

Indicadores de desempenho térmico de vedações verticais externas relacionados com o custo de habitação de interesse social com base na norma de desempenho no Brasil

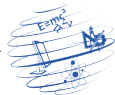
Hugo Leonardo Gouveia¹, Rosa Maria Sposto¹

¹ Departamento de Engenharia Civil e Ambiental – Universidade de Brasília (UnB)
CEP: 70910-900 – Brasília – DF – Brazil

hugoleonardoenc@gmail.com, rmsposto@unb.br

Abstract. *This work aimed to create thermal performance indicators (thermal transmittance and thermal capacity) and relate them to the cost of external walls of social housing. Through these indicators, it was possible to evaluate the thermal performance of the external envelope from the substrate, width of the bricks or blocks and coating thickness. The procedure used to evaluate was the simplified one. Only the bioclimatic zones containing cities surveyed monthly by Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE) for the National System of Costs and Indexes of Construction (Sinapi) were considered in this study. The results indicate that the type of material used for the substrate is the main factor in determining the thermal performance according to the standard. In addition, the results indicate a wide variation in the rate of compliance with the requirements of thermal transmittance due to change in climatic zone, which indicates the importance of matching the designing specifications for each city.*

Resumo. *Este trabalho teve como objetivo criar indicadores de desempenho térmico e relacioná-los ao custo de vedações externas de habitações de interesse social. Estes indicadores permitiram a avaliação do desempenho térmico a partir do tipo de substrato, da largura dos componentes e da espessura do revestimento. O procedimento empregado foi o simplificado. Foram consideradas as zonas bioclimáticas que contém cidades pesquisadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística para o Sistema Nacional de Custos e Índices da Construção Civil. Os resultados indicaram que o tipo de material do substrato é o principal fator na determinação do desempenho térmico. Além disso, apontaram uma grande variação na taxa de atendimento aos requisitos de transmitância térmica devido a alteração da zona bioclimática, o que indica a importância em adequar as especificações de projeto para cada cidade.*



1. Introdução e objetivos

Nos últimos anos o governo brasileiro tem investido em programas de Habitações de Interesse Social (HIS) para famílias de baixa renda; como exemplo, pode ser apontado o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV). Considerando o grande porte deste programa, que consiste na produção de um número elevado de habitações, é importante analisar o desempenho térmico destas habitações, buscando com isto não somente a melhoria da qualidade de vida do seu usuário, mas também a economia de energia devido ao uso de climatizadores ou ventiladores.

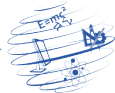
A utilização de indicadores é uma importante ferramenta de avaliação, principalmente, quando se trata das HIS, onde o custo deve ser reduzido ao máximo, sem gerar perda dos padrões mínimos exigidos pelos órgãos financiadores e pelas normas pertinentes da ABNT quanto aos elementos e/ou compartimentos projetados. Como exemplo destes indicadores e do desempenho necessário dos elementos desta habitação, tem-se a maior compacidade sem prejuízo da funcionalidade e da acessibilidade, a menor densidade de paredes, sem prejuízo do desempenho acústico e outros.

Este trabalho teve como objetivo a criação de indicadores de desempenho térmico e econômico de vedações verticais externas de habitações de interesse social (no âmbito do Programa Minha Casa Minha Vida - PMCMV). Para o desenvolvimento dos indicadores foram tomados como base os critérios de desempenho térmico estipulados na norma de desempenho (ABNT NBR 15575:2013) e o Sistema Nacional de Custos e Índices da Construção Civil – Sinapi¹.

2. Habitação de interesse social no Brasil e alguns aspectos de desempenho

Das especificações apresentadas pela Caixa Econômica Federal (CEF) para as HIS, do PMCMV, observa-se a lacuna referente ao desempenho mínimo em relação a alguns aspectos de desempenho; são mencionadas apenas que as tecnologias inovadoras devem ser testadas e aprovadas pela ABNT NBR 15575 (2013) e aprovadas pela CAIXA. No entanto, sabe-se que também os sistemas convencionais necessitam de avaliação de desempenho para cumprir requisitos e critérios, por exemplo, térmicos.

¹ O Decreto 7.983/2013 estabelece regras e critérios para elaboração do orçamento de referência de obras e serviços de engenharia, contratados e executados com recursos dos orçamentos da União. Nesse decreto, há citação do Sinapi como referencial de preços, conforme se segue: “Art. 3º O custo global de referência de obras e serviços de engenharia, exceto os serviços e obras de infraestrutura de transporte, será obtido a partir das composições dos custos unitários previstas no projeto que integra o edital de licitação, menores ou iguais à mediana de seus correspondentes nos custos unitários de referência do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil - Sinapi, excetuados os itens caracterizados como montagem industrial ou que não possam ser considerados como de construção civil.



Desta forma, se por um lado o atendimento à quantidade de HIS tem sido intensificado, por meio do PMCMV, por outro lado, os meios de avaliação da qualidade da habitação para o usuário final continuam precários. A norma de desempenho, publicada e em vigor desde 2013 vem preencher a lacuna de um desempenho mínimo² a ser apresentado pela habitação. Em relação à HIS, o desafio consiste em atender as exigências da norma mantendo-se o custo de construção reduzido.

3. Indicadores de desempenho

3.1. Alguns conceitos

Segundo FPNQ (1995), um indicador é uma relação matemática que mede, numericamente, atributos de um processo ou de seus resultados, com o objetivo de comparar esta medida com metas numéricas, pré-estabelecidas.

Para De Rolt (1998), indicador é um elemento que mede níveis de eficiência e eficácia de uma organização, ou seja, mede o desempenho dos processos produtivos, relacionados com a satisfação dos clientes.

Juran (1992) relaciona indicador ao controle que, por sua vez, é um requisito para a gestão. Assim, segundo o autor, sem o uso de um indicador não é possível gerir e agir corretamente.

Para Hammond *et al.* (1995), um indicador pode comunicar ou informar acerca do progresso em direção a uma determinada meta.

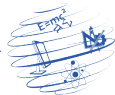
Para Van Bellen (2002), indicador tem a função de auxílio para uma política e para o processo de tomada de decisão.

Por fim, pode-se considerar que o indicador de desempenho é uma relação matemática que, por meio de metas numéricas pré-estabelecidas, permite identificar o estado de um processo ou o seu resultado. Um indicador ajuda a avaliar o progresso de uma atividade, comparando-o consigo mesmo num momento anterior ou relacionando-o com uma referência estabelecida (COSTA, 2008).

3.2. Classificação dos indicadores

Existem diversos tipos de indicadores aplicados à produção de edificações, alguns relacionados à qualidade do produto ou do projeto, por exemplo: compactidade, densidade de paredes, área do pavimento tipo ocupada por circulação no projeto arquitetônico e outros relacionados ao processo, tais como produtividade, retrabalho e perdas de materiais no processo. Os indicadores também podem se aplicar ao

² Em relação ao desempenho térmico, observa-se que a ABNT NBR 15575 (2013) estabelece desempenho mínimo, que é o mais indicado para HIS, e desempenhos intermediário e superior, que pode ser empregado em edificações habitacionais de padrão mais elevado.



planejamento da obra, referentes a alterações de projeto, desvio de prazo e desvio de custo. A seguir é feita uma breve descrição de indicadores para edificações, visando classificá-los conforme a sua destinação.

Segundo Souza *et al.* (1995), os indicadores podem ser classificados como de capacitação e de desempenho. O primeiro se refere às informações sobre uma determinada estrutura de produção e o segundo a um resultado atingido em determinado processo ou características dos produtos finais resultantes.

Os indicadores de desempenho podem ser divididos em indicadores da qualidade e indicadores de produtividade.

Os indicadores da qualidade, conforme Souza *et al.* (1995) são os que medem o desempenho de um produto ou serviço em relação às necessidades do cliente e para Lantelme (1994), estão relacionados à medição da eficácia da empresa em atender as necessidades do cliente.

Os indicadores que medem a qualidade e desempenho dos projetos de engenharia podem ser divididos conforme o tipo de projeto: Arquitetônico, Estrutural e Instalações.

Entre os trabalhos de indicadores de desempenho no Brasil, pode ser citado o de Oliveira *et al.* (1993), desenvolvido pelo Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação (NORIE), cujo conteúdo apresenta uma metodologia para levantamento de indicadores de produto e de processo.

Outros trabalhos podem ser citados, tais como: Oliveira *et al.* (1995); Ramos (2002); Soares (2002); Estefani e Sposto (2002); Silva Jr (2010); Gouveia e Sposto (2012), que apresentaram resultados de indicadores de projeto arquitetônico, de instalações e estruturas (compacidade, densidade de paredes, densidade de pontos elétricos, entre outros).

Na área de habitação de interesse social observa-se a necessidade de mais pesquisas no Brasil para que se possa ter um parâmetro de referência no processo de produção de edificações, com ênfase no projeto e no desempenho futuro do usuário.

4. Requisitos e critérios de desempenho térmico segundo a ABNT NBR 15575 (2013)

Os requisitos de desempenho térmico do sistema de vedações externas, de acordo com a ABNT NBR 15575 (2013) são: adequação de vedações verticais externas, aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas localizadas dos dormitórios em vedações externas.

Neste estudo foi considerado apenas o requisito de adequação das vedações verticais externas, que é o de apresentar Transmitância Térmica (U) e Capacidade Térmica (CT) que proporcionem, pelo menos, desempenho térmico mínimo estabelecido para cada zona bioclimática.

4.1. Critérios exigidos para o desempenho térmico de vedações verticais externas

Para o requisito de adequação de vedações externas referentes a U e CT (item anterior) foram considerados os critérios para U e CT exigidos pela ABNT NBR 15575 (2013), conforme apresentados nas Tabelas 4.1 e 4.2.

A transmitância térmica (U), segundo a ABNT NBR 15220 (2005), é o inverso da resistência térmica total (RT). RT é o somatório do conjunto de resistências térmicas correspondentes às camadas de um elemento, incluindo a resistência térmica superficial interna e a externa.

O método de avaliação utilizado para a análise do cumprimento do critério de U foi o simplificado, conforme a ABNT NBR 15575-4 (2013). Os cálculos foram feitos a partir do procedimento recomendado em ABNT NBR 15220 (2005).

Tabela 4.1. Critério exigido pela ABNT NBR 15575-4 (2013) para transmitância térmica (U) de vedação vertical externa

Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8
$U \leq 2,5$	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$
	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$

O índice α refere-se à absorptância à radiação solar da superfície externa da parede. A ABNT NBR 15220-1 (2005) o define como o quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície. Seu valor depende do tipo e cor da superfície, da seguinte maneira:

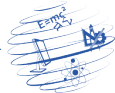
- pinturas na cor branca, amarela, verde clara e alumínio: $\alpha \leq 0,6$;
- pinturas na cor verde escura, vermelha e preta: $\alpha > 0,6$.

A Capacidade Térmica (CT), de acordo com a ABNT NBR 15220 (2005), é a quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema.

O método de avaliação utilizado para a análise do cumprimento do critério de CT foi o simplificado, conforme a ABNT NBR 15575-4 (2013). Os cálculos foram feitos a partir do procedimento recomendado em ABNT NBR 15220 (2005).

Tabela 4.2. Critério exigido pela ABNT NBR 15575-4 (2013) para capacidade térmica (CT) de vedação vertical externa

Zonas 1,2 3, 4, 5, 6 e 7	Zona 8
$CT \geq 130$	Sem requisito



4.2. Zonas bioclimáticas brasileiras e diretrizes construtivas

Segundo a ABNT NBR 15520 (2005), zona bioclimática é uma região geográfica homogênea quanto aos elementos climáticos que interferem nas relações entre ambiente construído e conforto humano. O Brasil é dividido em oito zonas bioclimáticas (Z1, Z2, Z3, Z4, Z5, Z6, Z7 e Z8), relativamente homogêneas quanto ao clima.

Para a formulação de diretrizes construtivas para cada uma destas zonas, algumas condições devem ser consideradas, tais como: tamanho de aberturas para ventilação, proteção das aberturas, transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT) e estratégias ou recursos de projeto para condicionamento térmico passivo³. Todas as diretrizes construtivas e condições são descritas na ABNT NBR 15220 (2005), e resumidas a seguir.

Em relação à abertura para ventilação, para Z1, Z2 e Z3, recomenda-se o uso de aberturas de tamanho médio, que permitam o sol durante o inverno e que tenham dispositivo de sombreamento; para Z4, Z5 e Z6, recomenda-se o uso de aberturas de tamanho médio com sombreamento; Para Z7 aberturas de tamanho pequeno com sombreamento e para Z8 aberturas de tamanho grande com sombreamento.

Quanto ao tipo de vedação, para Z1 e Z2, recomenda-se o uso de parede leve; para Z3, Z5 e Z8, o uso de parede leve refletora e para Z4, Z6 e Z7, o uso de parede pesada⁴.

Para cada uma destas zonas, existe um conjunto de recomendações técnico-construtivas, objetivando o melhor desempenho térmico das edificações, por meio de uma adequação climática. Desta forma, esta norma classifica a vedação vertical externa como:

- Leve: $U \leq 3,0 \text{ W/m}^2.\text{K}$;
- Leve refletora: $U \leq 3,6 \text{ W/m}^2.\text{K}$; e
- Pesada: $U \leq 2,2 \text{ W/m}^2.\text{K}$.

Neste trabalho foram consideradas as zonas bioclimáticas Z1, Z3, Z4, Z6, Z7, e Z8, selecionadas pelo fato de conter cidades pesquisadas mensalmente pela rede de coletas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para o Sistema Nacional de Custos e Índices da Construção Civil (Sinapi), uma vez que um dos objetivos do trabalho é a correlação de U e CT com o custo de construção.

³ As diversas estratégias de condicionamento térmico passivo são estabelecidas, para cada Zona bioclimática, na ABNT NBR 15220 (2005).

⁴ Observa-se que a ABNT NBR 15220 (2005) também estabelece recomendações técnico-construtivas, além da transmitância térmica e da capacidade térmica, para coberturas, de acordo com a zona bioclimática, elemento que não é tratado neste trabalho.

5. Metodologia

5.1. Introdução e alternativas selecionadas para o estudo

Para alcançar o objetivo deste trabalho foram consideradas 16 alternativas de vedação vertical externa, selecionadas devido ao fato de serem as especificações usuais mais frequentes em HIS.

Estas alternativas foram selecionadas a partir de três conjuntos de variáveis:

- Tipo de vedação (substrato): bloco cerâmico, bloco de concreto e tijolo maciço com argamassa mista de assentamento;
- Largura dos componentes ou dos blocos (L): 9 cm e 14 cm;
- Espessura do revestimento (de cada lado): 1,0 cm; 1,5 cm; 2,0 cm; e 2,5 cm.

No caso do bloco cerâmico e do tijolo maciço, não foram encontradas cotações para os blocos de largura igual a 14 cm no Sinapi, portanto, essas configurações foram descartadas do estudo, restando apenas o bloco de concreto com espessura de 14 cm.

Considerou-se no estudo a vedação sem função estrutural, ou seja, não foram considerados no estudo térmico e de custo os elementos estruturais para o cálculo do custo da alvenaria. O revestimento considerado é de camada única com diferentes espessuras e pintura da vedação externa na cor branca ($\alpha \leq 0,6$). Esta cor é referente a um reboco claro, o que sugere a adequada manutenção no manual de uso, operação e manutenção, a fim de sua conservação ao longo dos anos.

O custo das alvenarias foi calculado para as zonas Z1, Z3, Z4, Z6, Z7 e Z8, correspondentes a seis cidades brasileiras, conforme apresentado na Tabela 5.1.

Tabela 5.1. Cidades selecionadas para o estudo e zonas bioclimáticas correspondentes




Zona bioclimática	Estado	Capital
Z1	Paraná	Curitiba
Z3	São Paulo	São Paulo
Z4	Distrito Federal	Brasília
Z6	Goiás	Goiânia
Z7	Mato Grosso	Cuiabá
Z8	Maranhão	São Luiz

As zonas bioclimáticas Z2 e Z5 não abrangem cidades pesquisadas mensalmente pela rede de coletas do IBGE para o Sinapi. Assim, essas zonas não foram consideradas no estudo quanto ao custo da vedação externa, no entanto, foram inclusas nas análises de desempenho térmico (que não envolvem custo de construção).

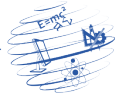
5.2. Amostra considerada no estudo

As alternativas de vedação (tipo e dimensões de componentes) consideradas nesse trabalho são apresentadas na Tabela 5.2.

Tabela 5.2. – Alternativas de vedação externa consideradas no estudo

Tipo de componente	Vedação	Largura L (m)	Altura H (m)	Comprimento C (m)	Espessura do revestimento (m)	Espessura total do componente (m)
Bloco Cerâmico 	A1	0,09	0,19	0,19	0,010	0,11
	A2	0,09	0,19	0,19	0,015	0,12
	A3	0,09	0,19	0,19	0,020	0,13
	A4	0,09	0,19	0,19	0,025	0,14
Bloco de concreto 	D1	0,09	0,19	0,39	0,010	0,11
	D2	0,09	0,19	0,39	0,015	0,12
	D3	0,09	0,19	0,39	0,020	0,13
	D4	0,09	0,19	0,39	0,025	0,14
	F1	0,14	0,19	0,39	0,010	0,16
	F2	0,14	0,19	0,39	0,015	0,17
	F3	0,14	0,19	0,39	0,020	0,18
	F4	0,14	0,19	0,39	0,025	0,19
Tijolo comum 	G1	0,09	0,05	0,19	0,010	0,11
	G2	0,09	0,05	0,19	0,015	0,12
	G3	0,09	0,05	0,19	0,020	0,13
	G4	0,09	0,05	0,19	0,025	0,14

5.3. Cálculo das propriedades térmicas de Transmitância Térmica (U) e de Capacidade Térmica (CT)



O método utilizado para o cálculo foi o de componentes com camadas homogêneas e não homogêneas, exposto na ABNT NBR 15220-2 (2005).

5.3.1. Cálculo de U

Para o cálculo de U foram considerados:

- a) A resistência térmica (R) de uma camada homogênea de material sólido, dada pela Equação 5.1.

$$R = e/\lambda \quad (5.1)$$

Onde:

e é a espessura da camada;

λ é a condutividade térmica do material da camada.

- b) A resistência térmica de superfície a superfície (Rt) de um componente plano constituído de camadas homogêneas, perpendiculares ao fluxo de calor, dada pela Equação 5.2.

$$R_t = \frac{Aa + Ab + \dots An}{Aa/Ra + Ab/Rb + \dots An/Rn} \quad (5.2)$$

Onde:

Ra, Rb, ..., Rn são as resistências térmicas de superfície à superfície para cada seção (a, b, ..., n), determinadas pela Equação 5.1;

Aa, Ab, ..., An são as áreas de cada seção.

- c) A resistência térmica de ambiente a ambiente (RT), dada pela Equação 5.3.

$$RT = Rse + Rt + Rsi \dots \quad (5.3)$$

Onde:

Rt - resistência térmica de superfície a superfície, determinada pela Equação 5.2; para o cálculo de Rt foram consideradas as resistências térmicas das camadas de ar dos furos para o caso do bloco cerâmico furado e do bloco de concreto, considerando-se a espessura das camadas, a emissividade e a direção do fluxo, conforme estabelecido na ABNT NBR 15220 (2005).

d) Rse e Rsi - resistências superficiais externa e interna, respectivamente, obtidas da ABNT NBR 15220-2 (2005).

$$Rse = 0,13$$

$$Rsi = 0,04.$$

- e) A Equação 5.4.

$$U = \frac{1}{RT} \quad (5.4)$$

5.3.2. Cálculo de CT

Para o cálculo da CT foram considerados:

- a) A capacidade térmica de componentes para cada seção (C_{Tn}), dada pela Equação 5.5.

$$C_{Tn} = \sum \lambda \cdot R \cdot c \cdot \rho = \sum e \cdot c \cdot \rho \quad (5.5)$$

Onde:

ρ é a densidade de massa aparente do material da camada.

- b) A Equação 5.6:

$$CT = \frac{Aa + Ab + \dots An}{Aa/CTa + Ab/CTb + \dots An/CTn} \quad (5.6)$$

Onde:

CTa, CTb, \dots, CTn são as capacidades térmicas do componente para cada seção (a, b, ..., n), determinadas pela expressão 5.5;

Aa, Ab, \dots, An são as áreas de cada seção.

As câmaras de ar foram consideradas desprezíveis no cálculo da capacidade térmica, pois conforme apontado na ABNT NBR 15220 (2005), o ar apresenta densidade aparente do ar muito baixa ($\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$).

Os valores necessários aos cálculos da U e da CT neste trabalho foram obtidos da ABNT NBR 15220-2 (2005) e são referentes a condutividade térmica, calor específico (c), e densidade de massa aparente (ρ), conforme apresentado na Tabela 5.3.

5.4. Criação dos Indicadores de Transmitância Térmica (I_U) e de Capacidade Térmica (I_{CT})

O Indicador de Transmitância Térmica das paredes externas foi calculado pela relação entre a transmitância térmica da vedação externa (U_{hab}) e a transmitância térmica máxima admissível (U_{max}) pela ABNT NBR 15575 (2013).

Quanto ao indicador de CT, este foi calculado a partir da relação entre a capacidade térmica da vedação externa (CT_{hab}) e a capacidade térmica mínima admissível (CT_{min}) pela ABNT NBR 15575-2 (2013).

As fórmulas criadas para os indicadores são apresentadas no item 6. Os cálculos foram feitos por meio do lançamento, em uma planilha *Excel*, dos valores das propriedades térmicas para cada uma das alternativas consideradas no estudo.

Os indicadores foram aplicados às alternativas de vedação externa para seis das oito zonas bioclimáticas do Brasil, considerando-se as cidades mencionadas em 5.1.

Para a análise foram considerados os critérios já mencionados no item 4, estabelecidos pela ABNT NBR 15575 (2013) e o nível de desempenho mínimo (M).

5.4.1. Indicador de Transmitância Térmica (I_U)

Para o cálculo do I_U , foi utilizada a Equação 5.6:

$$I_U = \frac{U_{hab}}{U_{máx}} \quad (5.6)$$

Onde:

U_{hab} - Transmitância térmica da vedação externa da habitação;

$U_{máx}$ - Transmitância térmica máxima admissível pela ABNT NBR 15575 (2013).

Se o valor do I_U for superior a 1, indica que a vedação externa não atende os requisitos de transmitância térmica definido por norma; se o valor do I_U for igual ou inferior a 1, indica que a vedação externa atende os requisitos de transmitância térmica definidos por norma.

5.4.2. Indicador de Capacidade Térmica (I_{CT})

Para o cálculo do I_{CT} , foi utilizada a Equação 5.7:

$$I_{ct} = \frac{CT_{hab}}{CT_{mín}} \quad (5.7)$$

Onde:

CT_{hab} - Capacidade térmica da parede externa;

$CT_{mín}$ - Capacidade térmica mínima admissível pela ABNT NBR 15575 (2013).

Se o valor do I_{CT} for superior a 1, indica que a vedação externa atende os requisitos de capacidade térmica definidos por norma; se o valor do I_{CT} for igual ou inferior a 1, indica que a vedação externa não atende os requisitos de capacidade térmica definidos por norma.

5.5. Correlação dos Indicadores de Transmitância Térmica (I_U) e de Capacidade Térmica (I_{CT})

A partir das alternativas de vedações mencionadas, procedeu-se ao cálculo do seu custo unitário por metro quadrado (R\$/m²) sendo os custos referentes ao ano de 2013. Estes custos foram correlacionados com os Indicadores de Transmitância Térmica (I_U) e de Capacidade Térmica (I_{CT}).

Para a quantificação do custo unitário das vedações, utilizou-se a composição de serviços da Tabela de Composição de Preços para Orçamentos - TCPO (2012), combinado com a cotação de preços de insumos e serviços do Sinapi, data-base de janeiro de 2013.

6. Resultados e Análise

6.1. Resultados obtidos para I_U

Os Indicadores de Transmitância Térmica das vedações externas (I_U) obtidos a partir da amostra considerada nesse estudo são apresentados nas Figuras 6.1 e 6.2. Para melhor compreensão das figuras, foram inseridas subdivisões delimitadas por linhas horizontais, que representam os limites de aceitabilidade previstos na ABNT NBR 15575 (2013).

Para as zonas bioclimáticas 1 e 2 (Figura 6.1), os valores obtidos para o I_U indicam que a maioria das alternativas de vedações consideradas nesse estudo não atende os critérios da ABNT NBR 15575 (2013) de transmitância máxima inferior a 2,5 $W/m^2.K$. As alternativas A3 e A4, compostas por bloco cerâmico com revestimento de 2 cm e 2,5 cm de cada lado respectivamente, apresentaram valores aceitáveis de I_U . Importante notar que com um pequeno acréscimo na espessura do revestimento, a alvenaria de bloco cerâmico (A) passou a apresentar transmitância térmica aceita pela norma.

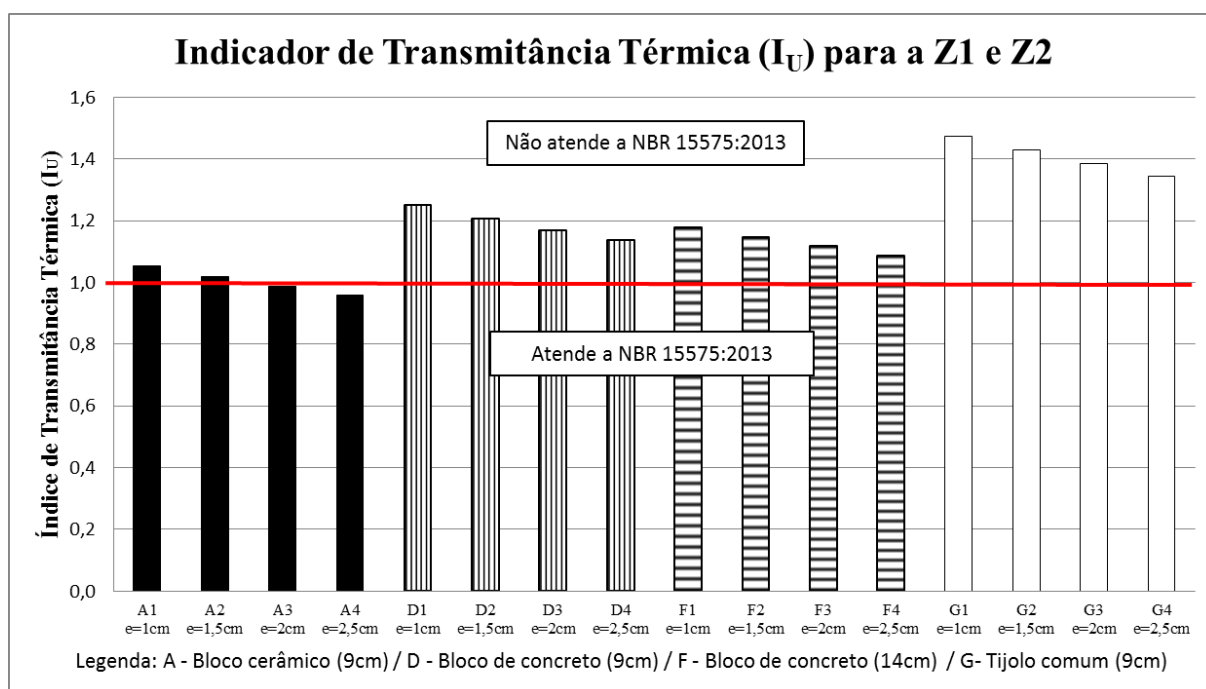


Figura 6.1 – Indicador de Transmitância Térmica (I_U) das zonas bioclimáticas 1 e 2.

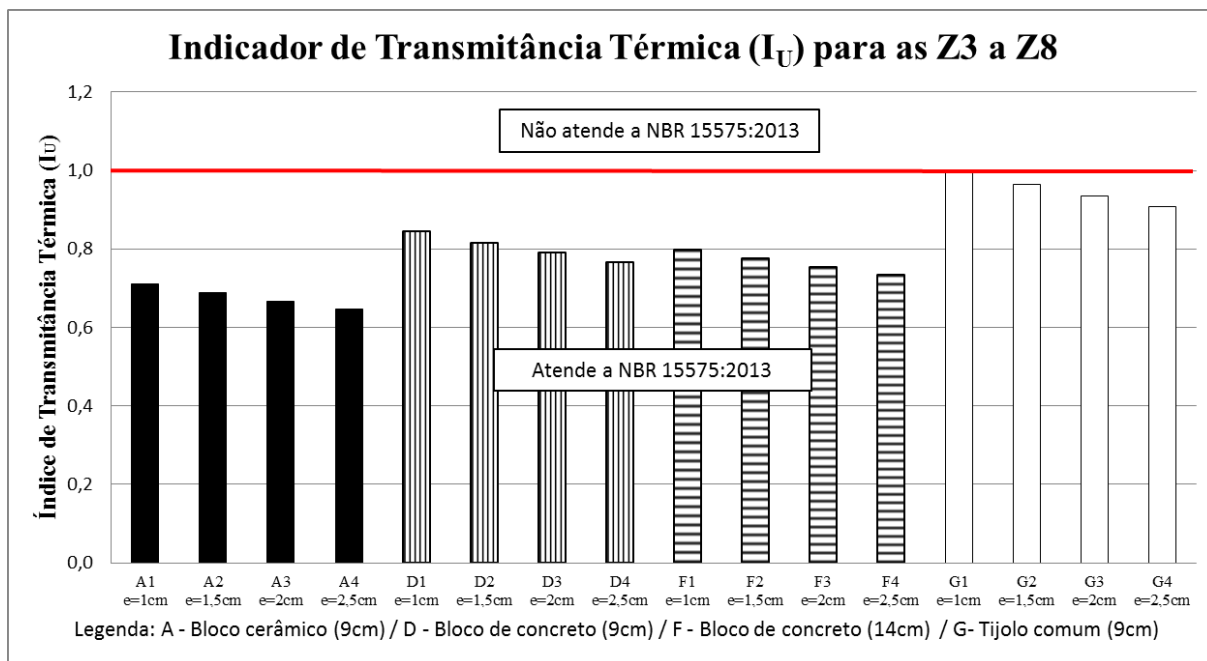


Figura 6.2 - Indicador de Transmitância Térmica (I_U) das zonas bioclimáticas 3 a 8.

Para as zonas bioclimáticas 3 a 8 (Figuras 6.2), os valores obtidos para o I_U indicam que todas configurações de alvenaria consideradas nesse estudo atendem o critério da ABNT NBR 15575 (2013).

Por meio da comparação do desempenho das alvenarias consideradas nesse estudo entre as diversas zonas bioclimáticas brasileiras, observa-se que as soluções construtivas adotadas para determinada região não podem ser aplicadas para outra região sem a devida análise dos fatores climáticos envolvidos.

Os resultados obtidos de I_U indicam que nas zonas bioclimáticas 1 e 2 apenas algumas alternativas de vedação de bloco cerâmico possuem valor de Transmitância Térmica aceita pela NBR 15575 (2013). Por outro lado, nas zonas bioclimáticas 3 a 8 todas as configurações apresentaram valores aceitos pela Norma.

6.2. Resultados obtidos para I_{CT}

Os Indicadores de Capacidade Térmica das vedações externas (I_{CT}) obtidos consideradas nesse estudo são apresentados na Figura 6.3. Para melhor compreensão da figura, foi inserida subdivisão delimitada pela linha horizontal, que representa o limite de aceitabilidade previsto na ABNT NBR 15575 (2013).

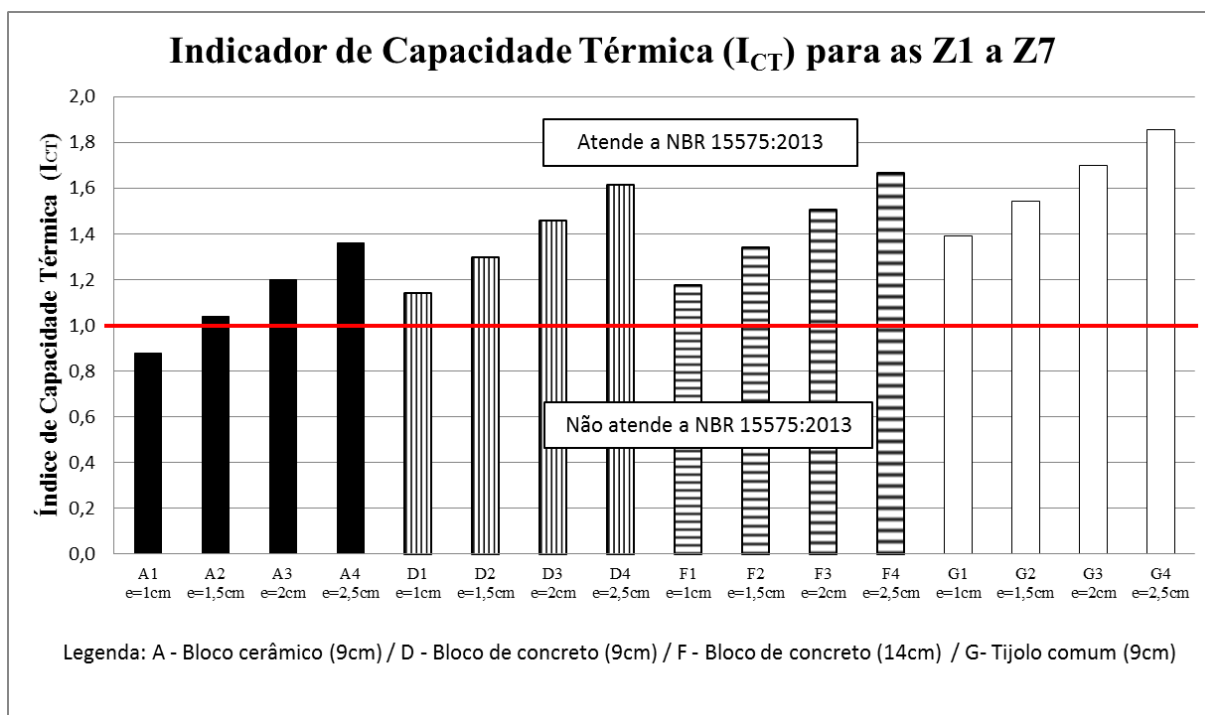


Figura 6.3 – Indicador de Capacidade Térmica (I_{CT}) para as zonas bioclimáticas 1 a 7.

Para as zonas bioclimáticas 1 a 7 (Figura 6.3), os valores obtidos para o I_{CT} indicam que a maioria das configurações de vedação consideradas nesse estudo cumpre o critério da ABNT NBR 15575 (2013). Apenas a vedação de bloco cerâmico cujo revestimento possui 1,0 cm de espessura de cada lado (A1) apresentou valor inaceitável, contudo, observa-se que um pequeno incremento no revestimento permite que o elemento A1 passe a apresentar capacidade térmica aceita pela norma.

Para a zona bioclimática 8, não há exigência de capacidade térmica mínima, segundo a ABNT NBR 15575 (2013).

6.3. Desempenho térmico x Custo de construção vedação externa

É importante salientar que desempenho e custo são parâmetros difíceis de serem correlacionados, pois o desempenho em geral não é medido pelo custo, mas pelo atendimento às exigências do usuário. Contudo, nesse estudo observou-se uma correlação direta do desempenho com o custo de construção, quando fixado o tipo de elemento da vedação (por exemplo: bloco cerâmico de 9 cm). Isso ocorre devido ao aumento da espessura do revestimento que, por sua vez, aumenta simultaneamente o desempenho térmico e o custo de construção.

No estudo presente, porém, o custo de uma vedação é fundamental para que a mesma se viabilize para o atendimento do seu objetivo de cumprir a demanda por HIS. A ideia dessa análise é ressaltar as alternativas de vedações que atendam ao critério do desempenho térmico em relação à Transmitância Térmica (U) e Capacidade Térmica (CT) com o menor custo, fator limitador das HIS.

A relação do desempenho térmico da vedação externa com o custo de construção em cada zona bioclimática será apresentada nas Figuras 6.4 a 6.15. Para melhor compreensão das figuras, foram inseridas subdivisões delimitadas pelas linhas verticais, que representam os limites de aceitabilidade previstos na ABNT NBR 15575 (2013).

6.3.1. Zona bioclimática 1 - Curitiba - Paraná

A relação do custo da vedação externa com a transmitância térmica (U) e com a capacidade térmica (CT) é apresentada na Figura 6.4 e Figura 6.5, respectivamente.

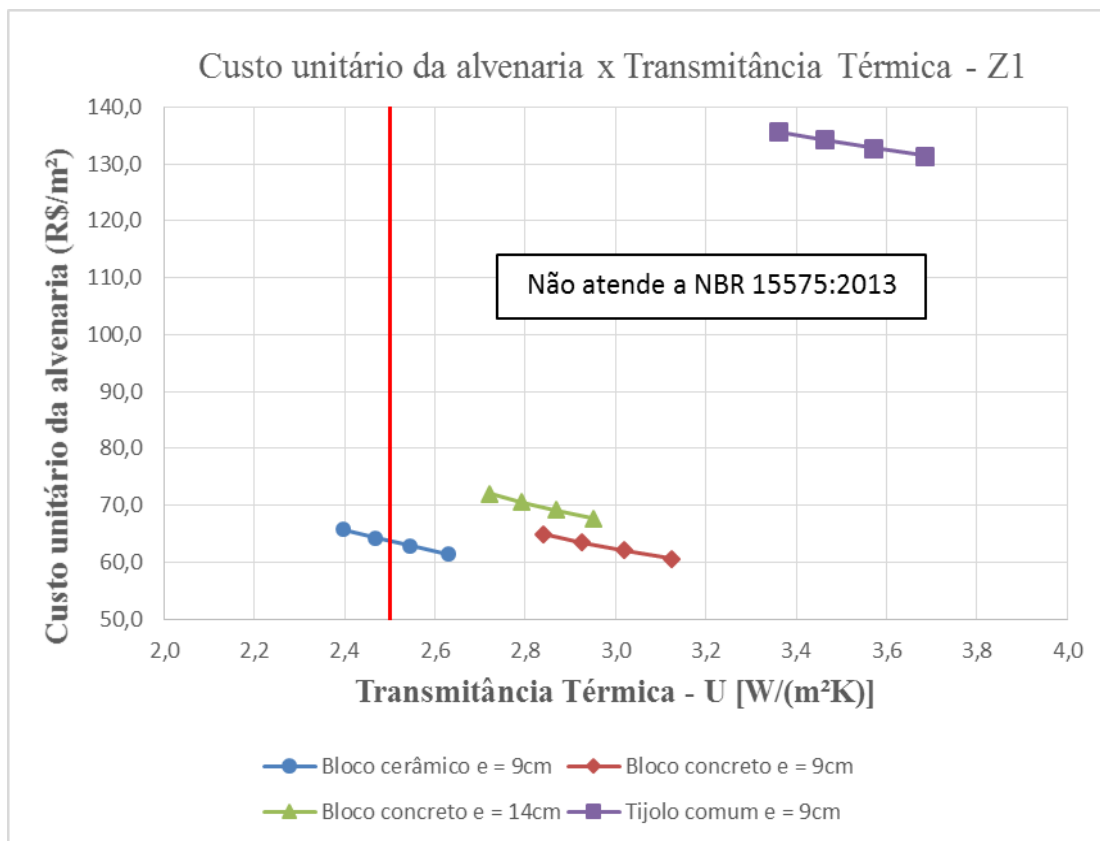


Figura 6.4 - Relação entre custo unitário da alvenaria e I_U para ZB 1.

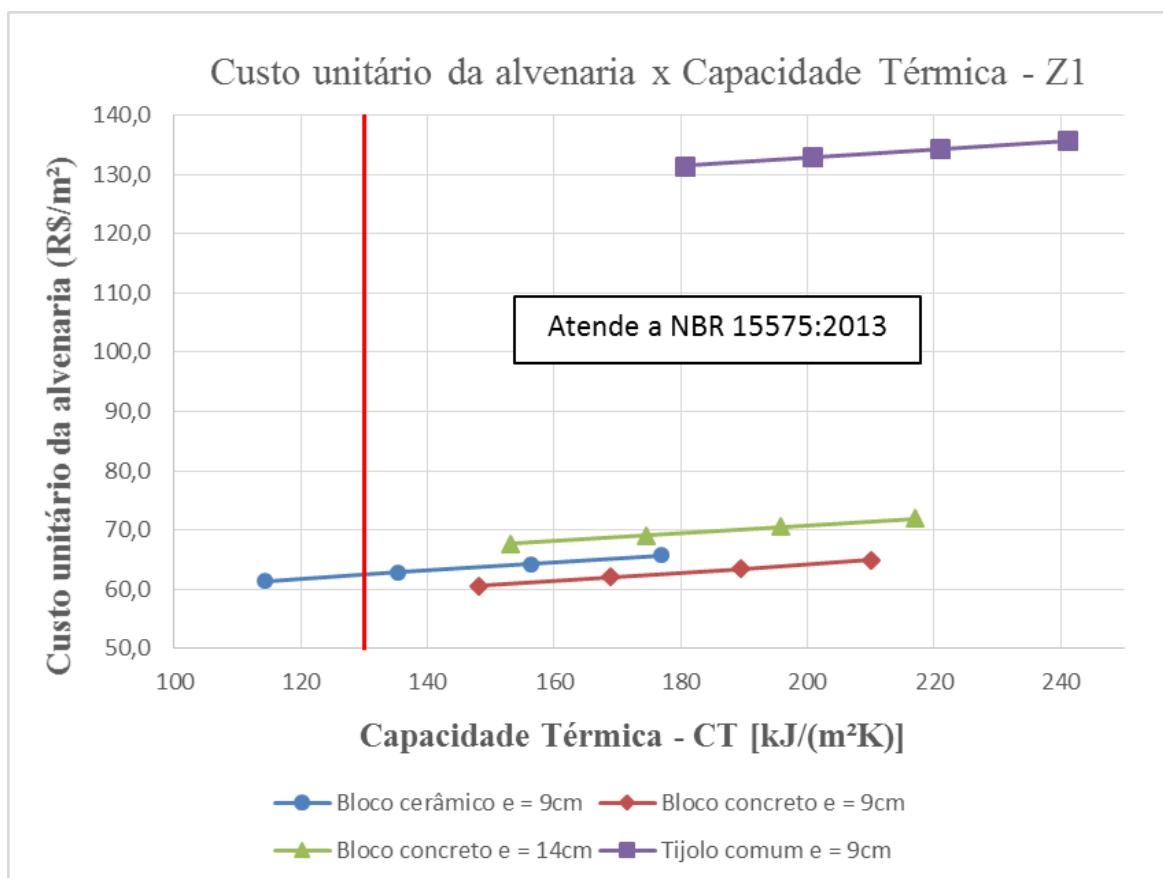


Figura 6.5 - Relação entre custo unitário da alvenaria e I_{CT} para ZB 1.

Observa-se que para a cidade de Curitiba, zona bioclimática 1, embora o custo da vedação de bloco de concreto seja muito próximo ao da vedação de bloco cerâmico (ambos com largura de 9 cm), a sua transmitância térmica é superior ao limite máximo aceito pela ABNT NBR 15575 (2013). Isso significa que é possível se enquadrar nos critérios da Norma sem uma elevação nos custos, apenas com a troca do material.

Considerando-se U e CT , a única vedação que atende aos critérios da norma é a de bloco cerâmico de 9 cm de largura e revestimento de 2,5 cm de cada lado, cujo custo de construção é R\$ 65,69/m².

6.3.2. Zona bioclimática 3 - São Paulo - São Paulo

A relação do custo da vedação externa com U e CT é apresentada na Figura 6.6 e na Figura 6.7, respectivamente.

Observa-se que para a cidade de São Paulo, Z3, as vedações com desempenho térmico aceitável pela ABNT NBR 15575 (2013) possuem custos entre R\$ 53,00/m² e R\$ 90,35/m². A solução mais econômica é o uso de bloco de concreto de 9 cm de largura. O custo da vedação de bloco cerâmico foi o maior das cidades analisadas nesse estudo.

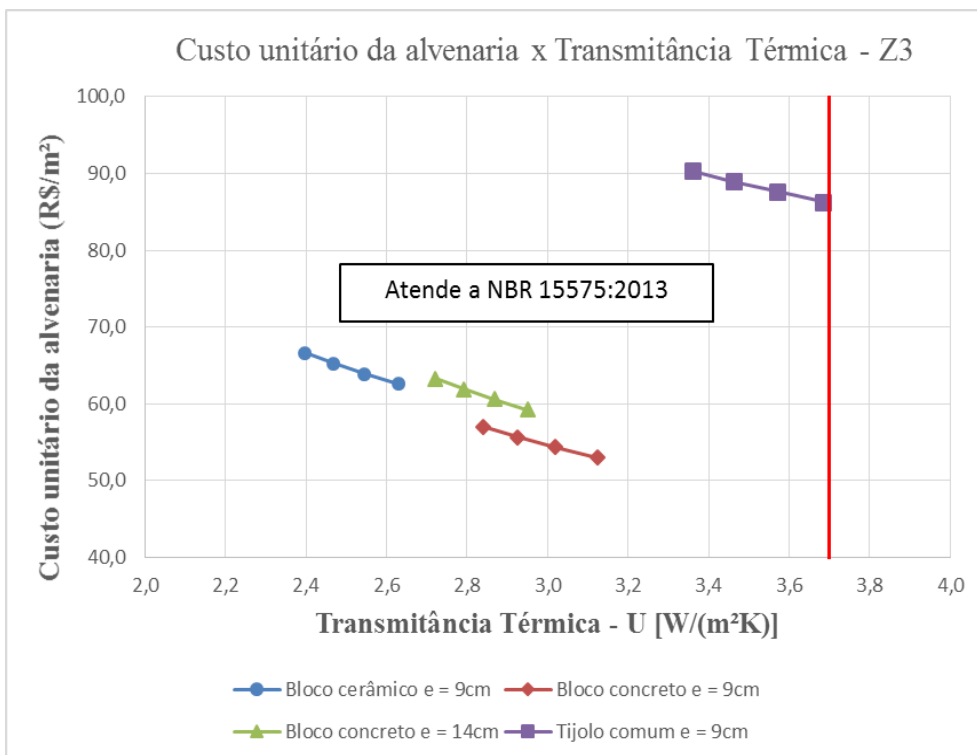


Figura 6.6 - Relação entre custo unitário da alvenaria e I_u para ZB 3.

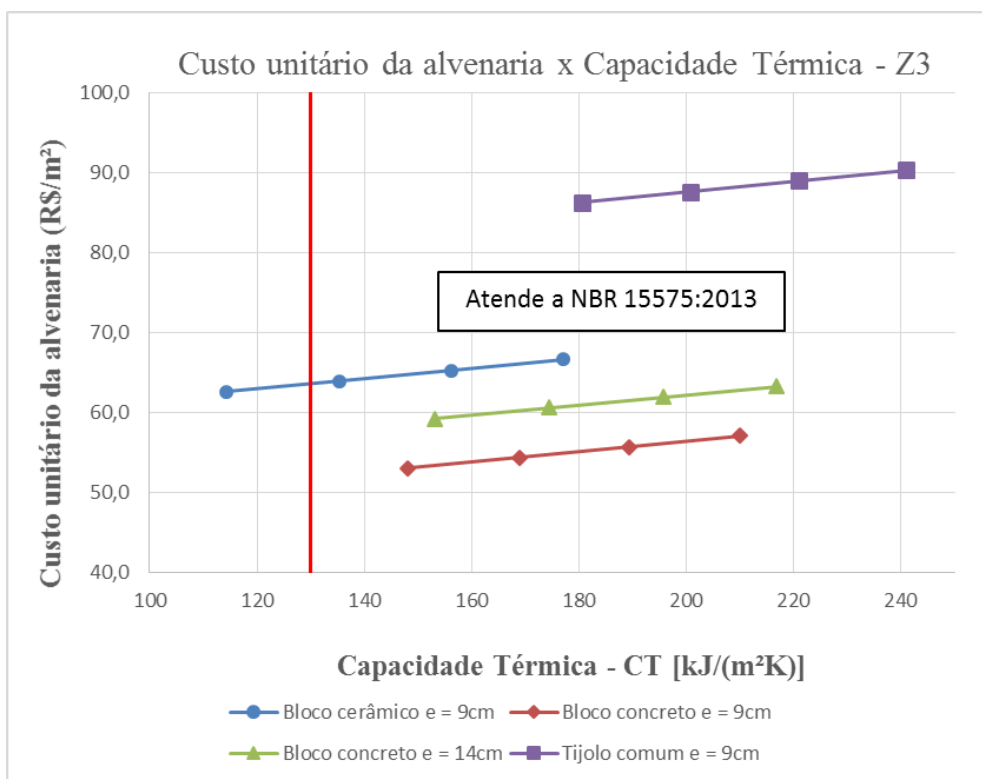


Figura 6.7 Relação entre custo unitário da alvenaria e I_{ct} para ZB 3.

6.3.3. Zona bioclimática 4 - Brasília - Distrito Federal

A relação do custo da vedação externa com U e com a CT é apresentada na Figura 6.8 e na Figura 6.9, respectivamente.

Observa-se que para a cidade de Brasília, Z4, as vedações com desempenho térmico aceitável pela ABNT NBR 15575 (2013) possuem custos entre R\$ 47,64/m² e R\$ 81,67/m². A solução mais econômica é o uso de bloco de concreto de 9 cm de largura, assim como em São Paulo.

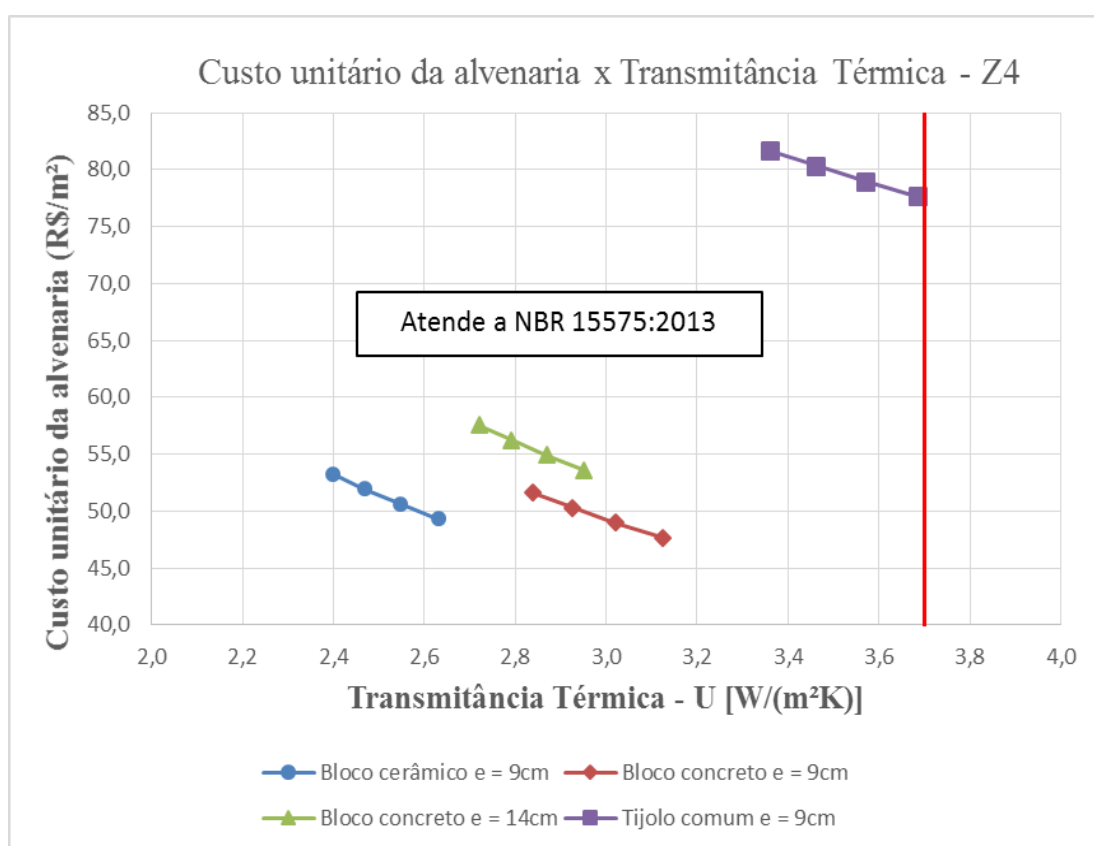


Figura 6.8 - Relação entre custo unitário da alvenaria e I_U para ZB 4.

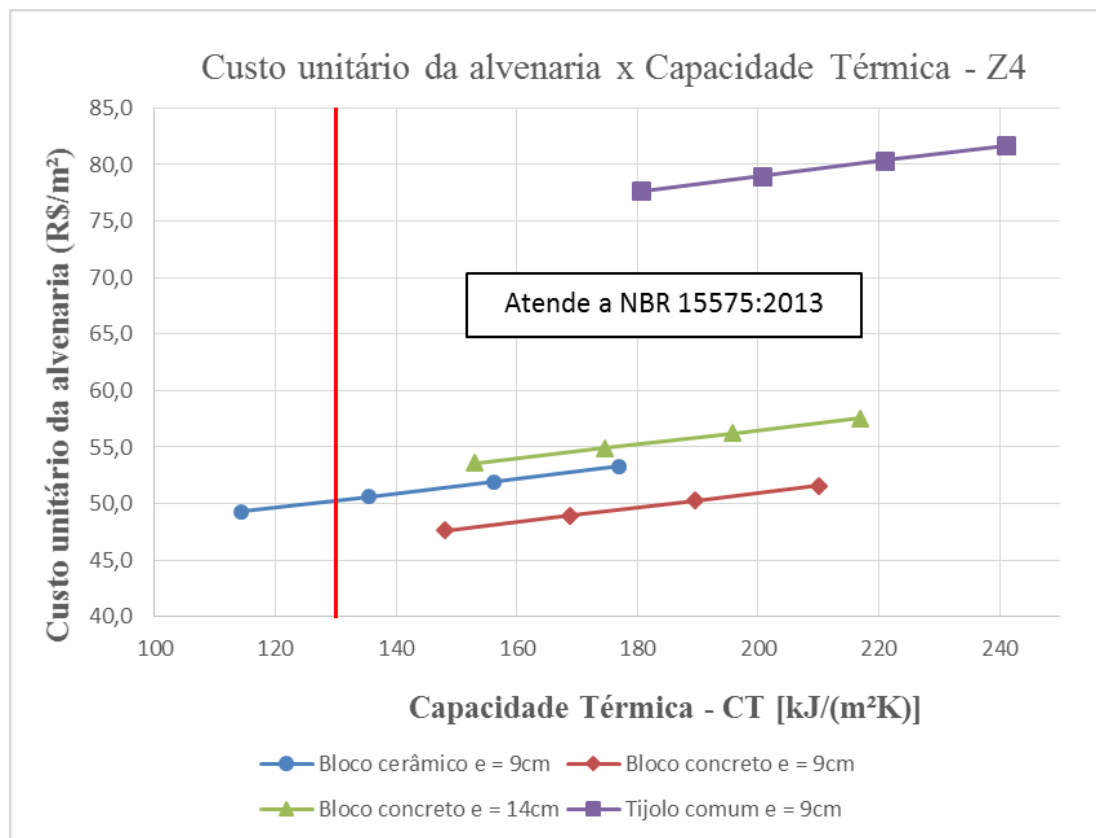


Figura 6.9 - Relação entre custo unitário da alvenaria e I_{CT} para ZB 4.

6.3.4. Zona bioclimática 6 - Goiânia - Goiás

A relação do custo da vedação externa com U e com CT é apresentada na Figura 6.10 e na Figura 6.11, respectivamente.

Observa-se que para a cidade de Goiânia, os sistemas com desempenho térmico aceitável pela ABNT NBR 15575 (2013) possuem custos entre R\$ 46,76/m² e R\$ 70,90/m². A solução mais econômica é o uso de bloco cerâmico de 9 cm de largura, que é o mais barato entre as cidades analisadas nesse estudo. Isto se deve, entre outros fatores, à existência do polo cerâmico de Anápolis, situado bem próximo à cidade de Goiânia.

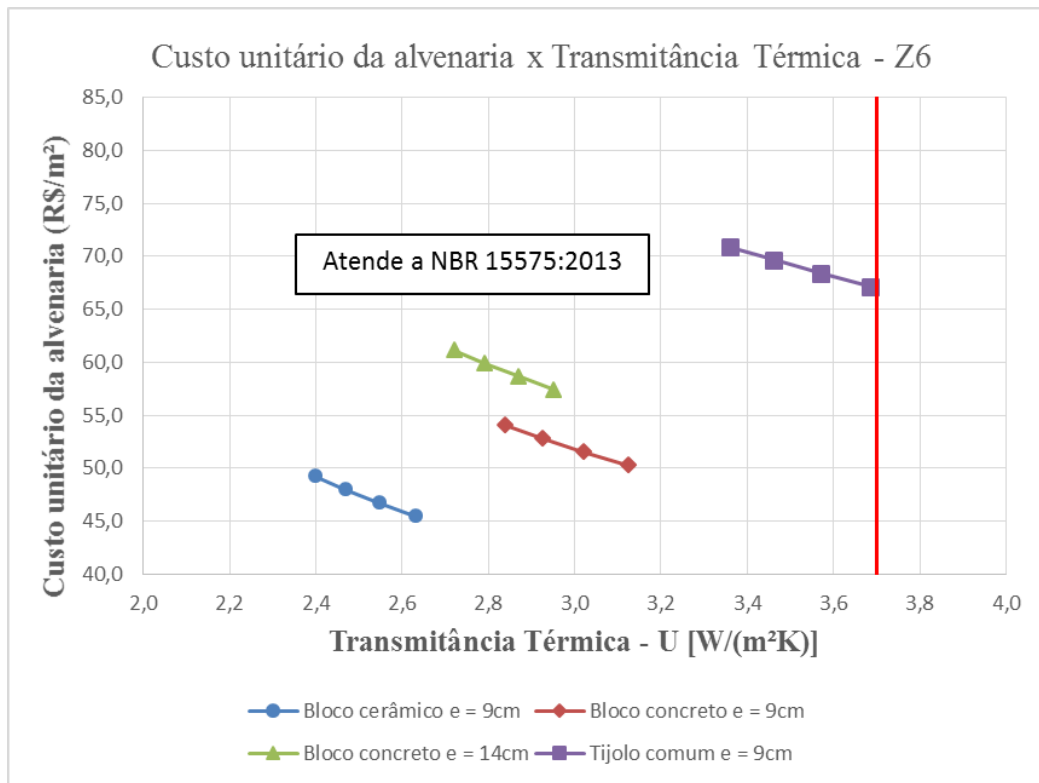


Figura 6.10 - Relação entre custo unitário da alvenaria e I_u para ZB 6.

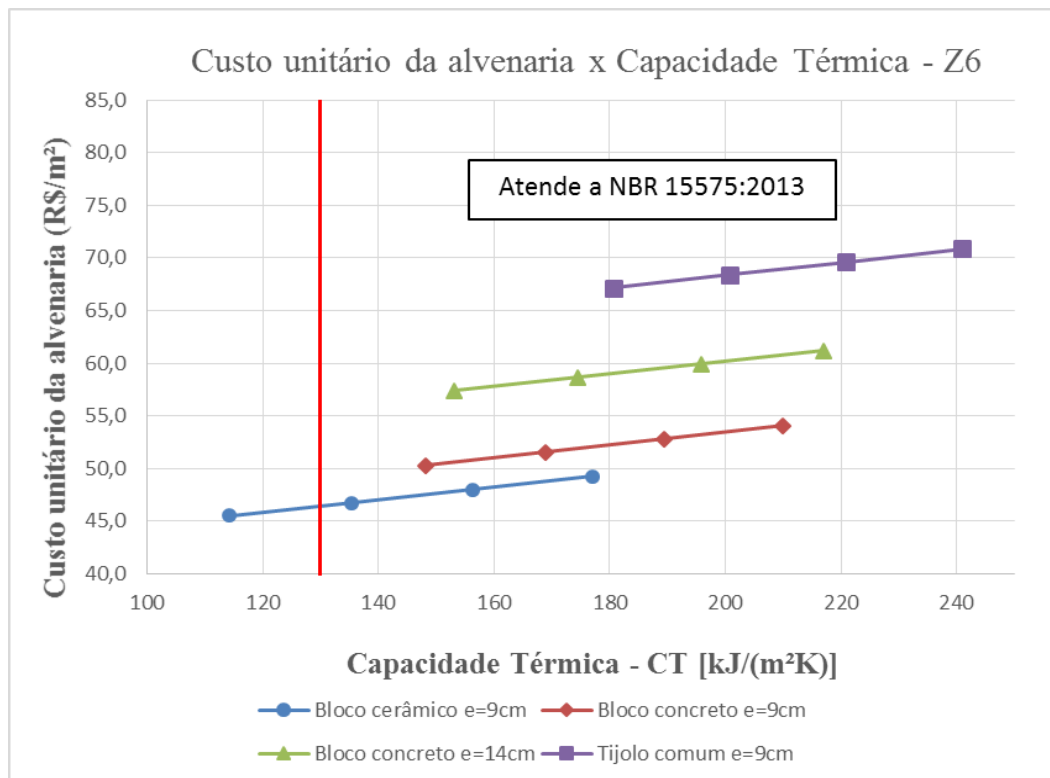


Figura 6.11 - Relação entre custo unitário da alvenaria e I_{CT} para ZB 6.

6.3.5. Zona bioclimática 7 - Cuiabá - Mato Grosso

A relação do custo da vedação externa com U e com CT é apresentada na Figura 6.12 e na Figura 6.13, respectivamente.

Observa-se que para a cidade de Cuiabá, as vedações com desempenho térmico aceitável pela ABNT NBR 15575 (2013) possuem custos entre R\$ 45,47/m² e R\$ 74,09/m². A solução mais econômica é o uso de bloco de concreto de 9 cm de largura. Dentre as cidades analisadas nesse estudo, Cuiabá apresenta os menores custos de vedação de bloco de concreto (tanto de 9 cm quanto de 14 cm de largura).

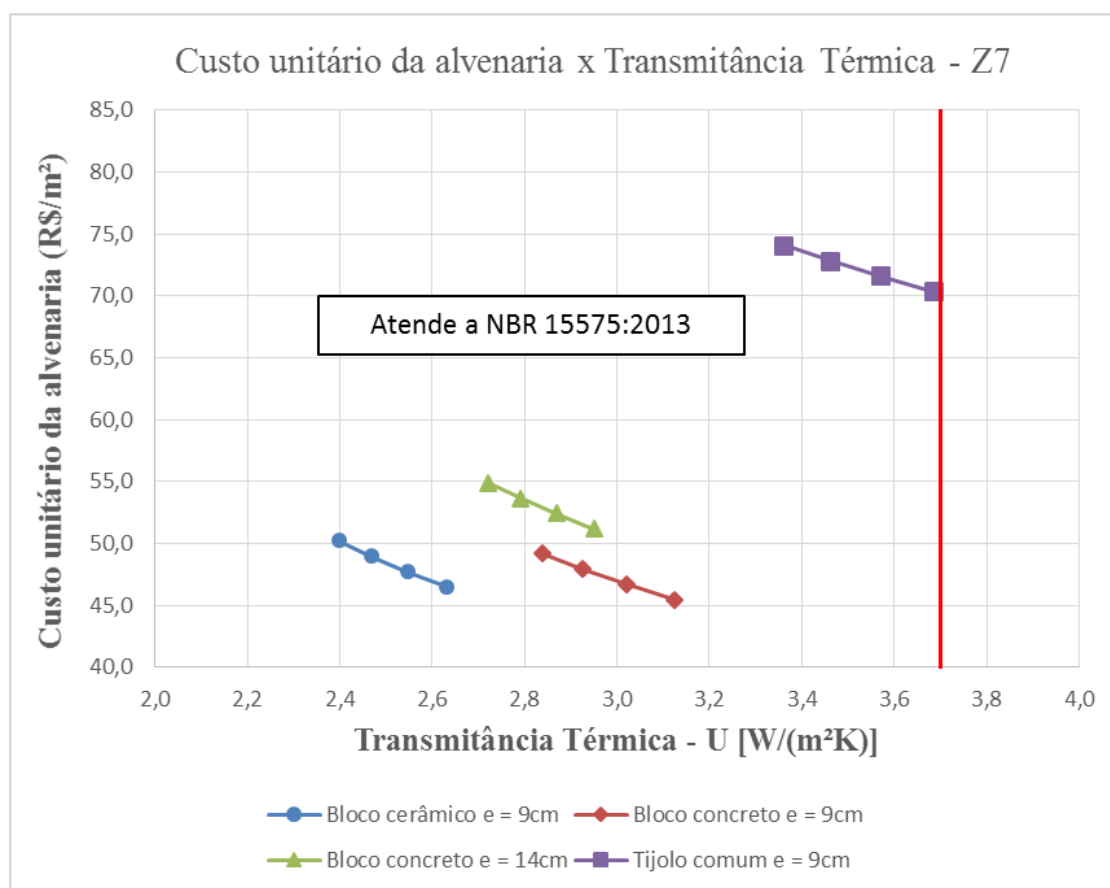


Figura 6.12 - Relação entre custo unitário da alvenaria e I_U para ZB 7.

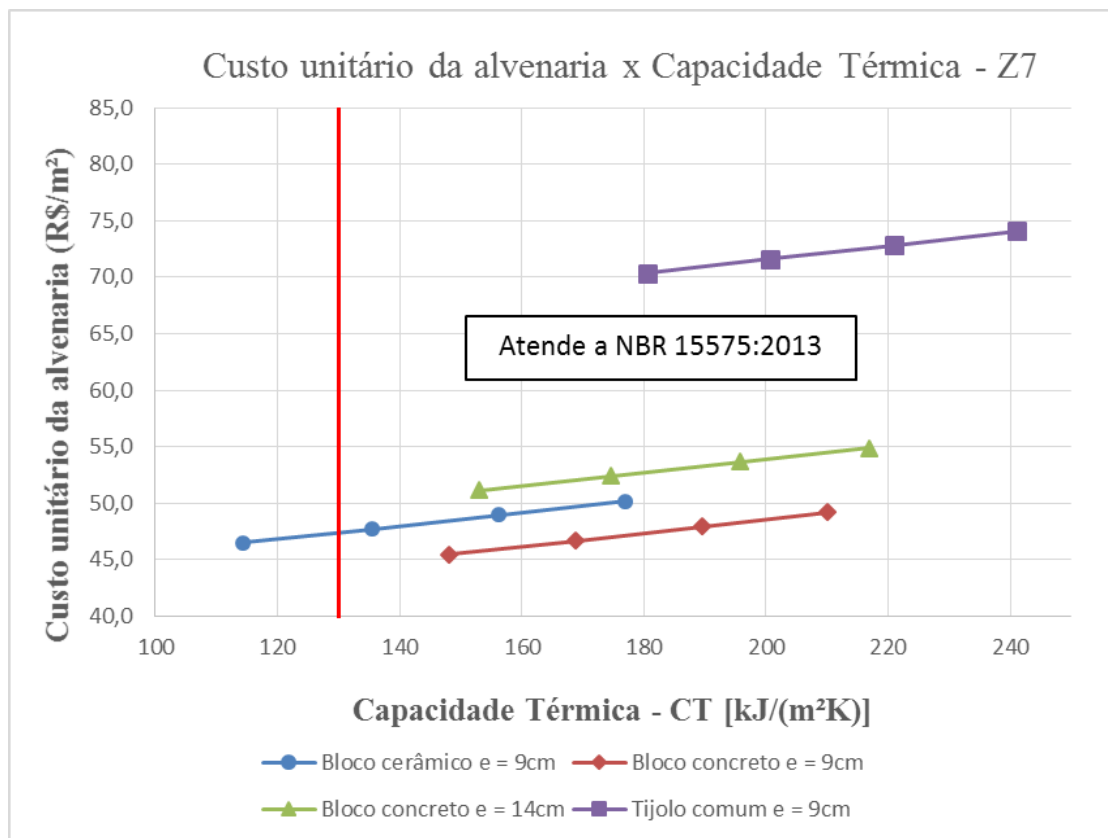


Figura 6.13 - Relação entre custo unitário da alvenaria e I_{CT} para ZB 7.

6.3.6. Zona bioclimática 8 - São Luiz - Maranhão

A relação do custo da vedação externa com U é apresentada na Figura 6.14. A ABNT NBR 15575 (2013) não apresenta exigência para CT nessa zona bioclimática.

Observa-se que para a cidade de São Luiz, todas as vedações apresentaram desempenho térmico aceitável pela ABNT NBR 15575 (2013) e seus custos variam entre R\$ 46,36/m² e R\$ 111,43/m². A solução mais econômica é o uso de bloco cerâmico de 9 cm de largura.

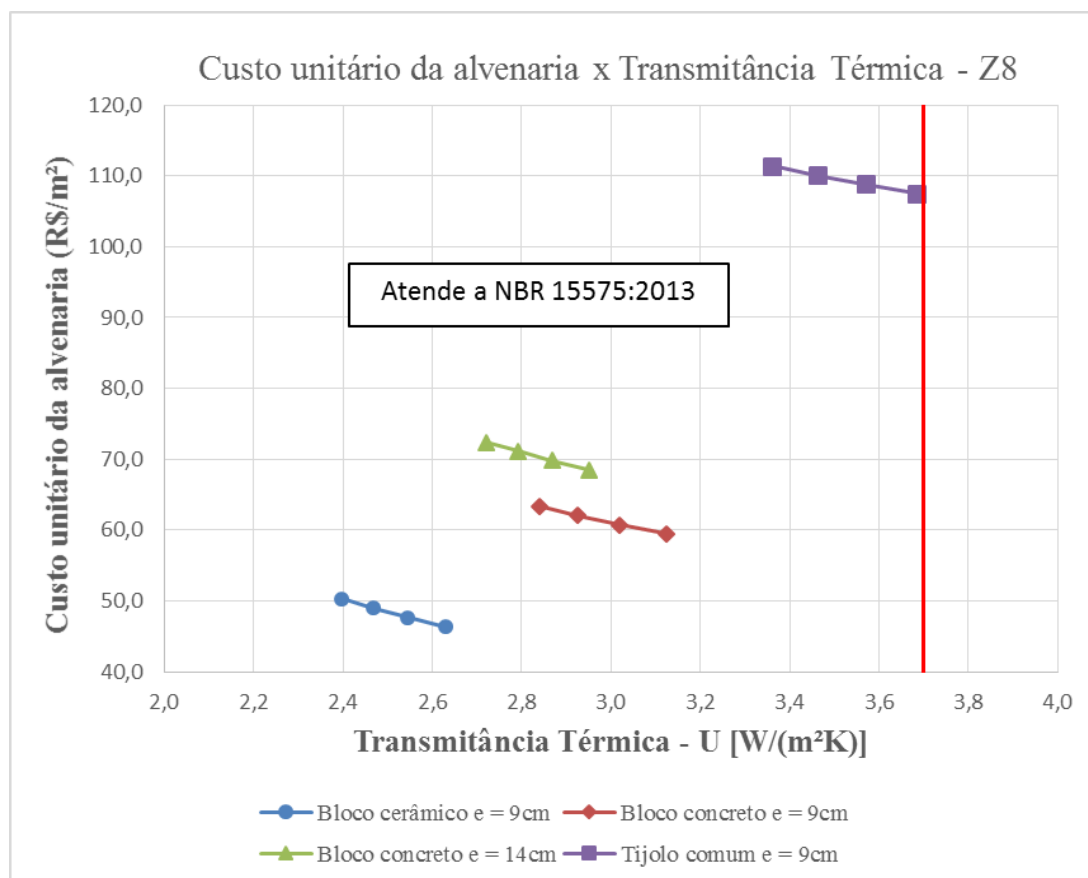


Figura 6.14 - Relação entre custo unitário da alvenaria e I_u para ZB 8.

6.4. Custo da vedação nas cidades analisadas

A variação do custo da vedação entre as cidades analisadas nesse estudo é apresentada na Figura 6.15. A vedação de tijolo maciço é a solução mais cara entre as soluções consideradas nesse estudo, em todas as cidades analisadas. A diferença entre o custo da parede em tijolo maciço e a segunda solução mais cara varia entre 16% e 91%, em Goiânia e São Luiz, respectivamente.

A solução mais econômica em Curitiba, São Paulo, Brasília e Cuiabá é a vedação de bloco de concreto de 9 cm de espessura e, em Goiânia e São Luiz, é a vedação de bloco cerâmico de 9 cm de largura.

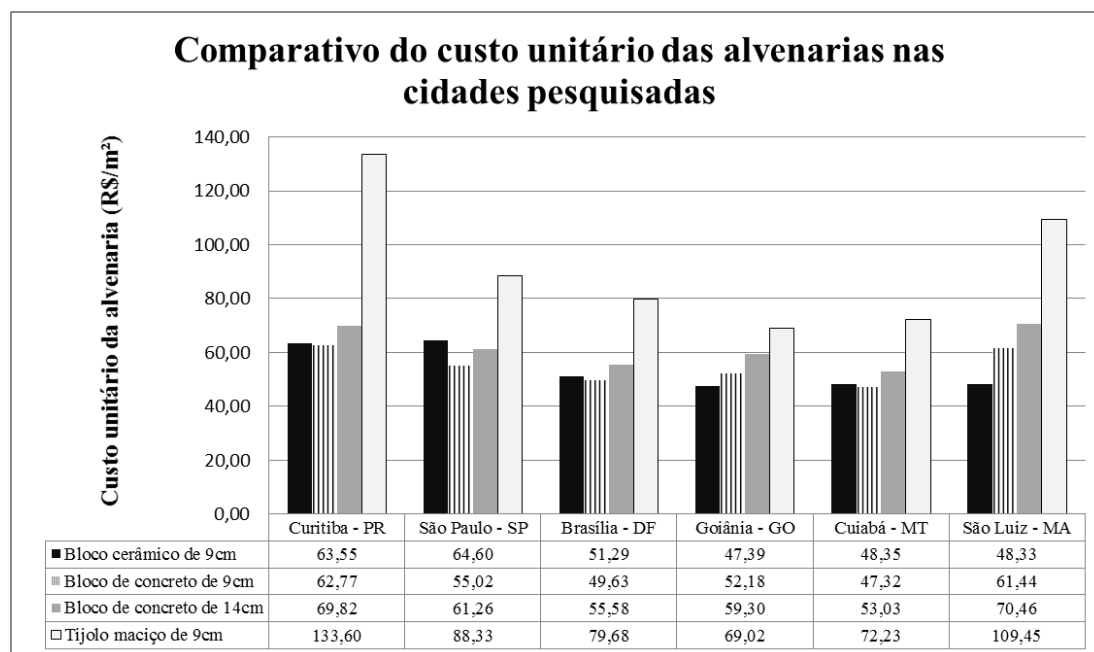


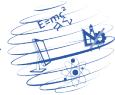
Figura 6.15 - Variação do custo unitário das alvenarias entre as cidades analisadas.

7. Considerações Finais

Após a análise das principais soluções do sistema de vedação vertical externa e suas diferentes alternativas quanto aos componentes consideradas neste trabalho, observou-se comportamento bastante variado quanto ao cumprimento das exigências da ABNT NBR 15575 (2013):

- O bloco cerâmico apresentou resultado positivo para transmitância térmica em todas as 8 zonas bioclimáticas. Contudo, as especificações de bloco cerâmico com revestimento de 1,0 cm não foram aprovadas quanto à capacidade térmica nas zonas bioclimáticas 1 a 7;
- O bloco de concreto e o tijolo comum apresentaram resultados negativos para transmitância térmica nas zonas bioclimáticas 1 e 2 e resultados positivos nas zonas bioclimáticas 3 a 8. Quanto à capacidade térmica, estes foram aprovados nas zonas bioclimáticas 1 a 7.

Os resultados indicam, também, que, dentre as três variáveis adotadas neste trabalho, o tipo de componente escolhido para o substrato é o principal fator na determinação do desempenho térmico. Contudo, foi observado que pequenas alterações na espessura do revestimento podem melhorar o desempenho térmico da alvenaria, inclusive, viabilizando sua utilização dentro dos critérios exigidos pela norma de desempenho.



Foi observada grande variação na taxa de atendimento aos requisitos de transmitância térmica da norma devido a alteração da zona bioclimática, o que indica a importância em adequar as especificações de projeto para cada cidade.

Na análise da correlação do custo com o desempenho térmico, observou-se que em Curitiba, Goiânia e São Luiz, a vedação de bloco cerâmico de 9 cm foi a mais econômica, enquanto que em São Paulo, Brasília e Cuiabá, a vedação de bloco de concreto de 9 cm foi a mais econômica. A vedação de tijolo maciço apresentou os maiores custos de construção em todas as cidades analisadas, provavelmente devido ao fato deste componente não ser o que apresenta maior produtividade, além do fato da sua indústria não ter sofrido grandes avanços no que se refere à qualidade do produto, comparativamente a indústria de blocos.

Como sugestões para trabalhos futuros aponta-se a análise de projetos de HIS, incluindo as aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas localizadas dos dormitórios em vedações externas, e do sistema de cobertura, que exerce influência no desempenho da edificação. Além disto, o uso de simulação por meio do software *energy plus* também é recomendado para a área de habitação de interesse social, já que o resultado da análise inclui outros recursos aplicados no projeto, tais como sombreamento, beirais e outros.

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220**. Desempenho Térmico de Edificações. Partes 1 a 3. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575**. Edifícios Habitacionais - Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

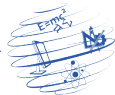
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575**. Edifícios Habitacionais - Desempenho. Parte 4: Sistemas de vedações verticais externas e internas. Rio de Janeiro, 2013.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. Consulta ao site. Disponível em: http://www1.caixa.gov.br/gov/gov_social/municipal/programas_habitacao/pmcmv/saiba_mais.asp. Acessado em: 8 jun. 2012.

COSTA, J. M. A. M. **Avaliação do Desempenho na Construção Civil: a sua aplicação uma obra ferroviária**. 2008. Dissertação (Mestrado), Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, 2008.

De ROLT, M. I. P. **O uso de indicadores para a melhoria da qualidade em pequenas empresas**. 1998. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

ESTEFANI, C; SPOSTO, R. M. Indicadores da Qualidade em Projeto. Estudo de Caso de Edifícios Habitacionais em Brasília, DF. In: II WORKSHOP NACIONAL, GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 2, p. 1-6, Porto Alegre, 2002. **Anais...** Porto Alegre: PUC-RS, 2002.



FPNQ (1995). **Indicadores de desempenho**. Fundação para o Prêmio Nacional da Qualidade. São Paulo: FPNQ, 1995.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Déficit habitacional no Brasil 2006**. Belo Horizonte, 2008.

GOUVEIA, H. L. V.; SPOSTO, R. M. Indicadores de custo e desempenho de habitações de interesse social (HIS). Estudo de caso no Distrito Federal e entorno. In: IV CONGRESSO BRASILEIRO E III CONGRESSO IBERO-AMERICANO HABITAÇÃO SOCIAL: CIÊNCIA E TECNOLOGIA, INOVAÇÃO E RESPONSABILIDADE, 1, v.01, p.1-11, Florianópolis, 2012. **Anais...** Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.

HAMMOND, A.; ADRIANSE, A.; RODENBURG, E.; BRYANT, D.; WOODWARD, R. **Environmental Indicators: A systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development**. World Resources Institute, Washington D.C, 1995.

JURAN, J. M. **Planejando para a qualidade**. São Paulo: Pioneira, 1992.

LANTELME, E. M. V. **Proposta de um Sistema de Indicadores de Qualidade e Produtividade para a Construção Civil**. 1994. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.

MINISTÉRIO DAS CIDADES (2009). **Plano Nacional de Habitação**. Brasília.

OLIVEIRA, M; LANTELME, E; FORMOSO, C. (1993). **Sistema de Indicadores de Qualidade e Produtividade da Construção Civil**. Manual de Utilização, Sinduscon-RS, Porto Alegre, 1993.

OLIVEIRA, M; LANTELME, E; FORMOSO, C. (1995). Análise da Implantação de Indicadores de Qualidade e Produtividade na Construção Civil. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6, Rio de Janeiro, 1995. **Anais...** Rio de Janeiro: Édile Serviços Gráficos e Editora Ltda. 1995, v. 1.

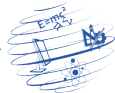
RAMOS, A. **Incorporação Imobiliária. Roteiro para Avaliação de Projetos**. Leterra Editora Ltda, 240 p. Brasília. 2002.

SILVA JR, N. L. **Indicadores de desempenho em projetos de arquitetura no eixo Brasília-Goiânia**. 2010. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil), Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

SINAPI. <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/precos/sinapi/>, acessado em 9/7/2013, às 15:36h.

SOARES, D. R; SPOSTO, R. M. (2002). **Proposta para Indicadores de Desempenho em Projetos e Custos de Obras Militares: Aplicação em Obras Militares**. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil), Universidade de Brasília, Brasília.

SOUZA, R. de; *et al.* (1995). **Sistemas de Gestão da Qualidade para Empresas Construtoras**. PINI, CTE, SINDUSCON/SP, SEBRAE, 247 p. São Paulo, 1995.



TCPO (2014). **Tabela de Composições de Preços para Orçamentos**. PINI, 659p. São Paulo, 2012.

VAN BELLEN, H. M. (2002). **Indicadores de Sustentabilidade: Uma análise comparativa**. Tese de Doutorado - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.