



Tecnologia alternativa para construção de habitação de interesse social com painéis pré-fabricados de concreto armado

Eleandro Catto¹
Thaís L. Provenzano²
Fernando Barth³

¹ Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo- UFSC-eleandro@arq.ufsc.br

²Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo- UFSC- thaispro@yahoo.com.br

³ Prof. Dr. do Departamento de Arquitetura e Urbanismo - UFSC - ferbarth@arq.ufsc.br

Resumo

O presente trabalho tem por objetivo a caracterização e análise de desempenho térmico dos painéis sanduíche de concreto e poliestireno utilizado na construção de habitações de interesse social, em Canoas/ RS. A industrialização da construção apresenta-se como opção para melhorar as características estruturais e funcionais dos elementos construtivos. Fatores como racionalização da construção, controle de qualidade de materiais, rapidez de execução e qualificação da mão-de-obra empregada no processo são requisitos deste tipo de construção. A racionalização do processo construtivo minimiza a produção de resíduos que frequentemente poluem e degradam o meio ambiente. O sistema construtivo está baseado a partir de um tipo de painel portante, composto por duas camadas de concreto, estruturado por uma treliça metálica perimetral, malha de fios de aço e núcleo de poliestireno expandido. Estas características tornam o sistema construtivo uma alternativa de construção sustentável na medida em que minimiza os desperdícios de materiais e otimiza os recursos de mão de obra. O isolamento propiciado pelos painéis sanduíche nas vedações e cobertura das edificações analisada propiciam melhorias no desempenho térmico, o que contribui para aumentar as condições de conforto dos usuários e também reduzir o consumo energético das edificações.

Palavra chave: Tecnologia, habitação, painel, desempenho térmico.

1. Introdução

Neste trabalho busca-se caracterizar a produção de habitações com sistema construtivo alternativo, desenvolvido pela Habitec (2005), utilizado na construção de um conjunto residencial formado por sete casas isoladas, conforme mostra a figura 1 a e 1 b. O conjunto está localizado na cidade de Canoas, região metropolitana de Porto Alegre. Cada unidade é composta por sala de estar e jantar integradas, dois quartos, banheiro social, cozinha e área de serviço aberta, totalizando 42 m² de área construída.

A racionalização do projeto e a industrialização dos processos construtivos possibilitaram incorporar técnicas de fabricação em escala que introduziram melhorias na qualidade dos produtos e reduziram os prazos de execução. As sete habitações analisadas foram montadas em três semanas e finalizadas no prazo de três meses. Esta eficácia do sistema construtivo possibilitou aumentar a produtividade da construção, quando comparado aos prazos de execução da construção convencional.

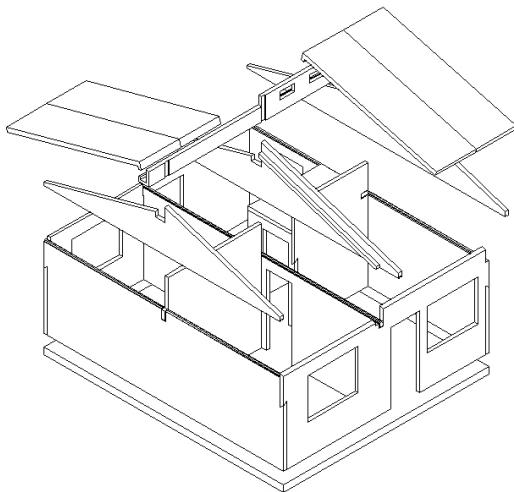


Figura 1: a - modelo esquemático de montagem do sistema construtivo com painéis pré-fabricados e b – Conjunto residencial com sete unidades construído em Canoas, RS.

2. Processo de montagem da habitação

Na montagem dos painéis são utilizadas cintas de içamento e cordas para auxiliar no posicionamento dos mesmos. A construção das unidades de habitação tem início pela colocação dos tubos pré-fabricados de concreto que se apoiavam sobre as sapatas concretadas in situ. A montagem das três placas pré-fabricadas de piso é realizada através de caminhão com guindaste posicionado-as sobre os tubos das fundações conforme mostra a figura 2a.



Figura 2: a - posicionamento da laje de piso sobre as fundações e b – içamento do painel de vedação.

A montagem dos painéis de vedação portante é realizada através de uma seqüência definida em função do travamento das ligações nos seus cantos, como mostra a figura 3a. Os painéis são suspensos por cintas que podem ser fixadas nas aberturas ou através da armadura de reforço perimetral, conforme mostra a figura 3b. Os painéis com aberturas de portas apresentam um reforço provisório na base, de modo a conferir rigidez adicional nos processos de desmoldes e movimentação.



1º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 29 a 31 de Outubro de 2008



Figura 3: a – posicionamento do painel de vedação e b – encaixe dos painéis de vedação

Os painéis dos oitões são içados por dois pontos, posicionados e encaixados sobre os painéis de paredes, servindo também de suporte para os beirais da laje de cobertura, conforme ilustrado na figura 4a. A cobertura da parte posterior da edificação é formada por quatro painéis que se apóiam sobre os oitões e as vedações, sendo encaixados na viga calha, conforme ilustrado na figura 4b.



Figura 4: a – colocação do painel de cobertura e b - colocação do primeiro painel da parte frontal da cobertura

Após a montagem são realizados os reparos das extremidades e partes danificadas, com argamassa cuja resistência é equivalente a do concreto dos painéis, conforme mostrado na figura 5a.



Figura 5: a - reparo de cantos e partes danificadas dos painéis após a montagem e b – pintura da habitação após colocação das esquadrias



3. Painéis sanduíche como elemento condicionador natural da edificação

O desempenho térmico de uma edificação é propiciado principalmente pelo desempenho térmico das vedações verticais e da sua cobertura, e pode ser obtido pela média ponderada da resistência térmica dos elementos que a compõem. Nesse sistema construtivo o núcleo interno de poliestireno dos painéis aumenta consideravelmente o isolamento térmico da envolvente, podendo melhorar as condições de conforto dos usuários e também reduzir o consumo de energia destinada à refrigeração e à calefação dos ambientes internos. A NBR 15220 estabelece um modelo de cálculo simplificado para avaliar os principais parâmetros do desempenho térmico da edificação. O isolamento térmico, a inércia e o atraso térmicos são determinados de forma analítica por meio dos procedimentos de cálculo, segundo os critérios e requisitos normativos estabelecidos pelas oito zonas bioclimáticas brasileiras. Os cálculos a seguir foram determinados por Catto (2008), em um estudo de caso situado na região metropolitana de Porto Alegre, e que de acordo com a referida norma está situado na zona bioclimática 01.

3.1 Isolamento térmico das vedações

O painel de vedação é composto por camada externa de concreto com 4,5cm e camada interna com 2,7cm de espessura. O núcleo de poliestireno apresenta espessura de 2,8cm. Para efeito de cálculo, será considerado um painel com referência medindo 820cm de comprimento e 250cm de altura com 10cm de espessura total, onde a seção 'A' corresponde a parte maciça do painel e a seção 'B' a parte heterogênea sendo apresentadas na figura 6. O concreto apresenta densidade de massa aparente $\rho=2300 \text{ kg/m}^3$, condutividade térmica $\lambda =1,75 \text{ W/(m.K)}$ e calor específico $c=1,00 \text{ kJ/(kg.K)}$. O poliestireno apresenta $\rho=25 \text{ kg/m}^3$, $\lambda =0,04 \text{ W/(m.K)}$ e $c=1,42 \text{ kJ/(kg.K)}$.

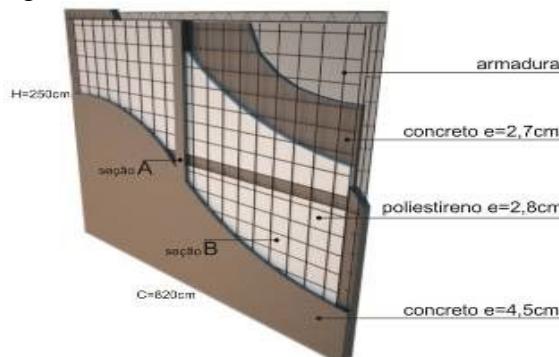


Figura 6 – Constituição do painel sanduíche de vedação.

A resistência térmica do painel pode ser calculada pela divisão da espessura pela condutividade térmica de cada camada do painel, sendo apresentada na tabela 1.

Tabela 1 – Resistência Térmica.

	Área	Resistência térmica		R ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$)
Seção A	$A_a=2,3\text{m}^2$	$R_a = \frac{e_{\text{concreto}}}{\lambda_{\text{concreto}}}$	$R_a = \frac{0,10}{1,75}$	0,057
Seção B	$A_b=18,1\text{m}^2$	$R_b = \frac{e_{\text{concreto}}}{\lambda_{\text{concreto}}} + \frac{e_{\text{eps}}}{\lambda_{\text{eps}}} + \frac{e_{\text{concreto}}}{\lambda_{\text{concreto}}}$	$R_b = \frac{0,045}{1,75} + \frac{0,028}{0,04} + \frac{0,027}{1,75}$	0,75



Desta forma a resistência térmica da vedação é obtida pela ponderação entre a resistência térmica das seções calculadas anteriormente e suas áreas correspondentes, sendo calculada pela equação 1.

$$R_t = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b}} = \frac{2,33 + 18,17}{\frac{2,33}{0,057} + \frac{18,17}{0,75}} = \frac{20,5}{65,09} = R_t = 0,315 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)}/\text{W} \quad (1)$$

A resistência térmica total da vedação de ambiente a ambiente é definida pelo somatório do conjunto de resistências térmicas correspondente às camadas de um elemento ou componentes, incluindo a resistência superficial interna e externa, representada pela equação².

$$RT = Rsi + Rt + Rse = 0,13 + 0,315 + 0,04 = 0,485 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)}/\text{W} \quad (2)$$

A transmitância térmica da vedação é a função inversa da resistência térmica, podendo ser definida como o fluxo de calor incidente que passa por uma vedação em um metro quadrado³ desta, quando se aumenta em um grau a temperatura, e pode ser representada pela equação³.

$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{0,406} = 2,06 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \quad (3)$$

3.2 A capacidade térmica das vedações

A capacidade térmica de uma vedação heterogênea é determinada a partir da capacidade térmica das diferentes camadas que a compõe, e pode ser determinado pela equação 4.

$$C_T = \sum_{i=1}^n e_i \cdot c_i \cdot \rho_i \quad (4)$$

A capacidade térmica dos painéis de vedação é de $CT = 230,00 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ para a seção A e $CT = 166,59 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ para a seção B. Desta forma, a capacidade térmica total da parede heterogênea pode ser obtida pela ponderação das capacidades térmicas das correspondentes áreas das seções, onde o resultado encontrado foi $C_T = 175,20 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

3.3 O atraso térmico das vedações

O atraso térmico é o tempo correspondente em horas, entre as ocorrências de temperatura máxima externa e interna da habitação, determinado pela equação 5.

$$\varphi = 1,382 \cdot e \cdot \sqrt{\frac{\rho \cdot c}{3,6 \cdot \lambda}} \quad (5)$$

O atraso térmico da seção homogênea A foi $\varphi = 2,64$ horas. Na seção composta B, o atraso térmico pode ser calculado pela equação 6.

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2} \quad (6)$$

Onde B_1 e B_2 são determinados pelas seguintes expressões:

$$B1 = 0,226 \cdot B0 / R_t = 0,226 \times 63,1 / 0,75 = 19,00$$

$$\text{Sendo que } B0 = CT - CText = 166,59 - 0,045 \cdot 1,2300 = 63,1$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left(\frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{ext}}{R_t} \right) \cdot \left(R_{ext} - \frac{R_t - R_{ext}}{10} \right)$$

$$B2 = 0,205[(1,75 \times 2300 \times 1) / 0,75] \cdot [0,045 / 1,75 - (0,75 - 0,045 / 1,75) / 10] = - 246,8$$

Segundo a norma NBR 15220 o valor de B_2 deve ser desconsiderado, pois resultou em valor negativo. Assim o atraso térmico da seção B é de 4,52 horas.



Desta forma o atraso térmico da fachada heterogênea pode ser determinado pela média ponderada entre o atraso térmico das seções do painel e as respectivas áreas.

$$\varphi = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{\varphi_a} + \frac{A_b}{\varphi_b}} = \frac{2,33 + 18,17}{\frac{2,33}{2,64} + \frac{18,17}{4,52}} = \frac{20,5}{4,10} = 4,18\text{h}$$

3.4 Fator calor solar.

O fator calor solar é definido como sendo quociente da taxa de radiação solar transmitida através de um componente opaco pela taxa da radiação solar total incidente sobre a superfície externa do mesmo e é calculado pela equação 8.

$$FS_o = 4.U.\alpha \quad (8)$$

Então temos para pintura externa branca onde $\alpha = 0,20$ o fator solar é $FS=4x2,06x0,2=1,97\%$ e para pintura verde escura onde $\alpha = 0,70$ o fator solar é $FS=4x2,06x0,7=6,89\%$.

4. Desempenho térmico dos painéis de cobertura.

Para efeito de cálculo, será considerado um painel de cobertura com referência, com 500cm de largura e 720cm de comprimento por 13cm de espessura, onde a seção A é maciça de concreto, e a camada heterogênea representada na seção B, formada por camada externa de concreto com $e=4,8\text{cm}$, camada de poliestireno com $e=6,0\text{cm}$ e a camada interna de concreto com $e=2,7\text{cm}$ e com posterior telhamento cerâmico representado na figura 7.

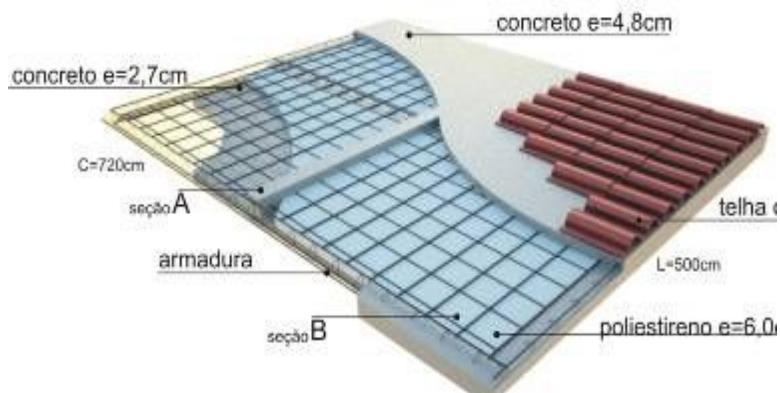


Figura 7 – Constituição do painel sanduíche de cobertura.

4.1 Resistência térmica do painel de cobertura

Os valores encontrados da resistência térmica do painel para a seção AA é de $R_a=0,074(\text{m}^2.\text{K})/\text{W}$, com área de $A=2,88\text{m}^2$, para a seção BB $R_b=1,57(\text{m}^2.\text{K})/\text{W}$ com área de $A=33,12\text{m}^2$. A média ponderada das resistências térmicas das seções foi de $R_{pc}=0,498(\text{m}^2.\text{K})/\text{W}$. A resistência térmica total da cobertura de ambiente a ambiente depende do sentido do fluxo de calor que atravessa o painel e o telhamento, sendo descendente em situações de verão e ascendente em situações de inverno.

A resistência da cobertura pode ser calculada na situação de verão por:

$$RT = R_{si} + R_{pc} + R_{ar} + R_{te} + R_{se} = 0,17 + 0,498 + 0,18 + 0,02/0,9 + 0,04 = 0,91 (\text{m}^2.\text{K})/\text{W}$$

A resistência da cobertura na situação de inverno é:

$$RT = R_{si} + R_{pc} + R_{ar} + R_{te} + R_{se} = 0,10 + 0,498 + 0,14 + 0,02/0,9 + 0,04 = 0,80 (\text{m}^2.\text{K})/\text{W}$$



1º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 29 a 31 de Outubro de 2008

A transmitância térmica da cobertura é função inversa da resistência onde na situação de verão resulta $U = 1,10\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ e na situação de inverno $U = 1,25\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$.

4.2 Capacidade térmica da cobertura

A capacidade térmica do painel de cobertura é $C_a=299,00\text{kJ}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ para a seção A, e $C_b=174,63\text{kJ}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ para a seção B. Desta forma, a capacidade térmica total pode ser obtida pela ponderação das capacidades térmicas e das correspondentes áreas das seções, onde o resultado encontrado foi $C_{pc}=186,70\text{kJ}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. A capacidade térmica da cobertura deve-se somar a capacidade térmica do telhamento $C_{te}=0,02 \times 0,92 \times 1500 = 27,60\text{kJ}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. Assim a capacidade térmica da cobertura é de $C_T = 214,30\text{kJ}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$.

4.3 Atraso térmico da cobertura

O atraso térmico do painel de cobertura na seção homogênea AA é de $\varphi_a = 3,43$ horas e para a seção composta BB $\varphi_b = 6,53$ horas. O atraso térmico do painel de cobertura pode ser calculado pela média ponderada destes atrasos e das respectivas superfícies, resultando em:

$$\varphi = \frac{\frac{A_a + A_b}{A_a + A_b}}{\frac{\varphi_a}{A_a} + \frac{\varphi_b}{A_b}} = \frac{2,88 + 33,12}{\frac{2,88}{3,43} + \frac{33,12}{6,53}} = \frac{36}{5,07} = 6,1\text{h}$$

O atraso térmico da cobertura com telhamento depende do sentido do fluxo de calor podendo ser calculado pela equação 6.

Na situação de verão $R_T = 0,91\text{ (m}^2\cdot\text{K)}/\text{W}$

E B_1 e B_2 são determinados pelas seguintes expressões:

$$B_1 = 0,226 \cdot B_0 / R_t = 0,226 \times 186,7 / 0,91 = 46,4$$

$$\text{Sendo que } B_0 = C_T - C_{Text} = 214,30 - 27,60 = 186,7$$

$$B_2 = 0,205[(0,9 \times 1500 \times 0,92) / 0,91] \cdot [0,02 / 0,9 - (0,91 - 0,02 / 0,9) / 10] = - 18,46$$

O valor de B_2 é desconsiderado, pois resultou em valor negativo. Assim o atraso térmico da cobertura na situação de verão é:

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2} = 1,382 \times 0,91 \times 6,81 = 8,6\text{h}$$

Na situação de inverno é:

$$B_2 = 0,205[(0,9 \times 1500 \times 0,92) / 0,8] \cdot [0,02 / 0,9 - (0,8 - 0,02 / 0,9) / 10] = - 17,82$$

Sendo B_2 negativo e $B_1 = 0,226 \times 186,7 / 0,8 = 52,7$. O atraso térmico da cobertura na situação de inverno é:

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2} = 1,382 \times 0,8 \times 7,25 = 8,0\text{h}$$

4.4 Fator solar da cobertura

Para cobertura com telhamento cerâmico o fator solar pode ser calculado por:

Na situação de verão resulta em $FS = 4 \cdot U \cdot \alpha = 4 \times 1,1 \times 0,75 = 3,30\%$. Na situação de inverno resulta em $FS = 4 \cdot U \cdot \alpha = 4 \times 1,25 \times 0,75 = 3,75\%$.



1º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 29 a 31 de Outubro de 2008

5. Considerações finais

As observações deste trabalho buscam contribuir para o aperfeiçoamento do referido sistema construtivo, que tem já tem demonstrado nas unidades construída eficácia construtiva e melhorias de desempenho. O desafio de aplicar técnicas de pré-fabricação num sistema construtivo esbarra em algumas práticas construtivas, que apesar de aceitas e difundidas, carecem de uma maior racionalidade. Entre outros aspectos destacam-se a coordenação modular e a padronização dos componentes formados por painéis, janelas, portas e elementos de revestimento. Esta sistematização e padronização é que permite alcançar o desejado aumento na produtividade e na qualidade de nossas construções.

Outro aspecto de destaque no sistema construtivo é o elevado desempenho térmico alcançado pelo uso de material de baixa condutividade térmica no núcleo dos painéis. Os resultados dos parâmetros de desempenho térmico satisfazem as exigências normativas, fazendo com que as condições de conforto dos usuários sejam ampliadas. Estas melhorias de desempenho térmico contribuem de modo significativo para a redução do consumo de energia da habitação, parâmetros estes que merecem futuramente também serem aferidos por meio de uma análise pós-ocupacional. Por fim, pode-se adicionar que as análises do sistema aqui apresentado conduzem ao aperfeiçoamento das técnicas construtivas, e também contribuem para a implantação de alguns conceitos de sustentabilidade na construção das edificações.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS - NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro. ABNT. 2005.

_____ – ABNT - NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social. Rio de Janeiro. ABNT. 2005.

HABITEC. Sistema Construtivo com painéis Sanduíche de concreto e poliestireno. Porto Alegre. [www\[minhacasadez.com.br\]](http://www[minhacasadez.com.br]). 2004.

CATTO, E. Caracterização do sistema construtivo com painéis sanduíche pré-fabricados de concreto e poliestireno em três estudos de caso em Porto Alegre – RS. Trabalho de qualificação para o programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo: Projeto e Tecnologia do Ambiente Construído. UFSC. 2008