

Modelo Paramétrico para Compatibilidade Ambiental em Edifícios de Museu de Arte no Clima Sub Tropical Úmido

Parametric Model for Environmental Compatibility Buildings Museum of Art in Sub Tropical Humid Climate

Laline Cenci

Universidad del BíoBio, Concepción-Chile
lalinecenci@gmail.com

Rodrigo Garcia Alvarado

Universidad del BíoBio, Concepción-Chile
rgarcia@ubiobio.cl

ABSTRACT

The indoor climate in buildings of the museum is related to two important requirements: preservation of collections and comfort of users. To provide environmental compatibility through a volumetric energy efficient, this paper proposes a parametric model which is based on a study of three buildings in this climate. Through surveys, analysis and interviews with users in the buildings of Brazilian Museum of Sculpture in São Paulo, Oscar Niemeyer Museum in Curitiba and Iberê Camargo Foundation in Porto Alegre present relations of size, form factor and energy efficiency for buildings of museum art environmentally suitable climate.

KEYWORDS: Parametric Model, Environmental Compatibility, Architecture Museum, Form Factor

1. Compatibilidade Ambiental

O clima interior nos edifícios de museu está relacionado a dois importantes requisitos: preservação das coleções e conforto dos usuários. Estas condições se referem especialmente a níveis de temperatura e umidade adequados que demandam equipamentos de controle, elevando custos em energia elétrica para aquecimento ou resfriamento além da emissão de gás carbônico ao meio ambiente. Para atender simultaneamente o conforto dos usuários e conservação dos objetos de arte, os equipamentos e tecnologias devem ser o mais eficiente possível e devem atuar como complemento de um bom projeto arquitetônico.

As variáveis climáticas que mais influenciam nos consumo de energia nos edifícios em termos de transferência de calor são a temperatura exterior e a radiação solar. A temperatura do ar determina o estabelecimento das trocas de calor entre o interior e o exterior. No inverno, a temperatura é baixa e podem ocorrer perdas térmicas do interior para o exterior. No verão ocorre o inverso, há um ganho de temperatura indesejada do exterior para o interior.

A radiação solar é outra variável importante que, no inverno pode contribuir para o aumento do calor interior, diminuindo o custo com aquecimento e no verão deve ser evitado, para impedir o aumento da temperatura interior. A energia solar depende de dois fatores. O ângulo de incidência dos raios que determinam a intensidade da radiação e o tempo medido em horas de sol medidas ao longo do dia em um ano. Por tanto, é possível construir um edifício que tire maior partido da trajetória solar e conseqüentemente, fazer um melhor aproveitamento do mesmo. Fundamentalmente através da forma do edifício e sua orientação.

“Um edifício quando proporciona as mesmas condições ambientais que outro com menor consumo de energia, é mais eficiente” (LAMBERTS et al, 1997)

Para ser eficiente do ponto de vista energético, um edifício deve ter um Fator Forma (FF) mais baixo possível, ou seja, o edifício deve ter a menor superfície envolvendo o seu volume. ($FF = \text{superfície}/\text{volume}$)

A capacidade de um edifício tem de captar a radiação solar no inverno e ter a menor superfície exposta a luz, para dissipar o calor no verão determina o grau de

conforto aos seus usuários e os consequentes gastos de energia. Cabe então, estabelecer valores que equilibrem as perdas e as ganâncias de energia calibrando a proporção e orientação exata do volume mais adequado ao clima.

2. Casos de Estudo

De acordo com um estudo do IBRAM (Instituto Brasileiro de Museus, 2010) o Brasil inicia o século XX com 12 museus e instituições, em 2010 foram mapeadas 3.025 unidades. Em 2009 os museus brasileiros visitados por cerca de 82 milhões de pessoas. Dos 5.564 municípios brasileiros 1172 têm pelo menos um museu. O objetivo do governo é que 50% das cidades brasileiras tenham pelo menos um museu até 2020, isto é, mais de 2.000 novos museus no país e, portanto, mais de 250 milhões de visitantes por ano. Do total de museus mapeados, 67% dos museus estão concentrados no clima subtropical úmido, nas cidades de São Paulo, Curitiba e Porto Alegre.

Edifícios antigos são amplamente utilizados como espaços de exposição. Se por um lado, são considerados uma obra de arte em si, não é fácil a correta instalação de equipamentos de climatização, e com equipamentos convencionais para controle do clima interior, pode resultar-se fatal.

“...ya es más que comprobado, los edificios de museo antiguos o rehabilitados son difíciles de adecuar los espacios expositivos”. (Rico, 2007)

Por tanto, os edifícios eleitos para este estudo foram especialmente concebidos para ser museu, recebem obras de arte contemporânea, são similares proporção e de público, exibem sua expressividade formal, porém, possuem distintas estratégias topológicas em um mesmo clima.



Fig. 1. Museu Brasileiro da Escultura. Fonte: MUBE autora

Caso 1: Museu Brasileiro da Escultura (MUBE) (Figura 1), inaugurado em 1994, em São Paulo, pelo Arquiteto Paulo Mendes da Rocha. O Edifício ocupa uma área de sete mil metros quadrados em um terreno triangular formado pela confluência de duas importantes vias dá espaço para um exemplar da arquitetura moderna brasileira. A grande viga perpendicular de sessenta metros de vão marca a paisagem, deixando os espaços

expositivos abrigado-as abaixo do nível da rua. As três salas de exposições conectadas podem ser fechadas e isoladas para adaptarem-se as amostras. As áreas de apoio como administração, auditório e café estão tangentes às salas expositivas. A inserção do edifício semienterrado evita a ganância térmica solar direta e, por conseguinte, menor consumo energético. O sistema de climatização atende as três salas, independente de seu uso, motivo pelo qual o sistema permanece desligado a maior parte do tempo.



Fig. 2. Museu Oscar Niemeyer. Foto da autora

Caso 2: Museu Oscar Niemeyer (MON) (Figura 2), inaugurado em 2002, em Curitiba, pelo Arquiteto Oscar Niemeyer. O edifício em forma de “olho”, por sua similitude formal é mais um exemplo da arquitetura moderna brasileira. Com trinta metros de altura do piso ao vértice o edifício está instalado frente ao edifício principal (adaptado para ser museu) é conectado internamente por um túnel. O Salão principal situado na parte convexa da estrutura mede mil e seiscentos metros quadrados está destinado à exposição e seu pé direito no ponto mais alto, mede 12 metros. No lado côncavo, estão localizados a área de apoio e um auditório. Desde 2004, para ampliar o espaço expositivo a torre, com seus três pavimentos que sustentam o “olho” é utilizada para exposições de fotografia. Na parte externa, as rampas dão acesso à saída a rua. Segundo a instituição o consumo de energia com o ar condicionado é muito alto. Sem a ajuda do ar condicionado, o espaço chega a medir 55°C no seu interior.



Fig. 3. Fundação Iberê Camargo. Foto da autora.

Caso 3: Fundação Iberê Camargo (FIC) (Figura 3), inaugurado em 2008, em Porto Alegre, pelo arquiteto português Álvaro Siza Vieira. O edifício verticalizado na porção mais plana do terreno, deixando intacta a vegetação no entorno. A planta baixa e mais três pavimentos-levantados a um metro e quarenta centímetros da cota zero, são destinados a exposição e estão conectadas em forma de "L", gerando um átrio de vinte e um metros de altura. Todas as áreas de apoio (acervo, auditório, biblioteca, ateliês) estão acomodadas no subsolo. A partir da perspectiva do usuário o edifício é uma sucessão de pequenos volumes até a grande massa de quatro pavimentos onde as rampas que entram e saem do edifício parecem abraçar o grande volume. O edifício possui suas instalações de ar condicionado e eletricidade ocultas em suas paredes internas, as temperaturas e umidades são monitoradas vinte e quatro horas. O sistema de ar condicionado produz gelo durante a noite, quando o custo da energia elétrica é mais barato, reduzindo os custos de consumo. Segundo a instituição o edifício consome cerca de 30 a 40% menos energia que uma construção convencional. Também recebe exposições permanentes e temporárias com grande êxito, cumprindo as mais exigentes normas internacionais de conservação para museu.

3. Conservação das obras e satisfação térmica do usuário

Para Museus, no Brasil, não há legislação adequada para a preservação e conservação de obras, porém, há critérios estabelecidos pela ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers Handbook- HVAC Applications*) reconhecidos internacionalmente, que especifica diferentes classes de controle. A mesma recomendação faz o ICOM (*International Council Museum*) que, para materiais quimicamente estáveis são definidos valores de umidade relativa de 50%, admitindo flutuações a longo prazo (sazonal) na determinação do tipo de controle selecionado. Para a faixa de temperatura é de 15° C a 25° C, com variações definidas por classe, se os objetos estão protegidos. A seleção de classe de controle é efetiva através do material objeto, mas, obviamente, da disponibilidade financeira e técnica da instituição.

No entanto, em tais edifícios, onde sistemas de ar condicionado trabalham com variações entre 50% umidade relativa variando $\pm 5\%$ ou 20°C e com variação de $\pm 2^\circ\text{C}$ na temperatura são os valores recomendados para museus. Mas, segundo Padfield e Larsen 2010, nem sempre é necessário manter padrões tão rigidamente. É necessário analisar diversos, tais como características de construção, tipo de coleção e avaliação dos ambientes internos com parâmetros ambientais.

A partir da perspectiva do usuário, o índice mais utilizado para avaliar e determinar a condição térmica interior é a

que estabelece Fanger em 1970. Na equação introduzida por Fanger, o conforto térmico é determinado através da combinação de seis parâmetros, quatro de origem ambiental e dois humanos. Através do *Prediction Medium Vote* (PMV) aplicado em um grupo de pessoas se calcula a preferência térmica da maioria das pessoas, baseada no equilíbrio térmico. $PMV = -0,5 \leq PMV \leq 0,5$. Este valor é considerado global pela ISO 7730, 2005 e ANSI/ASHRAE 55, 2004. O desafio então é encontrar valores que atentam tanto as obras como aos usuários, simultaneamente.

Pensando nesta problemática, se realiza uma entrevista aos usuários em dois períodos do ano (inverno e verão), nos três casos de estudo. A metodologia utilizada se baseia na sensação subjetiva de conforto térmico em um grande grupo de pessoas, para avaliar a satisfação térmica do usuário. O total de 264 pessoas entrevistadas tem de 18 a 65 anos, foram realizados no MUBE (39 entrevistas no verão/50 no inverno) no MON (30 entrevistas no verão/50 no inverno) e na FIC (45 entrevistas no verão/50 no inverno). Estes resultados também deverão ser introduzidos ao modelo paramétrico que se propõe para humanizar os dados. A seguir podemos verificar os resultados das entrevistas:

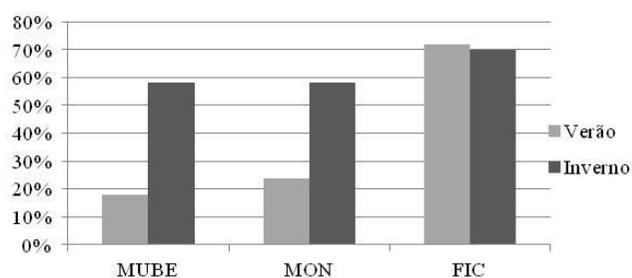


Gráfico 1: Porcentagem de satisfação Térmica dos usuários nos períodos de Inverno e Verão de 2012.

4. Proposta de modelo paramétrico e aplicação computacional

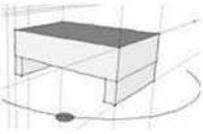
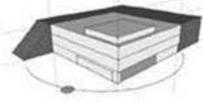
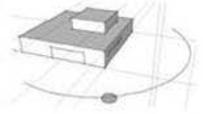
O uso de parâmetros para definir uma volumetria no âmbito da arquitetura tem sido cada vez mais utilizado. A ferramenta digital pode se tornar num grande aliado na exploração de novas possibilidades e/ou na eleição do partido arquitetônico para resultar em uma volumetria energeticamente eficiente. Com este propósito, aqui se apresentam os parâmetros para um modelo baseado no levantamento dos casos de estudo com a introdução das variáveis da forma dos três casos, entrevistas aos usuários e o fator forma correspondente a cada caso (Tabela 1).

5. Discussão

O primeiro caso de estudo, MUBE é um volume de um pavimento com três salas conectadas entre si e semienterrado. O edifício do MON, um volume

Tabela 1: Parâmetros para o Modelo



Parâmetro:	MUBE	MON	FIC	Modelos Hipotéticos
Altura das salas de Exposição	2,7 m	Mín. 4 m/ Máx. 12 m	4 m	
Altura do Átrio	-	-	21 m	
Área do Lote	7000 m ²	5084,5 m ²	8200 m ²	
Comprimento da circulação interna	260 m	283 m	380 m	
Comprimento total-eixo x	71 m	70 m	83 m	
Comprimento total-eixo y	55 m	30 m	54 m	
Comprimento total-eixo z	11,7m	34 m	32 m	
Média de público diário	90	524	225	
Número de pavimentos	1	2	4	
Número de Salas de Exposição	3	1	9	
Satisfação Térmica	38%	40,50%	68%	
Superfície da área de apoio	1380 m ²	902 m ²	1060 m ²	
Superfície do Átrio	-	-	154 m ²	
Superfície externa	3872 m ²	7292 m ²	3783 m ²	
Superfície fachada norte	150 m ²	662 m ²	650 m ²	
Superfície interna de exposição	1428 m ²	1678,74 m ²	1400 m ²	
Volume do Átrio	-	-	3234 m ³	
Volume total- de ar para refrigerar	3855 m ³	25260 m ³	8226 m ³	
Fator Forma (superf./vol.)	1	0,29	0,46	

suspensão por uma torre a 12 metros de altura, com superfície translúcida de ambos os lados. Já o caso 3, é um volume compacto com quatro pavimentos e átrio, com maior predominância de superfície opaca. Sabe-se que a variação formal dos casos, tem diferentes desempenhos em relação ao clima, conseqüentemente, consumo energético e, talvez, efeito direto na satisfação térmica do usuário. Os três casos estudados e parte dos parâmetros para o modelo paramétrico foram aqui apresentados e continuam sendo desenvolvidos, porém, há evidências prévias que este modelo pode ajudar na escolha de um partido arquitetônico energeticamente eficiente e tem sido a motivação para aprimoramento deste trabalho.

Agradecimentos

MON-PR, MUBE-SP, FIC-RS e Universidade del Bóbio-Programa de Assistência a Eventos de Pós Graduação e Projeto Fondecyt 1120165.

Referências:

- Ashrae Standard 55, *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA. 2004.
- ISO 7730, *Ergonomics of the Thermal Environment and Analytical determination and Interpretation of Thermal Comfort using Calculation of the PMV and PPD*. International Organization for Standardization. Geneva, 2005.
- Padfield, Tim; Larsen, Poul Klensz. *Does a standard temperature need to be constant?* Energy Strategies Committee, January 6, 2010.
- ICOM. *International Council of Museum*. Acesso em setembro de 2012. <http://icom.museum/>.
- IBRAM. Instituto Brasileiro de Museus. Acesso em setembro de 2012. <http://www.ibram.gov.br/>.
- Lamberts, Roberto; Dutra, Luciano Pereira. 2004. *Eficiência energética na Arquitetura*. São Paulo: Editora ProLivros.
- Rico, Juan Carlos. 2007. *Montagem de Exposições*. Museus, Arquitetura e Arte. Madri. Editora Sílex.