

GEÍSA GAIGER DE OLIVEIRA
GUSTAVO JAVIER ZANI NÚÑEZ
ORGANIZADORES

Des
ign
pes. em
qui
sa. vol 3

GEÍSA GAIGER DE OLIVEIRA
GUSTAVO JAVIER ZANI NÚÑEZ
ORGANIZADORES

Des
ign
em
pes.
qui
sa. vol 3

Este livro é uma das publicações do Instituto de Inovação, Competitividade e Design (IICD) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (www.ufrgs.br/iicd).

© dos autores – 2020

Projeto gráfico: Melissa Pozatti

D457 Design em pesquisa: volume 3 [recurso eletrônico] / organizadores Geísa Gaiger de Oliveira [e] Gustavo Javier Zani Núñez. – Porto Alegre: Marcavisual, 2020.

789 p. ; digital

ISBN 978-65-990001-1-9

Este livro é uma publicação do Instituto de Inovação, Competitividade e Design (IICD) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (www.ufrgs.br/iicd)

1. Design. 2. Gestão do Design. 3. Design contra a criminalidade. 4. Gestão de Projetos. 5. Inovação. 6. Tecnologia. 7. Sustentabilidade. 8. Desenvolvimento humano. I. Oliveira, Geísa Gaiger. II. Núñez, Gustavo Javier Zani.

CDU 658.512.2

CIP-Brasil. Dados Internacionais de Catalogação na Publicação.
(Jaqueline Trombin – Bibliotecária responsável CRB10/979)



Capítulo 30

Seleção de concepções de paredes Trombe

Clarissa Sartori Ziebell e José Luís Farinatti Aymone

RESUMO

A parede Trombe é um exemplo de tecnologia passiva de climatização do ar em edificações. Consiste em uma parede de alta inércia térmica (pintada de preto na face exterior) e um vidro posicionado em frente à parede, gerando um espaço de ar entre o vidro e a parede. O projeto deste sistema exige alguns cuidados para evitar que um desenho equivocado prejudique o desempenho térmico da edificação. Logo, este trabalho tem como objetivo avaliar a influência de diferentes critérios na adoção de paredes Trombe para três cidades da região sul do Brasil com foco na aplicação residencial. Foram analisadas cinco concepções de paredes Trombe (e uma com parede tradicional). Os materiais variaram entre tijolo cerâmico e bloco de concreto. Os critérios de triagem das concepções foram: conforto térmico, eficiência energética, custo de implementação, facilidade de uso e de manutenção, aparência, aceitação pelo mercado e área ocupada pelo sistema. Como resultado, foi observado que quando são analisados apenas os critérios “conforto térmico” e “eficiência energética”, a parede Trombe se mostrou como uma estratégia bioclimática interessante. Porém, quando todos os critérios foram avaliados em conjunto as paredes tradicionais ficaram nas primeiras posições especialmente devido ao custo. Contudo, a metodologia proposta torna claro qual o critério que mais influencia uma baixa posição no *ranking*, facilitando ajustes no projeto.

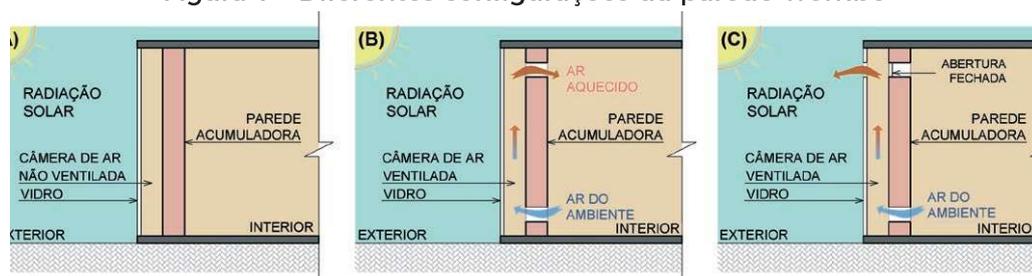
Palavras-chave: parede *trombe*, simulação computacional, triagem de concepções.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, os graves problemas ambientais do planeta tornam urgente a necessidade da introdução de uma cultura arquitetônica que leve em consideração os condicionantes ambientais (MONTEIRO et al., 2015). Dentro deste contexto, o uso do sistema solar passivo aparece como uma alternativa para minimizar o consumo

de energia com a climatização artificial do ar. Um exemplo deste tipo de sistema é a parede Trombe, primeiramente patenteada por E. L. Morse, em 1881. Posteriormente, em 1957, o conceito foi desenvolvido por Felix Trombe e Jacques Michel, no sul da França (BRIGA-SÁ et al., 2014 e MEDONÇA, 2005). A parede Trombe é composta por uma parede acumuladora e um vidro, posicionado em frente à parede, que tem a função de evitar a perda de calor por convecção e por radiação para o exterior (Figura 1-A). Podem haver ainda aberturas na parede acumuladora que permitam a circulação do ar (aqui chamada de parede Trombe ventilada), levando o ar aquecido para o ambiente interno (Figura 1-B). A parede Trombe também pode resfriar o ambiente a partir de uma abertura no topo da esquadria (Figura 1-C). As paredes Trombe devem ser voltadas para a orientação de maior insolação solar (LAMBERTS et al., 2014), que no caso do hemisfério sul é a norte.

Figura 1 - Diferentes configurações da parede Trombe



Fonte: Desenvolvido pelos autores (2020), adaptado de Stazi et al. (2012, pág. 218).

Para que o sistema possa adequar-se ao clima de forma correta torna-se necessário estudar as diferentes concepções que a parede Trombe pode assumir e de que forma essas concepções irão responder ao clima em que ela está inserida. Sendo assim, este trabalho tem como objetivo avaliar a influência de diferentes critérios na adoção de paredes Trombe nas Zonas Bioclimáticas (ZB) 1, 2 e 3 do Brasil, com foco na aplicação residencial. As Zonas Bioclimáticas são representadas aqui pelas cidades Curitiba, Santa Maria e Florianópolis, respectivamente. A NBR 15.220-3 divide o Brasil em oito Zonas Bioclimáticas a fim de estabelecer recomendações e estratégias construtivas para adequação climática de habitações unifamiliares de interesse social (ABNT, 2003). O foco

nestas Zonas permite uma maior concentração no estudo da aplicação da parede Trombe para aquecimento da edificação. O foco na edificação residencial, por sua vez, deve-se ao fato de que muitas vezes esses ambientes não são condicionados de forma artificial (ao menos não inteiramente), tornando importante a adoção de tecnologias passivas.

2 REVISÃO TEÓRICA

A parede acumuladora de uma parede Trombe é construída com material de alta inércia térmica, como pedra, tijolo ou concreto (ABASSI et al., 2014). Ela armazena o calor vindo do sol durante o dia e libera-o para o interior durante a noite. Este calor é conduzido devagar através da parede para a superfície interna e então para o ambiente por radiação e convecção (YEDDER e BILGEN, 1991). Diversos elementos podem alterar a eficiência da parede, tais como os acessórios (aberturas, ventiladores e isolamento) e atributos (tamanho, cor, material da parede, material de revestimento e especificações do vidro) (SAADATIAN et al., 2012). Pode-se citar ainda a localização e dimensão das aberturas de ventilação e os dispositivos de sombreamento, bem como a forma com que esses elementos são utilizados durante as diferentes épocas do ano (BRIGA-SÁ et al. 2014).

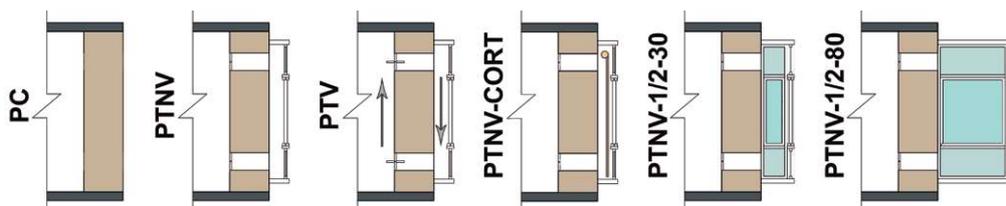
No Brasil ainda são encontrados poucos estudos a respeito da parede Trombe, porém o interesse pelo assunto vem aumentando. Cavalcanti et al. (2011) avaliou, através do *software EnergyPlus*, o desempenho térmico de uma habitação de interesse social munida de uma parede Trombe, na cidade de São Carlos. Suzuki (2012) estudou o potencial de aquecimento e de resfriamento da parede Trombe em Curitiba. Cavalcanti (2013) estudou o potencial de utilização da parede Trombe, tanto para aquecimento quanto para resfriamento, em diversas cidades brasileiras e utilizando diferentes concepções através do *EnergyPlus*. Bianco (2016) analisou o desempenho térmico de uma parede Trombe para aquecimento e resfriamento no clima da cidade de São Paulo.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Diferentes concepções de paredes Trombe foram avaliadas para

três Zonas Bioclimáticas brasileiras. Além da parede comum (PC), as configurações selecionadas para análise foram: parede Trombe não ventilada (PTNV), parede Trombe ventilada (PTV), parede Trombe com cortina de baixa emissividade no interior do canal (PTNV-CORT) e meia parede Trombe com as laterais envidraçadas (PTNV-1/2) (Figura 2). A cortina foi estudada por Chen et al. (2006) para o período noturno de inverno na cidade Dalian, China. Já a meia parede foi proposta por Rabani et al. (2015) para o inverno da cidade de Yazd, Iran. Neste presente trabalho foram analisadas duas soluções para a meia parede, sendo uma com 30 cm de profundidade (PTNV-1/2-30) - mesma profundidade encontrada em Rabani et al. (2015) - e outra com 80 cm (PTNV-1/2-80), a fim de ter a mesma área de vidro que as demais paredes Trombe.

Figura 2 - Concepções estudadas



Fonte: Desenvolvido pelos autores (2020).

Para a triagem das concepções, foi selecionado o método de Back et al. (2013), que se inicia com uma pré-seleção das concepções através da planilha de avaliação elaborada por Pugh (1991). Contudo, neste trabalho optou-se por avaliar todas as concepções, a fim de analisar cada um dos seus aspectos individuais. Os critérios adotados foram: conforto térmico (CT), eficiência energética (EE), custo de implementação (CI), facilidade de uso e de manutenção (FUM), área ocupada pelo sistema (AS), aparência (AP), e aceitação pelo mercado (AM). A função utilidade (u) de cada concepção a_j é calculada pelo somatório do valor dos critérios ($y_i(a_j)$) multiplicado pelo seu peso (w_i), conforme equação 1 (BACK et al., 2013). O valor dos critérios foi definido de forma diferente para cada caso.

$$u(a_j) = \sum_{i=1}^n w_i y_i(a_j), \quad (1)$$

Para o conforto térmico foi utilizada a metodologia de DEAR et al. (2002), onde a temperatura ótima de conforto térmico (T_{conf}) está

diretamente relacionada com a temperatura média exterior ($T_{a,ext}$) (equação 2). Faixas de aceitabilidade para 90% e 80% dos ocupantes são definidas somando à T_{conf} 2,5°C e 3,5°C, respectivamente (DEAR et al., 2002). Neste trabalho, simulações computacionais com o *software EnergyPlus* permitiram encontrar as temperaturas operativas internas horárias e as temperaturas externas horária. Esses dados foram inseridos na equação 2, considerando 90% de aceitabilidade.

$$T_{conf} = 0,31T_{a,ext} + 17,8 \quad (2)$$

A eficiência energética foi definida pela metodologia de simulação descrita no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), instituído pelo INMETRO para permitir a obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE). Nessa metodologia calcula-se o equivalente numérico da envoltória (EqNumEnv), expresso em uma escala que varia de A (mais eficiente, EqNumEnv igual a 5) a E (menos eficiente, EqNumEnv igual a 1) (INMETRO, 2012). O RTQ-R admite o uso do *software EnergyPlus*. Logo, um mesmo modelo de simulação pôde ser usado para o conforto térmico e para a eficiência energética.

O custo de implementação considerou o custo das esquadrias (material e mão de obra) e o custo do material da parede (tijolo ou bloco de concreto e argamassa). O custo da tinta e da mão de obra para a construção da parede Trombe não foram considerados pois eles são os mesmos para todas as concepções. A facilidade de uso e de manutenção foi definida conforme o número de processos necessários para limpar e utilizar o sistema. Este método é sugerido por Ulrich e Eppinger (2008). A área ocupada (expressa em metros quadrados) indica o espaço perdido com a parede. Por fim, a aparência e a aceitação pelo mercado foram avaliadas a partir das respostas informadas em um questionário respondido por um grupo de seis profissionais das áreas de Arquitetura, Design e Engenharia Civil. A equipe de profissionais foi contatada pessoalmente ou através de *e-mail*. Esta mesma equipe foi consultada para definir os pesos dos critérios (w_i).

A avaliação dos valores dos critérios (v) levou a diferentes interva-

los de pontuação. Optou-se por adotar como padrão a pontuação do RTQ-R, onde a melhor solução recebe o valor 5 e a pior o valor 1. Para manter todas as pontuações (PT) em intervalos iguais foram utilizadas as equações 3 e 4. A equação 3 foi utilizada quando o limite inferior do intervalo (Lim_{inf}) era a melhor situação, caso do custo de implementação, da facilidade de uso e manutenção e da área ocupada pelo sistema. A equação 4 foi utilizada quando o limite superior do intervalo (Lim_{sup}) era a melhor solução, sendo aplicada aos critérios conforto térmico, nível de eficiência energética, aparência e aceitação pelo mercado.

$$PT = \frac{[5x(Lim_{sup}-Lim_{inf})]-[4x(v-Lim_{sup})]}{(Lim_{sup}-Lim_{inf})}, \quad (3)$$

$$PT = \frac{[5x(Lim_{sup}-Lim_{inf})]-[4x(Lim_{sup}-v)]}{(Lim_{sup}-Lim_{inf})}, \quad (4)$$

3.1 Modelo de simulação

O modelo elaborado é o de uma casa de aproximadamente 60 m². O dormitório e a sala de estar e jantar possuem uma parede cega onde, com exceção do modelo PC, foi inserida a parede Trombe. Apesar da parede Trombe ter sido inserida em dois ambientes, neste artigo apenas o dormitório foi avaliado. No que se refere à geometria, ressalta-se ainda que foi considerada uma situação ideal de insolação, já que não existem construções ou vegetações no seu entorno, o que poderia gerar sombra na parede Trombe (Figura 3). Contudo, para o cálculo do efeito do vento sobre o edifício foi selecionado um terreno com características de centro de grandes cidades (expoente do perfil de velocidade do vento no local igual a 0,33 e espessura da camada limite de 460 metros).

Figura 3 - Perspectiva, planta baixa e modelo de simulação da casa simulada



Fonte: Desenvolvido pelos autores (2020).

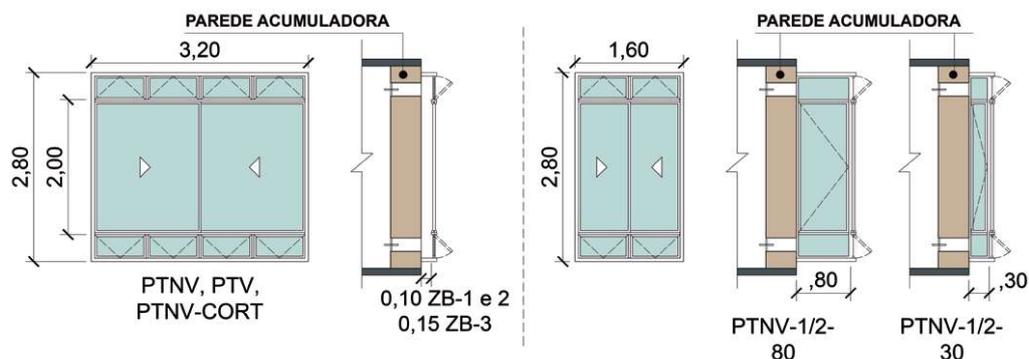
Na construção do modelo de simulação foram levadas em consideração as exigências do RTQ-R (INMETRO, 2012) no que se refere aos valores mínimos para a absorvância solar, a transmitância térmica e a capacidade térmica das paredes e da cobertura. As recomendações do RTQ-R (INMETRO, 2012) também foram adotadas no que se refere a ocupação, iluminação e equipamentos (com exceção da cozinha, da área de serviço e do banheiro, que não possuem valores de referência). A ventilação natural através das aberturas também foi definida conforme as recomendações do RTQ-R (INMETRO, 2012). Foram estabelecidas duas situações relativas à construção da casa, sendo uma com paredes de tijolos cerâmicos maciços (situação 1) e outra com paredes de blocos de concreto (situação 2). Em ambas situações as espessuras das paredes externas são de 25 cm de espessura e as internas de 15 cm. Todas elas têm as faces internas e externas pintadas de branco. A cobertura é formada por uma laje de concreto e telhas de fibrocimento. Os arquivos climáticos utilizados foram obtidos de LabEEE (2018).

3.2 Descrição da Parede Trombe

As paredes acumuladoras das paredes Trombe possuem sempre 45 cm de espessura, dimensão essa recomendada por Cavalcanti (2013). Na situação 2 os vãos do bloco de concreto foram preenchidos com argamassa para aumentar a sua massa. A face interna da parede acumuladora é pintada com tinta branca e a face externa é pintada com tinta preta. Ressalta-se que o modelo PC também possui 45 cm de espessura, evitando-se que um melhor desempenho de uma residência causado pela parede de alta inércia térmica fosse confundido como um benefício da parede Trombe. A esquadria posicionada em frente à parede acumuladora é de alumínio, pintada na cor branca, com vidro duplo. As aberturas da parede Trombe nos modelos não ventilados permanecem fechadas durante o ano inteiro. Quando a parede é ventilada as janelas internas são abertas, promovendo a circulação do ar entre o ambiente interno e o canal de ar (Figura 1-B). No modelo PTNV-CORT a cortina foi inserida entre os dias 20 de março

e 21 de setembro (período que abrange o outono e o inverno do hemisfério sul), entre 18h e 6h (período noturno). A Figura 4 detalha as esquadrias para cada concepção.

Figura 4 - Esquadrias das paredes Trombe (dimensões em metros)



Fonte: Desenvolvido pelos autores (2020).

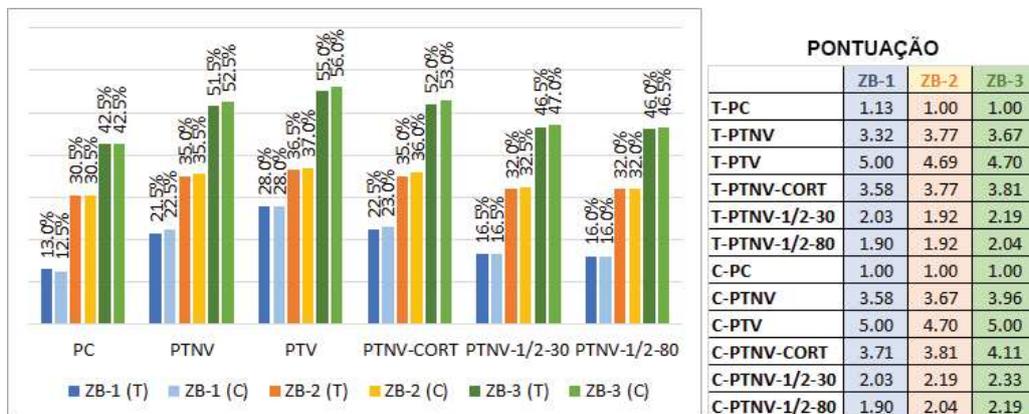
Também conforme as recomendações de Cavalcanti (2013), foi utilizado vidro duplo, esquadria ocupando 100% da área da parede e orientação solar norte. As recomendações apenas não puderam ser seguidas em alguns casos, como com relação à área das aberturas para ventilação, que originalmente deveria ser de 3% da área da parede Trombe. Desejava-se que as aberturas internas se estendessem por toda largura da parede, de forma a homogeneizar a distribuição do ar no interior do canal. Caso fosse utilizada a proporção de 3% a abertura teria que ter uma altura de aproximadamente apenas 10 cm, o que de acordo com a empresa Kasper esquadrias, consultada para o desenho das esquadrias, não seria viável para uma superfície envidraçada. Logo, a porcentagem adotada foi de 6,25 %, valor esse obtido a partir das dimensões mínimas possíveis para a esquadria. Ainda, a profundidade ideal do canal de ar para a ZB-2 seria de 5 cm (CAVALCANTI, 2013), tornando inviável a sua limpeza, o que levou à profundidade de 10 cm (Figura 4). Vale ressaltar também que a esquadria da sala de estar e jantar é a mesma do dormitório. Logo, nesse caso a esquadria não ocupa 100% da área da parede.

4 RESULTADOS

A seguir, são apresentadas as pontuações obtidas para cada um dos critérios com base na metodologia descrita anterior-

mente. Os resultados para o conforto térmico no dormitório são apresentados no gráfico da Figura 5, onde está indicada a porcentagem das horas do ano em que o ambiente proporciona conforto térmico. Essa porcentagem foi obtida a partir da comparação das temperaturas operativas encontradas nas simulações com a faixa de conforto térmico definida através da equação 2 (considerando 90% de aceitabilidade). As temperaturas externas foram obtidas do arquivo climático. A letra “C” ao lado da ZB indica parede de blocos de concreto, enquanto que a letra “T” indica parede de tijolos cerâmicos maciços. De maneira geral, quando são comparados os resultados destes dois materiais, observa-se que eles estão muito próximos entre si. O modelo da parede Trombe ventilada foi aquele que mais aumentou o período em conforto térmico, seguido pelo modelo com a cortina interna. Quando é analisada a casa com a meia parede Trombe (PTNV-1/2), observa-se que o aumento de desempenho foi pequeno para as três cidades avaliadas, com uma pequena vantagem para a adoção da profundidade de 30 cm.

Figura 5 - Resultado e pontuação do critério “Conforto Térmico”

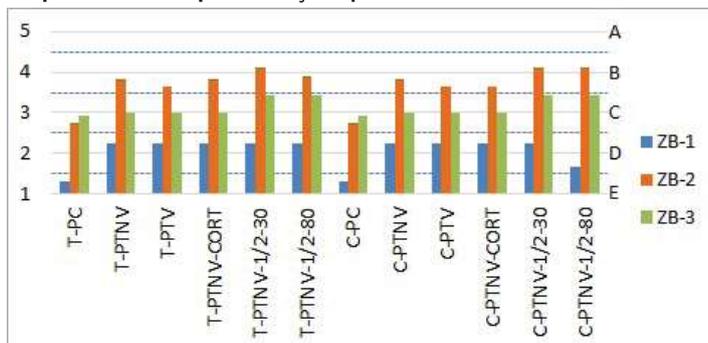


Fonte: Desenvolvido pelos autores (2020).

A Figura 6 apresenta o Nível de Eficiência Energética obtido através do valor do EqNum. Esse valor é também a pontuação do critério. Em Curitiba (ZB-1), a inserção da parede Trombe permitiu aumentar o nível de eficiência energética de E para até D. Em Santa Maria (ZB-2) ocorreu um aumento do nível de eficiência energética de C para até B. Nesse caso os modelos de meia parede Trombe não ventilada (com 30 e 80 centímetros de profun-

didade) obtiveram melhor eficiência (EqNumEnv maior). Em Florianópolis (ZB-3) o valor do EqNumEnv aumentou, especialmente nos modelos PTNV-1/2-30 e PTNV-1/2-80, porém esse aumento não elevou o nível de eficiência energética (manteve o nível C).

Figura 6 - EqNumEnv e pontuação para o critério “Eficiência Energética”



Fonte: Desenvolvido pelos autores (2020).

Para mensurar o custo de implementação inicialmente foram realizados orçamentos das esquadrias com empresas de diferentes regiões do país: Alumisistem (Curitiba - PR), Metalumi (Curitiba - PR), Barão (Biguaçu - SC), Ideal Móveis e Alumínio LTDA (São José - SC) e EAF Esquadrias (Campo Grande - MS). O custo médio, incluindo a instalação, é apresentado no Quadro 1. Em seguida, foi estimado qual seria o custo para construir a parede armazenadora de uma parede Trombe com dimensões de 3,20 x 3,00 metros, tendo como base os preços disponibilizados na *internet* por duas lojas de materiais de construção que possuem sede em diferentes estados do país. Também foram considerados a argamassa de assentamento e o reboco. O mesmo procedimento foi adotado para encontrar o preço da parede com blocos de concreto. Neste caso, porém, foi necessário adicionar a argamassa de preenchimento dos furos dos blocos. O custo médio das paredes é apresentado no Quadro 2.

Quadro 1 - Custo estimado para a esquadria das paredes Trombe em análise

| | PTNV, PTV e PTNV-CORT (5 empresas) | PTNV-1/2-30 (3 empresas) | PTNV-1/2-80 (3 empresas) |
|-------------|------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Média (R\$) | 12.430,99 | 7.994,51 | 8.194,29 |

Fonte: Desenvolvido pelos autores (2020).

Quadro 2 - Custo estimado para a parede absorvedora das paredes Trombe em análise

| | Elemento de vedação | Argamassa | Total |
|----------------------------------|---------------------|-----------|----------|
| Média (R\$) – tijolos cerâmicos | 1.440,00 | 1,336,90 | 2.776,90 |
| Média (R\$) – blocos de concreto | 926,40 | 1.914,19 | 2.840,59 |

Fonte: Desenvolvido pelos autores (2020).

No Quadro 3 é mostrado o custo final para cada concepção, onde são somados os valores da parede e da esquadria (quando for esse o caso). No caso da T-PTNV-CORT e da C-PTNV-CORT também foi necessário adicionar o valor da cortina. Como não foi possível obter o orçamento de uma cortina com baixa emissividade, a solução encontrada foi fazer um levantamento de uma cortina comum através do site da empresa *Online Persianas*, que orçou uma cortina no valor de R\$1.537,60. Em seguida, através da equação 3 foi estabelecida a pontuação de cada concepção.

Quadro 3 - Preço total médio e pontuação para o critério “Custo de Implementação”

| Concepção | C-PC | C-PT-NV-1/2-30 | C-PT-NV-1/2-80 | C-PTNV | C-PTV | C-PTNV-CORT |
|-------------|----------|----------------|----------------|-----------|-----------|-------------|
| Preço (R\$) | 2.840,59 | 10.835,10 | 11.034,88 | 15.271,58 | 15.271,58 | 16.809,18 |
| Pontuação | 4,98 | 2,70 | 2,65 | 1,44 | 1,44 | 1,00 |
| Concepção | T-PC | T-PTNV-1/2-30 | T-PT-NV-1/2-80 | T-PTNV | T-PTV | T-PTNV-CORT |
| Preço (R\$) | 2.776,9 | 10.771,41 | 10.971,19 | 15.207,89 | 15.207,89 | 16.745,49 |
| Pontuação | 5,00 | 2,72 | 2,66 | 1,46 | 1,46 | 1,02 |

Fonte: Desenvolvido pelos autores (2020).

Para mensurar a facilidade de uso e de manutenção foram contabilizados o número de processos envolvidos na execução dessas tarefas. Analisa-se inicialmente a facilidade de uso (Quadro 4). O uso da PC e da PTNV não requer nenhum movimento. Já para a PTV é necessária a abertura das duas janelas da parede absorvedora. Para a PTNV-CORT não são abertas as esquadrias, porém deve-se manipular a cortina. Se ela for manual, será necessário antes abrir a esquadria para poder manuseá-la. No caso da PTNV-1/2-30 e da

PTNV-1/2-80, os procedimentos são os mesmos apresentados para a PTNV (Quadro 4).

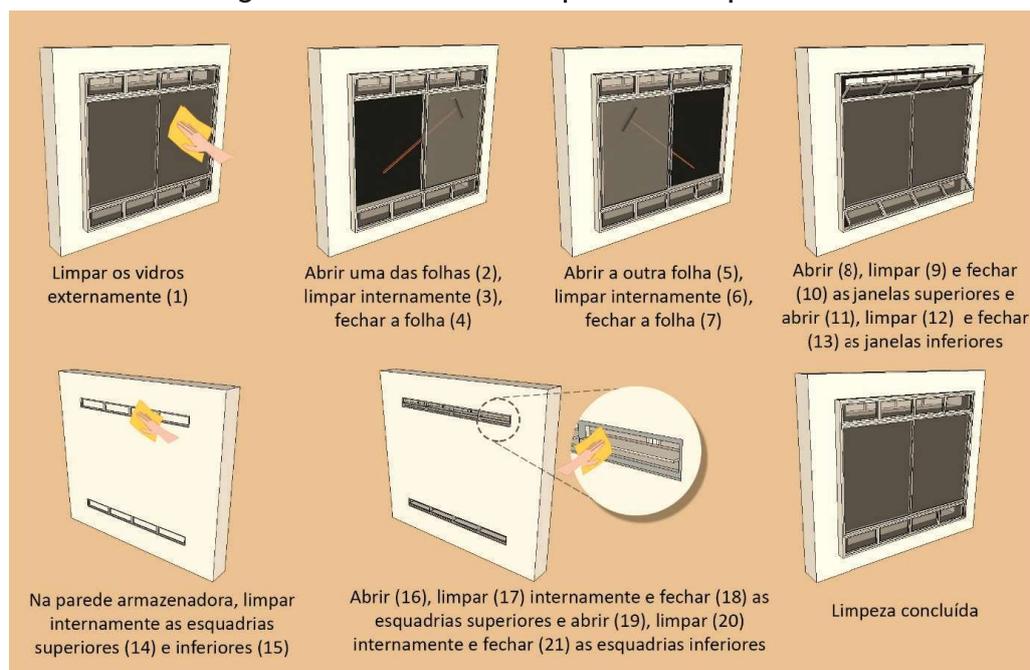
Quadro 4 - Movimentos necessários para o uso das esquadrias.

| | Nº de Movimentos | Descrição dos Movimentos |
|-------------------------------------|------------------|---|
| PC, PTNV, PTNV-1/2-30 e PTNV-1/2-80 | 0 | Não há |
| PTV | 2 | 1. Abrir a janela inferior da parede absorvedora; 2. Abrir a janela superior da parede absorvedora |
| PTNV-CORT | 6 | 1. Abrir a janela; 2. Abrir a cortina de manhã; 3. Fechar a janela; 4. Abrir a janela; 5. Fechar a cortina à noite; 6. Fechar a janela. |

Fonte: Desenvolvido pelos autores (2020).

Sobre a manutenção, é comum a todas as concepções a limpeza e a pintura da parede acumuladora. Sendo assim, este procedimento não foi contabilizado. Para todas as concepções com paredes Trombe é necessária ainda a limpeza dos vidros (Figura 7).

Figura 7 - Processo de limpeza das esquadrias



Fonte: Desenvolvido pelos autores (2020).

No caso da PTNV-CORT adiciona-se também a limpeza da cortina. Na PTNV-1/2-30 e na PTNV-1/2-80, os procedimentos são os mesmos apresentados para a PTNV, porém com o acréscimo da limpeza das esquadrias laterais. Logo, para a PTNV-1/2-80, foram acrescentados dois movimentos (limpeza de cada um dos dois vidros laterais). Para a PTNV-1/2-30, foi acrescentado apenas um movimento, em função da área dos vidros laterais ser inferior. Ainda, como a PTNV-1/2-30 e a PTNV-1/2-80 possuem a metade da área de vidro da PTNV, com exceção dos movimentos 2, 4, 5 e 7 (operação da esquadria de correr), todas os demais foram divididos por dois. Assim, tem-se a ordem de facilidade de uso e de manutenção (Quadro 5), obtida através da equação 3.

Quadro 5 - Pontuação do critério “Facilidade de Uso e Manutenção”

| Concepção | Uso | Manutenção | Total | Posição | Pontuação |
|-------------|-----|---------------------|-------|---------|-----------|
| PC | 0 | 0 | 0 | 1 | 5 |
| PTNV-1/2-30 | 0 | $(21/2) + 1 = 11,5$ | 11,5 | 2 | 3,36 |
| PTNV-1/2-80 | 0 | $(21/2) + 2 = 12,5$ | 12,5 | 3 | 3,21 |
| PTNV | 0 | 21 | 21 | 4 | 2,00 |
| PTV | 2 | 21 | 23 | 5 | 1,71 |
| PTNV-CORT | 6 | $21 + 1 = 22$ | 28 | 6 | 1,00 |

Fonte: Desenvolvido pelos autores (2020).

Ressalta-se que as aberturas na parede acumuladora foram mantidas nos modelos não ventilados para permitir um eventual uso (dias quentes).

A área de ocupação de cada uma das esquadrias é mostrada no Quadro 6. Foi definido que a solução que ocupa um menor espaço é a mais adequada (pontuação 5). Logo, foi utilizada a equação 3 para fazer a interpolação linear e manter toda a pontuação na mesma escala. A diferença de área das Zonas Bioclimáticas 1 e 2 com a 3 ocorre devido à profundidade do canal. Observa-se que, apesar das concepções PTNV, PTV e PTNV-CORT possuírem um maior comprimento do que as concepções PTNV-1/2-30 e PTNV-1/2 80, a área que elas ocupam é inferior devido a menor profundidade do canal.

Quadro 6 - Área de ocupação e pontuação do critério “Área Ocupada pelo Sistema”

| Concepção | ZB 1 e 2 | | ZB 3 | |
|----------------------|------------------------|-----------|------------------------|-----------|
| | Área (m ²) | Pontuação | Área (m ²) | Pontuação |
| PC | 0 | 5 | 0 | 5 |
| PTNV, PTV e PTV-CORT | 0,42 | 3,69 | 0,28 | 4,13 |
| PTNV-1/2-30 | 0,48 | 3,5 | 0,48 | 3,5 |
| PTNV-1/2-30 | 1,28 | 1 | 1,28 | 1 |

Fonte: Desenvolvido pelos autores (2020).

O resultado para o critério aparência é apresentado no Figura 8 onde cada um dos entrevistados é identificado por Q1, Q2, Q3, Q4, Q5 e Q6. Após o preenchimento das respostas, foram somadas as quantidades de positivos (+), de negativos (-) e de iguais (S).

Figura 8 - Pontuação para o critério “Aparência”

| APARÊNCIA | | | | | | | | | | | TOTAL | POSIÇÃO | PONTUAÇÃO |
|------------|---------------|----|----|----|----|----|------|------|------|---|-------|---------|-----------|
| CONCEPÇÕES | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q5 | Q6 | Σ(+) | Σ(-) | Σ(S) | | | | |
| REF - T-PC | | | | | | | | | | | 0 | 5 | 2,11 |
| 1 | C-PC | S | + | S | S | S | S | 1 | 0 | 5 | 1 | 8 | 3,44 |
| 2 | C-PTNV | + | + | + | S | - | - | 3 | 2 | 1 | 1 | 8 | 3,44 |
| 3 | C-PTV | + | + | + | S | - | - | 3 | 2 | 1 | 1 | 8 | 3,44 |
| 4 | C-PTNV-CORT | + | + | + | S | + | + | 5 | 0 | 1 | 5 | 11,5 | 5,00 |
| 5 | C-PTNV-1/2-80 | + | - | - | - | - | + | 2 | 4 | 0 | -2 | 2,5 | 1,00 |
| 6 | C-PTNV-1/2-30 | + | - | - | - | - | + | 2 | 4 | 0 | -2 | 2,5 | 1,00 |
| 7 | T-PTNV | + | + | + | S | - | - | 3 | 2 | 1 | 1 | 8 | 3,44 |
| 8 | T-PTV | + | + | + | S | - | - | 3 | 2 | 1 | 1 | 8 | 3,44 |
| 9 | T-PTNV-CORT | + | + | + | S | + | + | 5 | 0 | 1 | 5 | 11,5 | 5,00 |
| 10 | T-PTNV-1/2-80 | + | - | - | - | - | + | 2 | 4 | 0 | -2 | 2,5 | 1,00 |
| 11 | T-PTNV-1/2-30 | + | - | - | - | - | + | 2 | 4 | 0 | -2 | 2,5 | 1,00 |

Fonte: Desenvolvido pelos autores (2020).

Para cada positivo foi somado um ponto, para cada negativo foi subtraído um ponto e para cada “igual” não foram somados pontos. A pontuação final foi em seguida adaptada à escala de 1 a 5 através da equação 4. Os resultados encontrados demonstraram que os melhores modelos com relação ao critério aparência foram o C-PTNV-CORT e o T-PTNV-CORT. Os modelos com menor avaliação foram o PTV-1/2-30 e o PTV-1/2-80.

Para avaliar os modelos com relação ao critério aceitação pelo mercado foi adotada a mesma metodologia apresentada para o critério aparência. Os resultados são mostrados na Figura 9. De acordo com esses resultados, o melhor modelo foi o C-PC, o C-PTV

e o T-PC, ou seja, modelos que não possuem a parede Trombe e com a parede acumuladora de blocos de concreto tenderam a apresentar alguma vantagem neste critério.

Figura 9 - Pontuação para o critério “Aceitação pelo Mercado”

| ACEITAÇÃO PELO MERCADO | | | | | | | | | | | TOTAL | POSIÇÃO | PONTUAÇÃO |
|------------------------|---------------|----|----|----|----|----|------|------|------|---|-------|---------|-----------|
| CONCEPÇÕES | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q5 | Q6 | Σ(+) | Σ(-) | Σ(S) | | | | |
| REF - T-PC | | | | | | | | | | | 0 | 10 | 4,4 |
| 1 | C-PC | S | + | S | S | + | + | 3 | 0 | 3 | 3 | 11,5 | 5 |
| 2 | C-PTNV | - | - | - | S | - | - | 0 | 5 | 1 | -5 | 3 | 1,6 |
| 3 | C-PTV | - | + | + | S | + | + | 4 | 1 | 1 | 3 | 11,5 | 5 |
| 4 | C-PTNV-CORT | - | - | + | S | - | S | 1 | 3 | 2 | -2 | 7,5 | 3,4 |
| 5 | C-PTNV-1/2-80 | - | - | - | - | + | S | 1 | 4 | 1 | -3 | 5,5 | 2,6 |
| 6 | C-PTNV-1/2-30 | - | - | - | - | + | S | 1 | 4 | 1 | -3 | 5,5 | 2,6 |
| 7 | T-PTNV | - | - | + | - | - | - | 1 | 5 | 0 | -4 | 4 | 2 |
| 8 | T-PTV | - | + | + | - | - | - | 2 | 4 | 0 | -2 | 7,5 | 3,4 |
| 9 | T-PTNV-CORT | - | + | + | S | - | - | 2 | 3 | 1 | -1 | 9 | 4 |
| 10 | T-PTNV-1/2-80 | - | - | - | - | - | - | 0 | 6 | 0 | -6 | 1,5 | 1 |
| 11 | T-PTNV-1/2-30 | - | - | - | - | - | - | 0 | 6 | 0 | -6 | 1,5 | 1 |

Fonte: Desenvolvido pelos autores (2020).

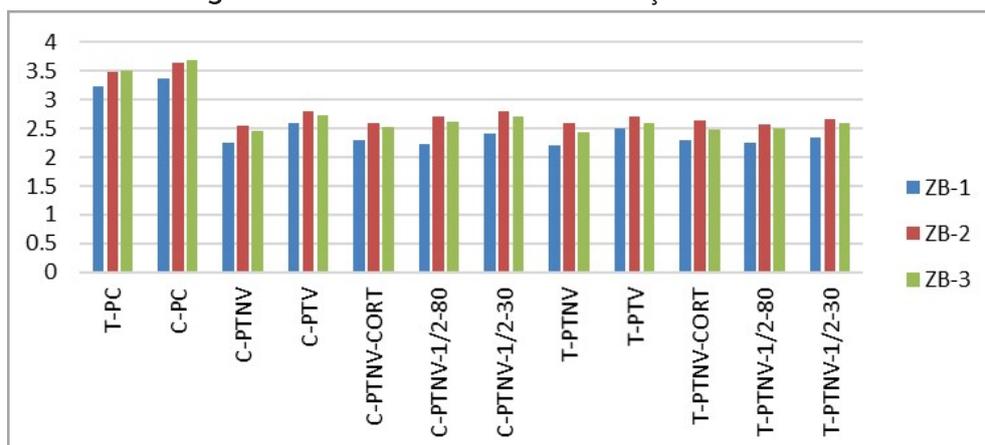
Os pesos definidos pelos entrevistados são mostrados no Quadro 7. De posse dos pesos e dos valores dos critérios, pôde-se calcular o valor da função utilidade para cada Zona Bioclimática através da equação 1, mostrados na Figura 10. Observa-se que as melhores concepções encontradas nas três Zonas Bioclimáticas foram a C-PC, a T-PC e a C-PTV, em ordem decrescente. Ou seja, considerando todos os critérios, as duas melhores concepções são aquelas sem a parede Trombe. Contudo, quando apenas os critérios conforto térmico e eficiência energética são avaliados, os modelos com as paredes Trombe ficam nos primeiros lugares.

Quadro 7 - Pesos dos critérios (w_i)

| CT | EE | CI | FUM | AS | AP | AM |
|------|------|------|------|------|------|------|
| 0,19 | 0,19 | 0,16 | 0,20 | 0,10 | 0,10 | 0,05 |

Fonte: Desenvolvido pelos autores (2020).

Figura 10 - Cálculo do valor da função utilidade



Fonte: Desenvolvido pelos autores (2020).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo deste artigo sete critérios foram utilizados para avaliar seis concepções de paredes Trombe, sendo uma de tijolo cerâmico maciço e a outra de bloco de concreto. No que diz respeito ao conforto térmico, observou-se que o uso da parede Trombe, especialmente quando ela é ventilada, aumenta o número de horas do ano em conforto térmico. O segundo critério analisado foi a eficiência energética. Todas as cidades tiveram o valor do EqNumEnv do modelo simulado elevado quando foi utilizada a parede Trombe.

Com base nesses dois critérios a parede Trombe se mostrou como um recurso interessante para melhorar o desempenho térmico de uma edificação. Contudo, os demais critérios levaram a uma conclusão diferente. O custo de implementação se mostrou como uma possível causa da não adoção do sistema, devido ao alto valor da esquadria. O mesmo pode ser dito da facilidade de uso e de manutenção. Neste caso, sistemas automatizados, que permitissem a abertura automática das esquadrias quando necessário, poderiam minimizar esta questão. Contudo, isto elevaria o custo e o consumo de energia. Para a aparência, as melhores soluções foram aquelas com uma cortina interna. Possivelmente isto ocorreu porque a cortina cobre a parede pintada de preto. Já para a aceitação pelo mercado as concepções com a parede de bloco de concreto se destacaram, em especial a parede comum e a parede Trombe ventilada.

Quando todos os critérios foram avaliados em conjunto, as paredes tradicionais ficaram nas primeiras posições. Entretanto, através desta planilha pode-se procurar alternativas para que o sistema seja aprimorado, visto que o desempenho térmico dele é superior ao da parede tradicional. Certamente uma dessas alternativas seria buscar meios de minimizar o custo e facilitar a manipulação das esquadrias.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro, 2003.

BACK, Nelson et al. **Projeto Integrado de Produtos - Planejamento, Concepção e Modelagem**. Barueri, SP: Manole, 2013. 602p.

BIANCO, Corina Faria. **Parede Trombe: Estudo experimental comparativo de desempenho térmico para aquecimento e arrefecimento na cidade de São Paulo**. 2016. 344 f. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

SÁ, Ana Briga; BOAVENTURA-CUNHA, José; LANZINHA, João-Carlos; PAIVA, Anabela. An experimental analysis of the Trombe wall temperature fluctuations for high range climate conditions: influence of ventilation openings and shading devices. : Influence of ventilation openings and shading devices. **Energy And Buildings**, [s.l.], v. 138, p. 546-558, mar. 2017. Elsevier BV.

CAVALCANTI, Fernando Sá et al.. Parede Trombe como estratégia passiva promotora de eficiência energética em São Carlos-sp. **Anais do IV Congresso Brasileiro de Eficiência Energética**, 2011, Juiz de Fora, MG.

CAVALCANTI, Fernando Antonio de Melo Sá. **Paredes Trombe no Brasil: Análise do potencial de utilização para aquecimento e refrigeração**. 2013. 144 f. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

CHEN, B.; CHEN, X.; DING, Y.h.; JIA, X.. Shading effects on the winter thermal performance of the Trombe wall air gap: an experimental study in dalian. : An experimental study in Dalian. **Renewable Energy**, [s.l.], v. 31, n. 12, p. 1961-1971, out. 2006. Elsevier BV.

DEAR, Richard J. de; BRAGER, Gail S.. Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ashrae standard 55. : revisions to ASHRAE Standard 55. **Energy And Buildings**, [s.l.], v. 34, n. 6, p. 549-561, jul. 2002. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0378-7788\(02\)00005-1](http://dx.doi.org/10.1016/s0378-7788(02)00005-1).

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. Portaria n°18, de 16 de janeiro de 2012. **Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética Edificações Residenciais**. Brasília, DF, 2012.

LABEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. **Arquivos Climáticos INMET 2016**. Disponível em: < <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivosclimaticos/inmet2016epw> >. Acesso em março de 2018.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O.R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª Edição. Rio de Janeiro: Eletrobrás / PROCEL, 2014, 382 p.

MENDONÇA, P.J.F. de A.U. de. **Habitar sob uma segunda pele: Estratégias para a Redução do Impacto Ambiental de Construções Solares Passivas em Climas Temperados.** Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Guimarães 2005.

MONTEIRO, Leonardo Marques; BITTENCOURT, Leonardo; YANNAS, Simos. O Edifício Ambiental. In: GONÇALVES, Joana Carla Soares; BODE, Klaus (Org.). **Arquitetura da Adaptação.** São Paulo: Oficina de Textos, 2015. p. 36-46.

PUGH, Stuart. **Total design: integrated methods for successful product engineering.** Wokingham : Addison-Wesley Pub. Co., c1991 xiii.

RABANI, Mehran; KALANTAR, Vali; DEGHAN, Ali A.; FAGHIH, Ahmadreza K.. Experimental study of the heating performance of a Trombe wall with a new design. **Solar Energy**, [s.l.], v. 118, p. 359-374, ago. 2015. Elsevier BV.

SAADATIAN, Omidreza; SOPIAN, K.; LIM, C.h.; ASIM, Nilofar; SULAIMAN, M.y.. Trombe walls: a review of opportunities and challenges in research and development. : A review of opportunities and challenges in research and development. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 16, n. 8, p. 6340-6351, out. 2012. Elsevier BV.

STAZI, Francesca; MASTRUCCI, Alessio; PERNA, Costanzo di. The behaviour of solar walls in residential buildings with different insulation levels: An experimental and numerical study. **Energy And Buildings**, [s.l.], v. 47, p.217-229, abr. 2012. Elsevier BV.

SUZUKI, Eimi Veridiane. **Avaliação do Potencial de Aquecimento / Resfriamento de um Sistema de Climatização Passiva.** 2012. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

ULRICH, K.T.; EPPINGER, S.D. **Product Design and Development.** 4ª Edição. McGraw- Hill Higher Education, 2008, 368 p.

YEDDER, R.ben; BILGEN, E.. Natural convection and conduction in Trombe wall systems. **International Journal Of Heat And Mass Transfer**, [s.l.], v. 34, n. 4-5, p. 1237-1248, abr. 1991. Elsevier BV.

Como citar este capítulo (ABNT):

ZIEBELL, C. S.; AYMONE, J. L. F. Seleção de Concepções de Paredes Trombe. In: OLIVEIRA, G. G. de; NÚÑEZ, G. J. Z. **Design em Pesquisa** - Volume 3. Porto Alegre: Marcavizual, 2020. cap. 30, p. 546-563. *E-book*. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/iicd/publicacoes/livros>. Acesso em: 15 ago. 2020 (exemplo).

Como citar este capítulo (Chicago):

Ziebell, Clarissa Sartori, and José Luis Farinatti Aymone. "Seleção de Concepções de Paredes Trombe." In *Design em Pesquisa - Volume 3*, edited by Geísa Gaiger de Oliveira and Gustavo Javier Zani Núñez, 546-563. Porto Alegre: Marcavizual. <https://www.ufrgs.br/iicd/publicacoes/livros>.