitosa, mas da qual só temos comprovações empíricas de sua eficácia. Então, por um lado nos deparamos com a dificuldade de se conseguir as condições ideais para realizar medições de desempenho térmico de edificações, onde ponteiavam várias restrições, que vão das condições atmosféricas à disponibilidade de local e mesmo segurança dos equipamentos. E, por outro, há um vasto mundo de possibilidades que as simulações computacionais prenunciam, mas sobre as quais ainda não sabemos o quanto representam de fato uma situação real.

2. ESTUDOS DE CASO: NORMAS, DADOS CLIMÁTICOS E EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS

O estudo do desempenho térmico das edificações por meio de simulações passa necessariamente pelo reconhecimento das estratégias de conforto prescritas na carta bioclimática, na disponibilidade de dados climáticos fiáveis e consistentes, no conhecimento das variáveis termodinâmicas aplicáveis às construções, na fisiologia do corpo humano (stress térmico) e nas condições do entorno das edificações (obstruções). A carta constitui a expressão gráfica dos limites a que o corpo humano pode ser submetido em situação de repouso em termos de temperatura do ar e umidade relativa e das zonas de influência da construção em função destas características climáticas. Dito isso, passaremos a uma descrição das condições prévias de simulação.

No caso brasileiro, através de dados climáticos coletados e analisados foram criadas zonas bioclimáticas para todo o território, divididas inicialmente em oito zonas. Portanto, de acordo com a Norma Brasileira 15220-3 a cidade de Porto Alegre encontra-se na zona bioclimática 3, onde se preconiza o uso de paredes externas leves e refletoras à radiação solar, necessidade de ventilação cruzada, uso de aberturas para ventilação de médio porte, sombreamen-

to destas aberturas de forma a permitir o sol do inverno, coberturas idealmente isoladas, além disso aquecimento solar e grande inércia térmica nas vedações internas.

Porto Alegre possui inverno com temperaturas baixas e verão com temperaturas elevadas resultando num tratamento de adversidades climáticas, ou seja, grande amplitude térmica diária associada com a proximidade do estuário do Guaíba, que aumenta o grau de umidade no ar. As condições de projeto em Porto Alegre devem prover sombreamento das aberturas no verão, devido à amplitude térmica e evitando a exposição de grandes áreas envidraçadas para a orientação oeste. No inverno devem ser previstas a vedação das aberturas dos ambientes, evitando que o calor escoe do interior para o exterior durante a noite. Em síntese, não se trata de rigor climático extremo ou contínuo no verão ou no inverno e soluções relativamente simples podem atenuar o eventual desconforto nas edificações. Na maior parte do ano o conforto pode ser obtido com um projeto que considere soluções de ventilação para o verão e massa térmica para ambos, verão e inverno. O dimensionamento das aberturas, em função da orientação e o sombreamento dessas no verão, é imprescindível.

Os dados climáticos mais difundidos no Brasil são as Normais Climatológicas, publicadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET-1979) e pelo Departamento Nacional de Meteorologia (1992). Compostos de valores médios e extremos mensais de temperatura, umidade, precipitação, nebulosidade, horas de sol. Através da análise destes dados pode-se dispor de uma boa análise climática do local de projeto

Exemplo	Descrição	Endereço	Ano	Tipologia das esquadrias	Situação	Foto referência
Solar Lopo Gonçalves	Edificação histórica; uso: Museu de Porto Alegre Joaquim José Felizardo; presença de vegetação no entorno	Rua João Alfredo, 582	entre 1845 e 1855	janela guilhotina (sem contrapeso)		
Edifício América	Edificação dos anos 50; uso: residencial; apartamento localizado no 3º andar	Av. Independência	1946	janela "farrupilha" (com contrapeso)		
Laboratório de Energia Solar	Edificação segundo critérios de uma arquitetura bioclimática; uso: Laboratório de Energia Solar da UFRGS LABSOL	Campus do Vale UFRGS	1990	esquadrias de abrir		

Fig. 1 - Edificações em estudos de caso para Porto Alegre.

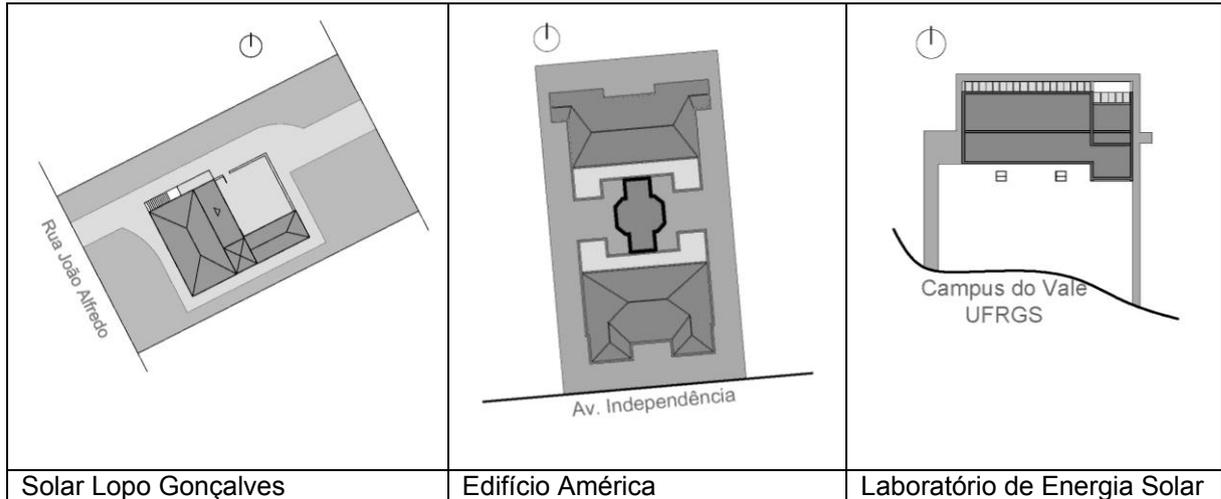


Fig. 2 - Implantação dos estudos de caso.

Quanto aos exemplares escolhidos para estudo de casos nos detivemos em exemplos significativos de três épocas distintas: um prédio histórico do século XIX, localizado em área central consolidada e densa, onde atualmente funciona o Museu da Cidade; um prédio residencial da década de 1950, erguido em zona aristocrática densa e um prédio construído ao final dos anos 80 num dos campi da UFRGS, em zona de natureza rural (campos e mata preservada), segundo os critérios da arquitetura solar então em voga e construído para albergar as atividades do Laboratório de Energia Solar. A escolha destes edifícios nos pareceu inicialmente longe da ideal, mas considerados os aspectos de segurança para as medições, era o que podíamos encontrar de mais adequado, resguardada sua representatividade. É que, tipologicamente falando, as três edificações representam momentos históricos bem distintos da construção da cidade, tanto quanto formas de construir também diferenciadas (Fig. 1).

O primeiro prédio, o Solar da Lopo Gonçalves, foi construído em meados do século XIX em área periférica ao centro da cidade e está arrolado como patrimônio histórico da cidade. Possui dois pisos, cobertura de telhas cerâmicas com forros, entrepiso de madeira e divisões com tabiques de estuque. Suas paredes de alvenaria maciça têm 60 cm de espessura e é um bom exemplo de edificação baixa com alta inércia térmica. Suas aberturas são de tipo “guilhotina”, típicas da arquitetura açoriana da cidade. São dotadas de postigos internos sendo que as vidraças ficavam expostas para o exterior. O segundo prédio, o Edifício América, de nove pavimentos, foi construído na década de 1950, também em área periférica da cidade, em crista de elevação, e pode ser inserido como representante dos primeiros edifícios de apartamentos na cidade, formado por dois blocos de frente e de fundos interligados por uma circulação condominial central e cercado por edificações mais ou menos da mesma altura. Suas paredes são de tipo Eckert “sui generis”, de 30 cm de espessura, com duas camadas de tijolos maciços assentados em cutelo e com espaço de mais ou menos 20 cm entre estas duas camadas. Suas janelas são de tipo “farroupilha”, uma tipo de esquadrias muito usado nesta época, dotado de contrapesos, fechamento sob pressão e persianas projetáveis originalmente executadas em madeira. O terceiro prédio, o Labsol, é um típico representante da “arquitetura solar” dos anos 70, projetado com foco na utilização de sistemas passivos de aquecimento e refrigeração. É, do ponto de vista de sua construção, bem mais leve que as anteriores, fazendo uso de paredes “trombe” e isolantes sintéticos. Sua fachada norte é quase totalmente envidraçada e possui acumuladores e dispositivos reguladores de fluxo térmico.

No primeiro caso, a medição foi feita em uma sala do 2º piso, com aberturas para NO e SE, o entorno é bem arborizado e está sob influência direta deste microclima. No segundo caso, a medição foi feita num apartamento do 4º piso, na sala de estar, que possui uma única abertura para OSO. No terceiro caso, a medição foi feita no ambiente do próprio laboratório, junto à fachada acumuladora voltada para norte.

3. PROCEDIMENTOS

Metodologicamente, no entanto, como já dissemos, se impõe o desafio de comparar coisas distintas entre si. Se, do ponto de vista prático é quase impossível dispor, em situação de estudo de caso real, de dois compartimentos perfeitamente similares com esquadrias diferentes de mesmo tamanho e orientação (além da questão microclimática), o mesmo não ocorre quando o modelo é computacional. Por conta disso nos deparamos com a necessidade de um aprofundamento da fase de aferição do modelo de cada edifício de modo a constituir uma base mais acurada, onde as esquadrias poderão ser trocadas em futuras simulações.

3.1. MEDIÇÕES

Para as medições no local foram tomados sempre um ponto no interior e outro no exterior imediato de cada edificação, de modo a registrar a ambiência microclimática externa às aberturas. Também foram tomados como referências exteriores um ponto fixo na Faculdade de Arquitetura (UFRGS), no centro da cidade e outro em uma residência de um bairro suburbano mais afastado. Planejamos inicialmente executar uma medição em período típico de verão e outra em situação típica de inverno.

Como equipamento utilizamos *data loggers* compactos que permitem o registro das condições ambientais por certo período de tempo e a posterior transferência dos dados armazenados em planilhas eletrônicas. Segundo a ISO 7726 (1998), a precisão desejável para medições de temperatura é de aproximadamente 0,2 °C para cálculos de conforto térmico. Os *data loggers* têm precisão de aproximadamente 0,4°C, podendo ser limitados para algumas aplicações. Porém, como as medições serão voltadas para análise acadêmica superficial, para fins de comparação, a precisão não necessita ser tão acurada.

3.2. PRIMEIROS RESULTADOS: MEDIÇÕES DE VERÃO

Na condição de verão, os ambientes foram medidos simultaneamente durante 8 dias, de 5 a 12 de dezembro. As condições climáticas, na primeira etapa da medição, para condição de verão foram de tempo claro com tendência de aumento de temperatura e ocorrência de precipitação no último dia. Do ponto de vista microclimático, ou seja, das referências externas, o que mais se destacou, à primeira vista foi o comportamento do Solar do Lopo (Fig. 3), com expressivas reduções de temperaturas máximas devido à arborização de grande porte, com amplitudes de até 5°C. Nos demais casos, as variações foram típicas de espaços abertos, mas com certa redução no caso do Edifício América (Fig. 4), por efeito da obstrução de edifício próximo que reduz boa parte da insolação da tarde, com amplitudes de até 9°C. No terceiro caso, no Labsol (Fig.5), registramos fortes oscilações de temperatura, com amplitudes de mais de 16°C, típicas de áreas descampadas. Nos dois primeiros casos nos deparamos com uma clássica manifestação da ilha de calor urbano, com temperaturas mínimas mais elevadas e máximas mais baixas. No último caso, embora as condições climáticas externas tenham se revelado mais severas, entendemos isso como algo que fortaleceria as condições de funcionamento do sistema proposto.

Estudo de Caso 01 - Medição de Verão - Solar Lopo Gonçalves

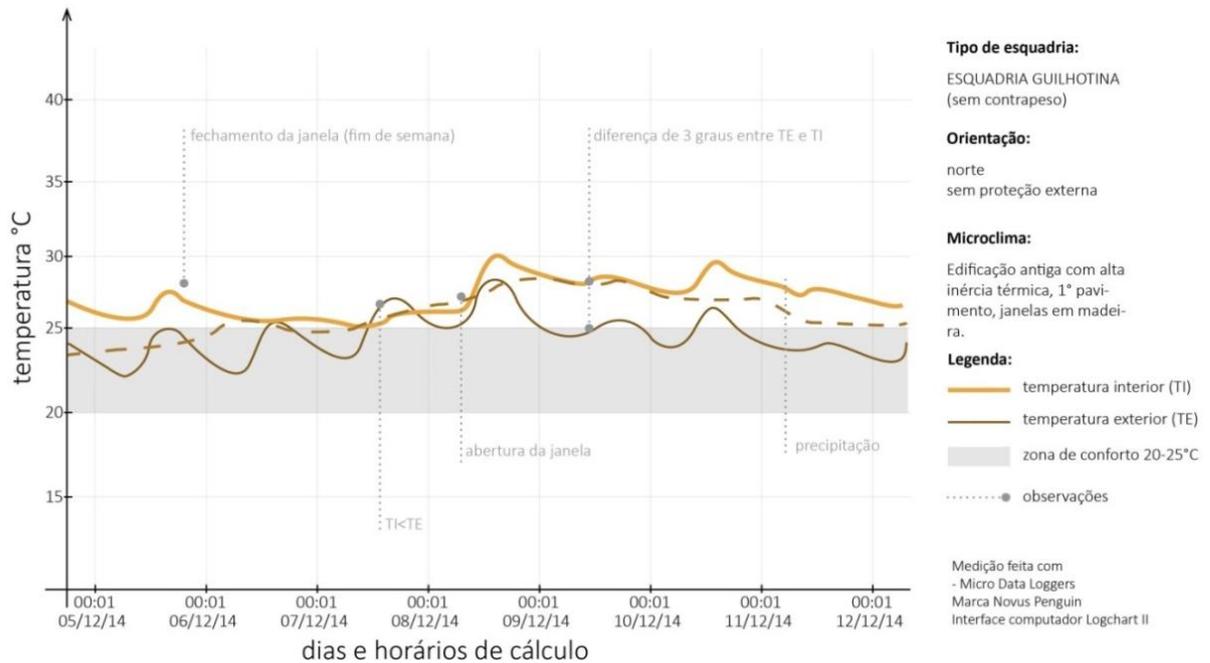


Fig. 3 - Solar da Lopo Gonçalves: séries de temperatura interna e externa para a condição de verão.

Estudo de Caso 02 - Medição de Verão - Edifício América

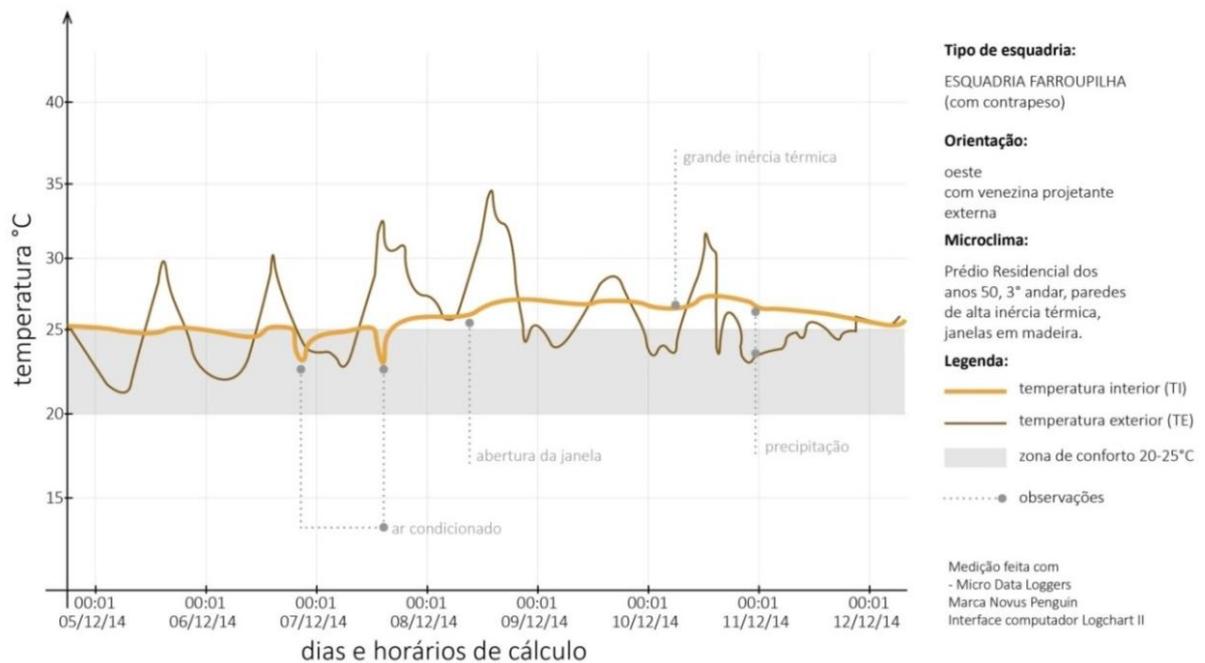


Fig. 4 - Edif. América: séries de temperatura interna e externa para a condição de verão.

Estudo de Caso 03 - Medição de Verão - LABSOL

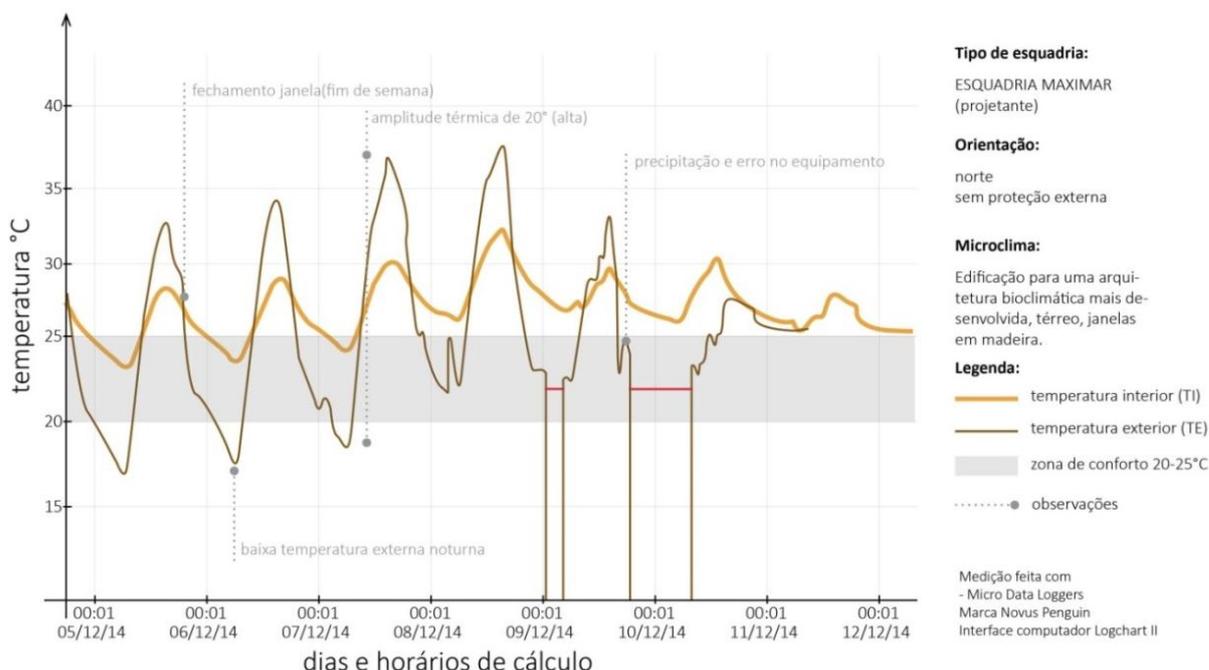


Fig. 5 - Laboratório de Energia Solar: séries de temperatura interna e externa para a condição de verão. A anomalia de temperatura externa se deveu à precipitação sobre os registradores.

Do ponto de vista do desempenho térmico as edificações demonstraram a importante contribuição da inércia térmica na redução da amplitude térmica interna. No caso do Solar da Lopo obtivemos amplitudes de até 2°C com prédio fechado e de até 3°C com a abertura das janelas, mas com incremento médio de 3°C na temperatura média e tendência a manter as temperaturas internas no pico, entre 28 e 30°C. No caso do Edifício América, as amplitudes foram ainda menores, oscilando em torno de 1°C, acusando aumento de temperatura média interna de cerca de 1°C com a abertura da janela. Neste caso, é interessante notar que este pequeno aumento deve estar associado à obstrução pelo prédio vizinho nos horário de maior temperatura e incidência solar. No Labsol, registramos amplitudes internas em torno de 5°C, a mais elevada dos três casos ainda que as máximas internas tenham chegado a 5 ou 6°C a menos que as máximas externas, com mínimas internas no mesmo patamar só que a mais que as mínimas. Neste mesmo local, a ocorrência de precipitação sobre o registrador externo causou anomalia nas medições. A temperatura basal interna, nos três casos, oscilou, entre 22 e 28°C, no caso do Museu, entre 25 e 27°C, no caso do edifício e entre 24 a 32°C no caso do laboratório.

3.2. SIMULAÇÕES

Paralelamente às medições, no início das simulações computacionais percebemos a dificuldade de conseguir o histórico de dados climáticos, pois a maioria fornecida é uma média de temperaturas, excluindo situações atípicas, como por exemplo, os meses mais quentes ou mais frios. Porém, segundo as medições, percebemos a frequência da amplitude térmica diária, apresentando extremos constantemente. Definiu-se, então que os arquivos a serem elaborados deveriam apresentar o formato EPW, adotado no EnergyPlus, software para simulação térmica e energética de edificações. O formato EPW engloba 27 outras, que foram estimadas por cálculo ou por meio do aplicativo Weather-Converter, distribuído juntamente com o EnergyPlus e utilizado para conversão de arquivos climáticos. A manipulação de dados foi feita apenas nas variáveis de temperatura e umidade.

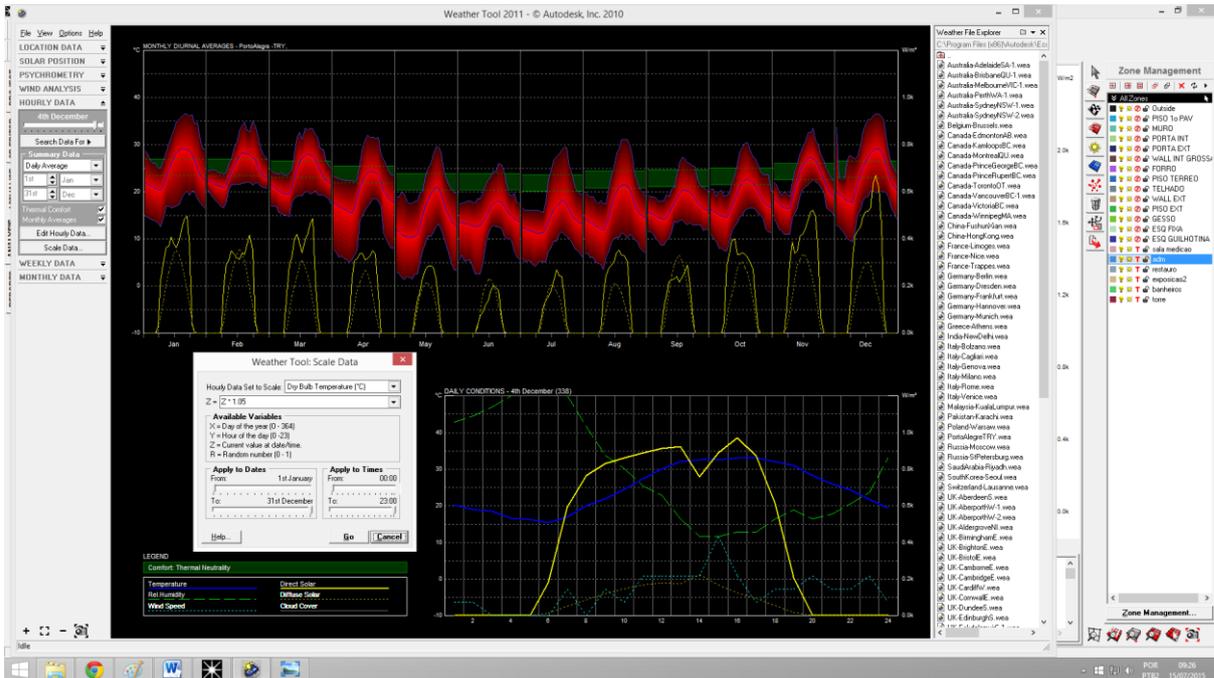


Fig. 6 - Saída do Ecotect mostrando as temperaturas médias anuais com o *weather tool scale*. Porém mesmo mudando o algoritmo para 0, o programa faz uma estimativa das médias. Em verde pode-se observa a zona de conforto e no gráfico do dia 4 de dezembro afere-se a temperatura de tal dia segundo o arquivo climático.

Assim, entre os diversos métodos e tentativas sobre modificação das variáveis climáticas, considerou-se que o TMY (Typical Meteorological Year) seria adotado, como a maioria das simulações. Resumidamente, dispendo-se de uma sequência de dados históricos de vários anos, o método consiste em, para cada estação e cada mês, excluir-se sucessivamente os anos mais quentes e mais frios, até que reste apenas um considerado como o mês típico do lugar. Dessa forma, para que o estudo tivesse melhor comparação com as situações reais de temperatura e umidade medidas diretamente nos devidos microclimas, a melhor solução foi a de manipulação dos dados de umidade e temperatura nas semanas de medições de verão e de inverno.

A partir dessa resolução, começamos a manipular os dados climáticos no programa Autodesk Ecotect Analysis, porém o programa não responde bem à modificação de dados, pois a presença de algoritmos faz com que ao modificar uma variável o resto sofra alterações em escala automaticamente como, por exemplo, em variáveis como iluminação difusa e direta, velocidade do vento, etc. Desse jeito, a análise de situações de um dia de cálculo não seria possível em tal programa, nem a tomada de medições em série, nem, por conseguinte, o efeito de inércia térmica destas séries.

O Ecotect (Fig. 6), embora menos preciso que outros programas de simulação, como o Energy Plus, é utilizado devido à de aprendizagem mais curta e portanto mais adequada à aproximações preliminares ao projeto arquitetônico. A menor precisão desta ferramenta faz com que os valores obtidos sejam válidos em nível relativo e não absoluto. Assim, sobre o Ecotect concluímos que sua utilização restringe-se ao processo de criação de projeto, em etapas sem necessidade de especificações maiores. Já em nível de avaliação de temperatura após projeto construído (estudos de caso), não seria a melhor indicação.

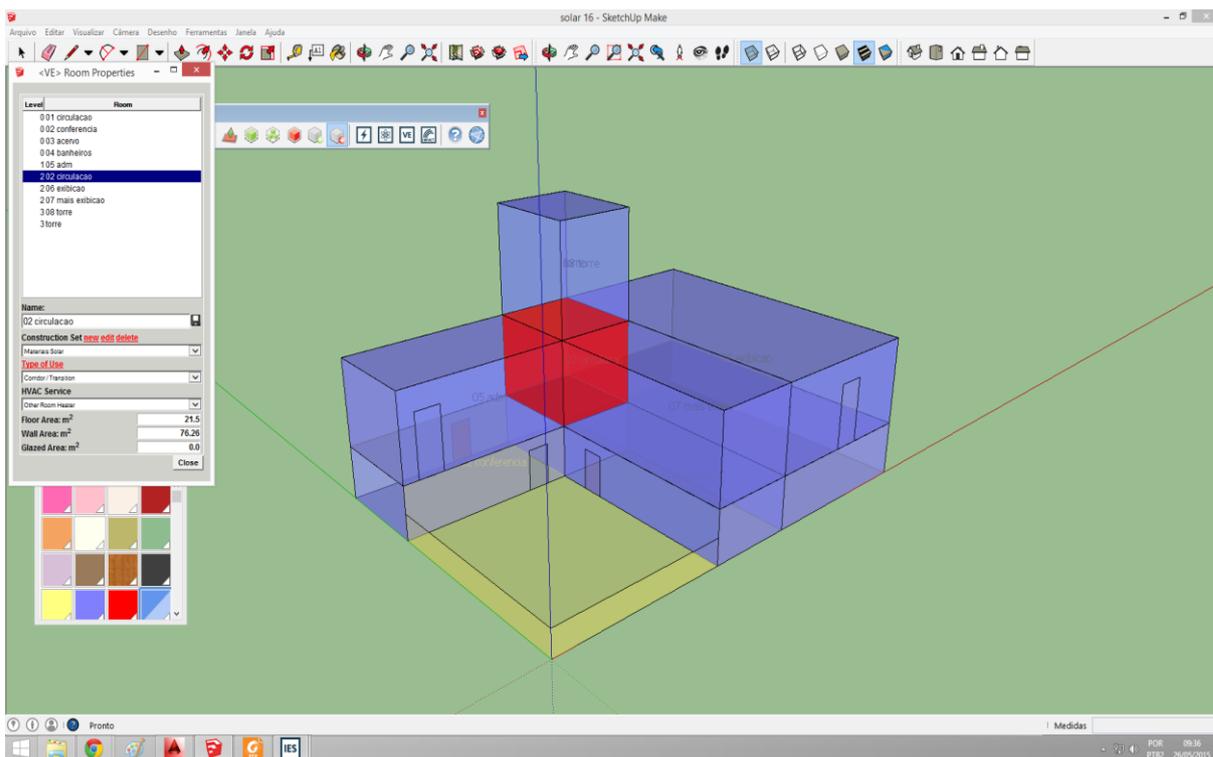


Fig. 7 - Plugin do IES com o SketchUp mostrando o reconhecimento das zonas térmicas existentes no estudo de caso.

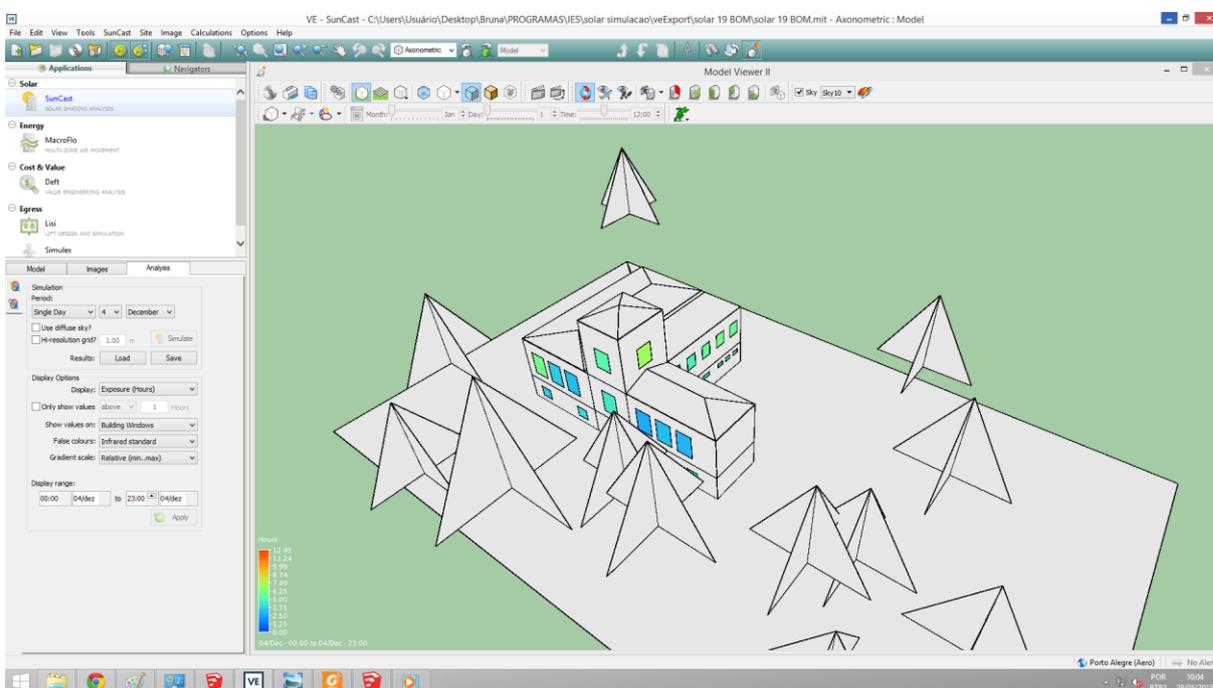


Fig. 8 - Interface do IES mostrando as horas de exposição solar das aberturas do Solar Lopo Gonçalves.

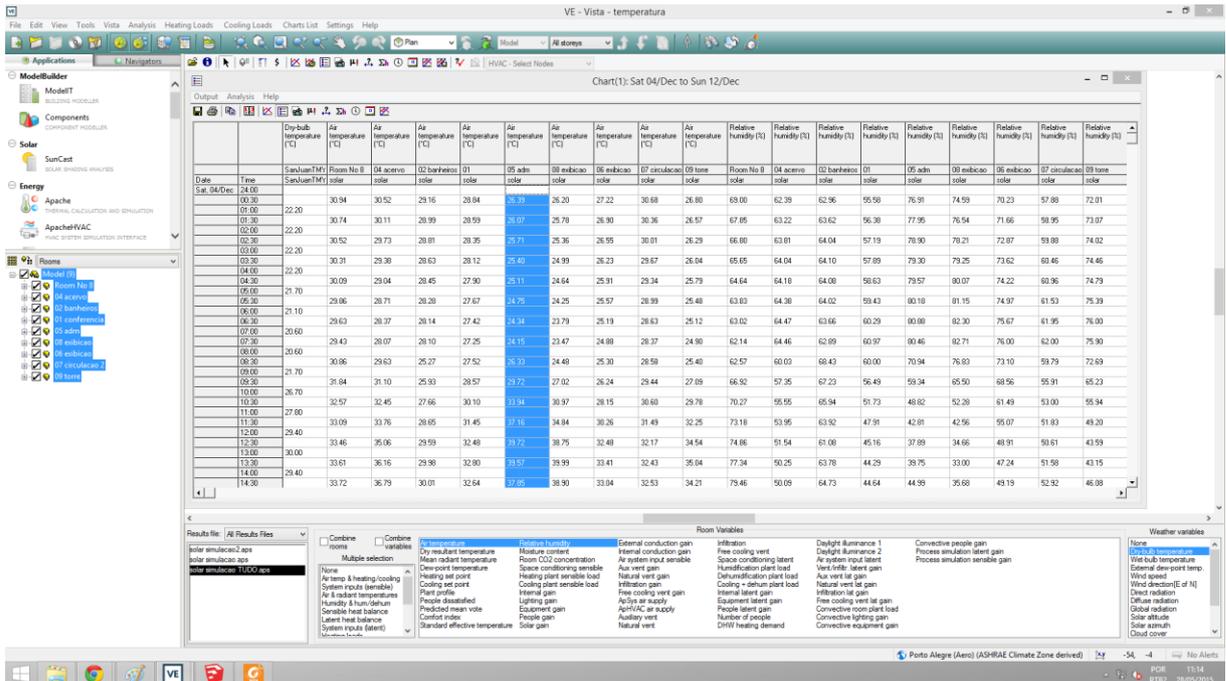


Fig. 9 - Tabela de temperatura e umidade de todas as zonas térmicas aferidas após simulação feita de hora em hora, além disso é possível ver lista de variáveis que podem ser consideradas na simulação.

Fizemos tentativas de utilização do programa EnergyPlus, porém a sua interface é mais complicada do que a interface do IES VE e devido ao tempo que tínhamos para a pesquisa e ao conhecimento prévio com o programa IES, optou-se por esse programa. Assim, feito o download do pacote de teste de 30 dias, vimos alguns possíveis resultados que podem ser aferidos do programa, como por exemplo os figuras abaixo. Todos os programas aceitam que o modelo em 3D possa ser importado do programa Sketchup, porém ao exportar um projeto para o EnergyPlus a quantidade de detalhes do projeto faz com que possa aumentar a quantidade de erros, assim a simplificação da edificação passa a se tornar essencial e portanto perdemos o que gostaríamos de observar inicialmente, que seriam os detalhes das esquadrias. No programa Ecotect, estes dados não são apurados, fazendo com que a mudança de tipologia da janela ou alguma mudança no material da edificação gerem nenhuma ou insignificante mudança. Já no IES a possibilidade de modificação no tipo de esquadria e no material é aceitável, a interface é de fácil visualização e não foram verificados erros primários de exportação. Além disso, possui uma grande biblioteca de materiais, aceita o arquivo climático de Porto Alegre no formato EPW (o mesmo utilizado em todos os programas) e fornece tabelas precisas de qualquer zona climática desejada.

Nosso estudo prossegue com as medições de inverno e com a compilação das bases de dados climáticos locais para uso no IES e assim dar prosseguimento às simulações. Como conclusões preliminares até aqui podemos ressaltar, por um lado, que a importância dos microclimas nos locais escolhidos para as medições de verão foi bem maior que o esperado no sentido de redução de ganhos térmicos, fato que se conjuga com o desempenho altamente favorável à condição de verões dos edifícios com maior inércia térmica. Por outro lado, os elevados valores de temperatura registrados no prédio do Labsol de fato demonstram que sua finalidade “de estufa” é inequivocamente captar calor, tornando-o pouco favorável ao uso em condição de verão. E tal apreciação é fundamental para que se possa propor futuras simulações de trocas de esquadrias

NOTAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASHRAE (2005). Handbook of Fundamentals. American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, New York, USA.
- ABNT. NBR 15220 (2005). Desempenho térmico de edificações.
- Brager, G.S.; Paliaga G.; Dear, R. (2004). Operable windows, personal control and occupant comfort. Division of Environmental and Life Sciences, Macquarie University. Sydney: ASHRAE RP-1161.
- Givoni, Baruch. (1994). Passive and low energy cooling of buildings. Thompson Publishing Company.
- INMETRO (2012). RTQ-C – Regulamento Técnico de Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais.
- INMETRO (2013). RTQ-C – Regulamento Técnico de Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicos.
- ISSO 7726: 1998. Ergonomics of the thermal environment - Instruments for measuring physical quantities. (www.iso.org)
- Olgay, Vitor (1998). Arquitectura Y Clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Barcelona:
- Silva, Heitor da Costa. (1994). Window design for thermal comfort in domestic buildings in southern Brazil. Tese de Doutorado. Open University. Architecture Association School of Architecture. Environment and Energy Studies Programme. AA, Grã-Bretanha, 1994.
- Szokolay. S.V. Energia Solar y Edificacion. Barcelona: Blume, c 1978. 196 p.: il
- Vangimalla, Prasanthi; Olbina, Svetlana; Issa, Raymond; Hinze, Jimmie. (2011) Validation of Autodesk accuracy for thermal and daylighting simulations. University of Florida: Winter Simulation Conference.
- Winkelmann, F. C. (2001). Modeling windows in EnergyPlus. Rio de Janeiro: Building Simulation - Seventh International IBPSA Conference.