

A influência da inércia térmica nas paredes externas em clima quente: uma revisão sistemática

Auriele Mazzer Marques Silva

Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia, Cuiabá (MT), Brasil

aurielemazzer@gmail.com

Ivan Julio Apolonio Callejas

Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia, Cuiabá (MT), Brasil

ivancallejas@ig.com.br

Luciane Cleonice Durante

Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia, Cuiabá (MT), Brasil

luciane.durante@hotmail.com

RESUMO: Conhecer as propriedades térmicas dos materiais de construção é um requisito para obtenção de condições adequadas de conforto térmico e para a otimização do desempenho das edificações, seja na operação dos recursos passivos ou ativos nela implantados. A inercia térmica é uma propriedade que descreve como o material se comporta termicamente quanto às transferências de calor e à capacidade térmica volumétrica. Este trabalho tem como objetivo investigar a abordagem dos trabalhos científicos realizados nos últimos 15 anos referentes à inercia térmica e sua influência em projetos bioclimáticos. A metodologia adotada apoia-se nos pressupostos da revisão sistemática, utilizando como banco de dados os portais de periódicos Capes e Science Direct. As buscas foram realizadas com as palavras-chave “Inércia Térmica”, no período de 01/01/2010 a 01/11/2015, “Influência da Inércia Térmica”, sem data determinada para busca e “Thermal Inertia Influence and Bioclimatic Design”, no período do ano 2000 até 01/11/2015, todos sem critérios de exclusão. Foram encontrados 163 artigos e selecionados 19, que se relacionavam diretamente com a temática da pesquisa. As pesquisas apontam para uma espessura mínima ótima das paredes com vistas ao melhor aproveitamento dos benefícios da inercia térmica. Dentre as considerações, percebe-se que muitos trabalhos têm como objetivo a reabilitação de edifícios com propostas de envolvimento e revestimento para minimização dos ganhos térmicos e melhoria da eficiência energética. No entanto, ainda são incipientes as pesquisas que exploram as características que devem ser consideradas na especificação de painéis de fechamento, de acordo com o clima da região, com vistas ao melhor desempenho térmico.

Palavras-Chave *Desempenho térmico. Conforto Térmico. Projeto Bioclimático.*

1. INTRODUÇÃO

Considerando os critérios de sustentabilidade e de eficiência energética que vêm sendo exigidos das edificações pelos órgãos regulamentadores globais, o setor da construção civil tem sido forçado a repensar sua maneira de projetar e construir os edifícios. Tem se exigido, cada vez mais dos projetos, menor consumo de energia com a manutenção dos níveis de conforto térmico requeridos, o que pode ser alcançado por meio da adoção de estratégias passivas. Dentre essas estratégias, a inércia térmica mostra-se relevante, pois pode definir o comportamento térmico da construção.

Existem duas propriedades dos materiais de construção relacionadas à inércia térmica: como difundem a energia térmica (difusividade), e quanto a acumulam (efusividade). Ambas dependem da condutividade térmica (λ), da massa específica (ρ) e do calor específico (c) do material (Corbella; Yannas, 2003). Em climas com grande amplitude térmica, a utilização adequada da inércia térmica na envoltória dos edifícios permite atenuar o impacto da variabilidade do clima na temperatura operativa interior, contribuindo para a redução do uso de energia para aquecimento e arrefecimento.

Define-se calor específico volumétrico (μ) como o calor fornecido a um volume unitário de material para aumentar sua temperatura de uma unidade, expresso pelo produto do calor específico pela massa específica (Corbella; Yannas, 2003). Se o quociente λ/μ for elevado, o material é bom condutor e precisa de pouco calor para variar sua temperatura e, então, a energia térmica se difunde rapidamente, dizendo-se que possui elevada difusividade. Conceitualmente, a difusividade é proporcional à velocidade de propagação da onda de temperatura no interior de uma parede ou teto. A difusividade térmica ($a = \lambda / \rho C_p$ (m^2/s)) é a propriedade do material que mostra a sua capacidade de sofrer variações de temperatura de transferência. Aumenta com a condutividade térmica e diminui com a capacidade térmica, sendo este efeito de interesse para paredes externas em contato direto com a condição do tempo exterior, chamada de inércia de transmissão. Painéis com grande difusividade são mais indicados para climas frios que permitem que a temperatura externa passe para o ambiente interno mais rapidamente, são painéis leves.

A efusividade térmica ($b = \sqrt{\lambda * \rho C_p}$ (J/m^2Ks)^{1/2}) é a capacidade de um material para absorver ou restituir um fluxo de calor ou potência térmica. Painéis com grande efusividade absorvem muita energia e tem maior tempo de defasagem para restituir esse ganho térmico para o ambiente interno, assim permitindo menores amplitudes térmicas no interior dos ambientes (González Cruz, 2003).

Os materiais podem ter a mesma difusividade, como o granito e a lã mineral e, no entanto efusividades diferentes, ou seja, comportam-se de forma distinta frente às variações de temperatura por meio da propriedade da inércia térmica.

Diante deste contexto, o objetivo deste estudo é investigar a abordagem dos trabalhos científicos referentes à influência da inércia térmica na edificação, utilizando-se dos pressupostos da revisão sistemática. Como objetivos específicos apresentam-se: a) identificar a relação das tipologias de paredes aos climas dos locais de estudo e b) explorar como as propriedades térmicas dos materiais podem minimizar os ganhos de calor para as edificações conforme clima em que estão localizadas.

2. MATERIAL E MÉTODO

Este trabalho emprega o método de revisão sistemática, na qual se aplicam estratégias científicas que permitem limitar o viés de seleção de artigos, avaliá-los com espírito crítico e sintetizar todos os estudos relevantes em um tópico específico (Perissé; Gomes; Nogueira,

2001 apud Botelho, 2011). A abordagem sistemática é diferente das revisões bibliográficas narrativas, pois essa abordagem possui uma sequência de etapas pré-definidas, em que a metodologia é especificada com técnicas padronizadas e passíveis de reprodução (Evans; Pearsons, 2001).

Os bancos de dados escolhidos foram o Portal de Periódicos Capes e Portal Science Direct, buscando os seguintes descritores e temporalidade: “inércia térmica”, considerando as publicações de 2010 a 01/11/2015; “influência da inércia térmica”, sem data determinada e “thermal inertia influence and bioclimatic design”, de 2000 a 01/11/2015. A seleção dos trabalhos se deu a partir da leitura dos títulos, resumos e inteiro teor, de forma sequencial, pelo reconhecimento de seu enquadramento aos temas de interesse. Neste artigo, optou-se por abordar como resultados as informações contidas nos trabalhos que atenderam a todos os critérios acima descritos, tratando-se, portanto, de um recorte.

No Portal de Periódicos da Capes foram encontrados trabalhos com os dois primeiros descritores apenas e no Portal Science Direct, apenas com o último. O Portal de Periódicos da Capes, com o descritor “inércia térmica”, possui 30 publicações, das quais duas foram selecionadas e com o descritor “influência da inércia térmica”, foi selecionado um trabalho dentre 8 publicações existentes. No Portal Science Direct, com o descritor “thermal inertia influence and bioclimatic design” foram encontrados 125 trabalhos, dos quais seis foram selecionados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os trabalhos selecionados retratam a preocupação com a adequação dos materiais da envoltória ao clima dos locais onde as edificações se inserem e, com a abordagem da inércia térmica como recurso para obtenção de condições de conforto térmico por meios passivos no interior das edificações. Dos 163 títulos encontrados nos sistemas de busca, nove foram selecionados para o estudo e identificados em termos de autor, tipo, país e ano da publicação e de seu título (Tab. 1).

Granja (2002) descreve o fenômeno da inercia térmica em fechamentos opacos de concreto em edificações na cidade de Campinas, SP, onde a média anual da temperatura e umidade é de 20,7°C e 71%, respectivamente, com invernos secos e amenos e verões chuvosos. Discute que os fechamentos opacos têm sido concebidos com base na transmitância térmica total sob regime permanente, o que não contempla os aspectos dinâmicos do comportamento da onda térmica. Portanto, dois fechamentos com mesma transmitância podem ter desempenhos termoenergéticos diferentes.

Determinou a espessura ideal de isolante térmico para atenuar os picos máximos e mínimos de carga térmica de paredes de concreto. Para isolamento de painéis simples de concreto, denominados painéis IC (isolante-concreto), a espessura ideal do isolante situou-se de 50% a 60% da espessura do painel, limitando-se em 5 cm, pois maiores espessuras não trazem benefícios térmico e energéticos significativos, além de serem antieconômicas. Para isolamento de painéis compostos de concreto com câmara de ar, denominados CAC (concreto - câmara de ar - concreto), a espessura mínima da placa de concreto em contato com o ar externo deve ser de 10cm (obedecendo exigências estruturais), o que garante melhor desempenho em termos de eficiência energética devido a maior atenuação das amplitudes da curva de densidade de fluxo de calor.

Como conclusões Granja (2002) obteve que, (i) a influência da absorvância adquire maior importância em fechamentos opacos com menor inércia térmica, para o modelo de transmissão de calor em regime periódico; (ii) o efeito da cor da superfície externa do fechamento na onda térmica é inversamente proporcional à sua resistência e à sua capacidade volumétrica, (iii) a espessura e a massa específica aparente exercem grandes

influências na variação da temperatura superficial interna de fechamentos homogêneos e (iv) os benefícios da inércia térmica são potencializados em locais onde há flutuação diária da temperatura externa, uma vez que, neste caso, há a inversão do fluxo térmico.

Tabela 1 – Identificação dos trabalhos selecionados

PERIÓDICO	AUTORES	TIPO	PAÍS	ANO	TÍTULO
Capes	HEATHCOTE, K.	Artigo	Austrália	2011	The thermal performance of earth buildings
	DUARTE, F. M. S. R. F.	Dissertação	Portugal	2013	Contributo para o estudo de um patamar mínimo de inércia térmica em edifícios em reabilitação
	GRANJA, A.D.	Tese	Brasil	2002	Transmissão de calor em regime periódico: efeito da inercia térmica em fechamentos opacos
Science Direct	KONTOLEON, K. J. BIKAS, D. K.	Artigo	Grécia	2007	The effect of south wall's outdoor absorption coefficient on time lag, decrement factor and temperature variations
	SAMBOU, V.; LARTIGUE, B.; MONCHOUX, F.; ADJ, M.	Artigo	Franca	2009	Thermal optimization of multilayered walls using genetic algorithms
	MAVROMATIDIS, L.E.; MANKIBI, M.; MICHEL, P.; SANTAMOURIS, M.	Artigo	Grécia	2012	Numerical estimation of time lags and decrement factors for wall complexes including Multilayer Thermal Insulation, in two different climatic zones
	GIANCOLA, E.; SOUTULLO, S.; OLMEDO, R.; HERAS, M.R.	Artigo	Espanha	2014	Evaluating rehabilitation of the social housing envelope: Experimental assessment of thermal indoor improvements during actual operating conditions in dry hot climate, a case study
	TONELLI, C.; GRIMAUDO, M.	Artigo	Roma	2014	Timber buildings and thermal inertia: Open scientific problems for summer behavior in Mediterranean climate
	MARINCIC, I.; OCHOA, J.M.; ALPUCHE, M.G.; GONZÁLEZ, I.	Artigo	México	2014	Comparative Analysis of the Thermal Behavior between Cellular Concrete Blocks and Stabilized Earth Blocks as Wall Materials

A inércia térmica em paredes de adobe foi estudada por Heathcote (2011) para o clima mediterrâneo de Sydney, Austrália, cujas temperaturas variam anualmente de 16 a 26°C, com umidade média anual de 65%. Quanto mais espessas, menor a amplitude térmica no interior da edificação, recomendando a espessura mínima de 450mm para maior atenuação do fluxo de calor de fora para dentro dos ambientes.

Almeida (2012) estudou o comportamento de paredes sem a incidência de luz solar (Parede 1) e com incidência desta (Parede 2) para a Casa Termicamente Otimizada (CTO), na cidade do Porto, Portugal, cujo clima é úmido durante o ano todo, com temperatura média no inverno e verão de cerca de 14 e 25°C, respectivamente. Cinco composições diferentes foram analisadas: granito, tijolo maciço, tijolo maciço duplo com 5cm de câmara de ar e madeira, com espessuras finais variando de 5 a 40cm, todos testados com e sem revestimento de ambos os lados.

Para cada material existe uma espessura ótima, para além da qual o calor armazenado diminui ou se mantém constante. Para a Parede 1, com revestimento de ambos os lados, as espessuras são granito (20cm), concreto (15cm), tijolo simples (25cm), tijolo duplo (25cm) e madeira (8cm). Para a Parede 1 sem revestimento, as espessuras ótimas são: granito (20cm), concreto (20cm), tijolo simples (20cm), tijolo duplo (20cm) e madeira (10cm). Para

a Parede 2, tem-se que, com revestimento, as espessuras ótimas são: granito (20cm), concreto (15cm), tijolo simples (20cm), tijolo duplo (20cm) e madeira (8cm). Sem revestimento são: granito (25cm), concreto (20cm), tijolo simples (20cm), tijolo duplo (20cm) e madeira (10cm). O autor aponta que a Parede 2 possui maior calor armazenado e, portanto, quanto maior for o produto de $\lambda \cdot \rho \cdot c$ (condutividade térmica, densidade e calor específico) maior é sua capacidade térmica. Os melhores materiais foram o granito, o concreto e a madeira, com produto $\lambda \cdot \rho \cdot c$ de $6,86 \times 10^6$, $3,60 \times 10^6$ e $0,31 \times 10^6$, respectivamente.

Duarte (2013) estudou o comportamento térmico da vedação externa de um ambiente, composta por reboco, concreto (leve, padrão e pesado), poliestireno expandido (EPS) e gesso acartonado na região do Porto, em Portugal. A radiação solar global, durante a estação de aquecimento, apresenta valores médios de 100 W/m^2 e máximos de 890 W/m^2 . O autor afirma que, quanto maior a inércia térmica, menor a defasagem temporal verificada entre as orientações e a orientação Sul é a única que garante uma variação da temperatura operativa dentro do intervalo de conforto térmico.

Este autor descreve que a variação do material da envoltória mostra que o aumento de densidade reduz a variação da temperatura operativa interior, para o clima da cidade do Porto. A utilização de tipos de material com diferentes densidades permitiu definir uma espessura, para o intervalo de 10-15 cm, para além da qual o efeito da inércia resulta numa variação pouco significativa da temperatura operativa.

Quando comparado o efeito do aumento da densidade com o aumento de espessura, para a mesma inércia térmica resultante, comprovou-se que o aumento de densidade garante uma maior redução da amplitude térmica interior. E ainda se verificou uma redução da defasagem dos picos de temperatura com o aumento da inércia. O aumento da área exposta para as quatro orientações garante a redução da variação da temperatura operativa, pois o aumento da área das superfícies massivas verifica um aumento significativo na capacidade de armazenar calor.

Assim, quando comparado o efeito entre o aumento da área ou o aumento da espessura, para o mesmo valor resultante de inércia térmica, o aumento da área revela uma maior redução da amplitude térmica, com manutenção de calor armazenado no interior do edifício. Contudo, a análise para os dias característicos sem radiação mostra que, para um dia encoberto com uma reduzida amplitude térmica, o aumento da inércia resulta numa diminuição pouco significativa da amplitude da temperatura operativa e, melhorias pouco significativas no conforto térmico interior. O comportamento térmico do espaço mostrou-se também praticamente independente da orientação do espaço para estes dias.

Kontoleon e Bikas (2007) estudou o efeito da absorvidade no intervalo de tempo, fator de amortecimento e variações de temperatura para paredes de tijolo orientadas para o Sul, durante o período de inverno e em condições ambientais naturais na região do Mediterrâneo, na Grécia. Como resultado foi demonstrado que a absorvidade solar tem um efeito significativo sobre o atraso e amplitude térmica. Tratou de paredes simples de alvenaria com tijolo cerâmico de 18cm de espessura e paredes duplas com tijolo de 9 cm com câmara de ar de variando de 4 e 2cm. Este autor aconselha uma cor reflexiva (pintura branco ou claro) para a parede exterior, considerada como uma estratégia eficiente para minimizar os ganhos térmicos no interior do ambiente durante o verão. A maior eficiência no atraso da temperatura externa para a interna é alcançada através da colocação de uma camada de isolamento (câmara de ar) na superfície exterior e outra dentro da alvenaria.

Sambou et al. (2009) definiu a composição ideal da envoltória de um edifício buscando otimizar simultaneamente o isolamento térmico e a inércia térmica para o clima da França, utilizando paredes feitas com várias camadas paralelas de material isotrópico homogêneo com 0,40m de espessura total (L). O autor mostra que as composições ótimas de paredes são com a disposição da camada maciça na face interior e a camada de isolamento na

exterior. O resultado obtido em seu estudo é que a espessura ótima da camada maciça interior é $L/4$ e chega a quatro composições ótimas de parede, com duas a três camadas compostas por concreto pesado, material isolante e madeira, com variações nas espessuras e com a camada maciça sempre na extremidade interna da envoltória.

Um fator importante que influencia o desempenho do isolamento térmico de uma parede é a amplitude da onda de calor sobre a superfície exterior da parede. Mavromatidis et al. (2012) mostram que a diminuição da amplitude da onda de calor depende da composição da parede e a sua espessura. Os autores estudaram o material de Isolamento Térmico Multicamada (MTI) para uma parede localizada em Atenas, Grécia e em Yerevan, Armênia. A parede analisada tem a configuração de camadas de fora para dentro do ambiente composta por concreto (espessura 8cm), lã de vidro (espessura 5cm), câmara de ar (espessura 3cm), MTI (espessura 2cm), câmara de ar (espessura 3cm) e madeira (espessura 2cm). O estudo mostrou que o comportamento da parede nas orientações Norte, Sul e Leste tem valores de atraso térmico máximo e mínimo distantes um do outro. De acordo com a literatura isto acontece porque a temperatura externa do ar não é senoidal. Para a orientação Oeste os valores de atraso térmico máximo e mínimo não apresentaram diferenças significativas.

Giancola et al. (2014) fez o retrofit de dois edifícios localizados em Madri, Espanha, propondo envelopamentos diferentes para analisar os ganhos térmicos (Fig. 1). As paredes verticais variaram substancialmente o coeficiente global de transferência de calor com perdas térmicas significativas. O estudo mostrou a melhoria térmica produzida no interior dos apartamentos, como resultado da renovação do envelope do edifício devido aos balanços térmicos entre interior e exterior, durante os meses de verão.

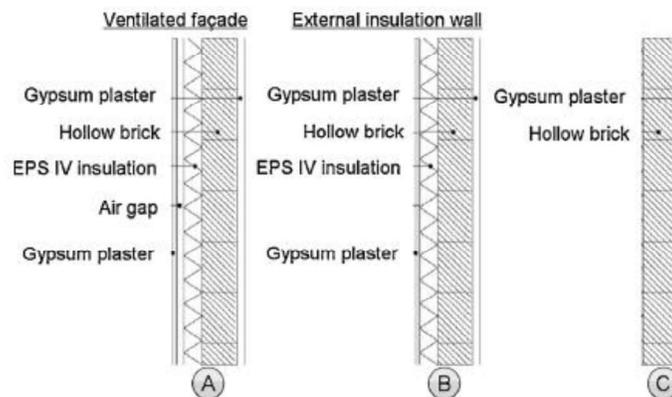


Figura 1. Seção da parede no Retrofit (a) e (b) e : c) e Seção da parede existente. Fonte: Giancola et al. 2014

Em locais onde o clima apresenta invernos quentes e verões quentes, tal qual o mediterrânico, as casas com melhor desempenho são casas pesadas (com grande inércia térmica). Paredes de pedra ou alvenaria com massas térmicas pesadas garantem o conforto de inverno e absorvem as cargas térmicas no verão (Tonelli; Grimaudo, 2014). Nesse clima, a contribuição das camadas internas em contato direto com o ar interior representa um elemento amortecedor importante para as diferenças de temperatura interna, enquanto as soluções leves ou aquelas sem massa térmica interna podem, em períodos de transição, requerem mais energia para manter condições de conforto térmico. Assim, Tonelli e Grimaud (2014) apresentaram um modelo de edifício em madeira pré-fabricada com uma camada interna de massa de alta inercia térmica como uma solução para que construções leves pudessem atender as condições de conforto no verão do clima mediterrâneo.

Marincic et al. (2014) analisaram o comportamento térmico de um painel composto de dois materiais diferentes, uma parte com blocos de concreto celular e outra com blocos de terra estabilizada, ambos com 15cm de espessura, revestidos externamente com argamassa de cimento e areia e gesso, pintado com cor clara e sem revestimento interno. O painel de vedação monitorado fazia parte de uma casa de baixo custo construída para demonstração e fins experimentais para a região Noroeste do México.

A parte da parede feita de blocos de concreto celular apresentou mais oscilação das temperaturas superficiais externas do que a parte com blocos de terra. Nas superfícies internas, ambas as temperaturas foram muito semelhantes. Apesar das diferentes propriedades térmicas dos materiais, eles têm coeficiente de difusividade semelhante, e, assim, considerando as temperaturas de ar externas e internas (não superficial), têm um comportamento semelhante, considerando a transferência de calor dependente do tempo.

Em climas quentes e secos, uma combinação de baixa condutibilidade térmica e elevada massa térmica é uma boa estratégia de envelopamento da construção para a minimização da utilização de condicionamento artificial (Marincic et al. 2014). O mesmo autor diz que em tais climas, é necessário evitar, tanto quanto possível, as cargas térmicas, a fim de facilitar o arrefecimento radioativo durante as 6

Em consonância com os objetivos propostos neste artigo, consolidam-se os resultados em termos das tipologias de paredes e os efeitos relacionados à inércia térmica (Tab. 2).

Tabela 2 –Tipologias de paredes e efeitos da inércia térmica relacionados ao clima

Clima	Tipologia e Características	Efeitos relacionados à inércia térmica
- invernos secos e amenos - verões chuvosos	Concreto Painel simples IC (isolante + concreto)	Espessura ideal do isolante de 50% a 60% da espessura do painel, limitando-se em 5 cm
	Painéis compostos CAC (concreto + câmara de ar + concreto)	Espessura mínima da placa de concreto em contato com o ar externo de 10cm
- clima mediterrâneo com amplitude térmica anual de 16 a 26°C e umidade média anual de 65%	Parede de Adobe	Espessura mínima de 450mm
		Para fechamentos opacos, em regime periódico: - a influência da absorvância é maior quando a inércia térmica é baixa. - a absorvância produz efeito inversamente proporcional à resistência e à capacidade volumétrica. - espessura e a massa específica aparente influenciam fortemente na variação da temperatura superficial interna de fechamentos homogêneos. - quando a amplitude da temperatura externa é grande, ocorre inversão do fluxo térmico na parede e a temperatura interna se mantém mais estável. A atenuação do fluxo de calor de fora para dentro dos ambientes é maior quanto maior a espessura das paredes proporcionando menor amplitude térmica no interior da edificação.

Continuação Tabela 2

Clima	Tipologia e Características	Efeitos relacionados à inércia térmica
		<p>Espessuras ótimas das paredes sem a incidência de luz solar:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Com revestimento: granito (20cm), concreto (15cm), tijolo simples (25cm), tijolo duplo (25cm) e madeira (8cm). - Sem revestimento: granito (20cm), concreto (20cm), tijolo simples (20cm), tijolo duplo (20cm) e madeira (10cm).
- climas úmidos, amplitude térmica anual de 14 e 25°C	Granito; tijolo maciço; tijolo maciço duplo com 5cm de câmara de ar; madeira.	<p>Espessuras ótimas das paredes com a incidência de luz solar:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Com revestimento: granito (20cm), concreto (15cm), tijolo simples (20cm), tijolo duplo (20cm) e madeira (8cm). - Sem revestimento: granito (25cm), concreto (20cm), tijolo simples (20cm), tijolo duplo (20cm) e madeira (10cm).
	Reboco, concreto (leve, padrão e pesado), poliestireno expandido (EPS) e gesso acartonado.	<p>Melhores materiais: granito, concreto e madeira, com produto λ.p.c de 6,86x106, 3,60x106 e 0,31x106, respectivamente</p> <p>O aumento de densidade reduz a variação da temperatura operativa interior e o aumento da área exposta garante a redução da variação da temperatura operativa.</p>
- períodos de inverno no Mediterrâneo	Parede de tijolo cerâmico Orientação Sul e pintura reflexiva (branco ou claro)	<p>Paredes simples: tijolo de 18cm de espessura;</p> <p>Paredes duplas: tijolo de 9 cm com câmara de ar de 4 e 2cm.</p> <p>A absorvidade solar tem um efeito significativo sobre o atraso e amplitude térmica. Maior eficiência no atraso da temperatura externa para a interna é obtido através de uma camada de isolamento (câmara de ar) na superfície exterior e outra dentro da alvenaria.</p>
- Climas da Grécia e Arménia	Material de Isolamento Térmico Multicamada (MTI)	<p>Concreto (esp. 8cm), lâ de vidro (esp. 5cm), câmara de ar (espessura 3cm), MTI (esp. 2cm), câmara de ar (esp. 3cm), madeira (esp. 2cm).</p> <p>A amplitude da onda de calor sobre a superfície exterior da parede influencia o desempenho do isolamento térmico, dependendo da composição da parede e a sua espessura. Para temperatura externa não senoidal (orientações Norte, Sul e Leste) os valores de atraso térmico máximo e mínimo diferem um do outro. E para a orientação Oeste não apresentaram diferenças significativas.</p>
- Clima da França	Parede composta por duas a três camadas de concreto pesado, material isolante e madeira, com 40cm de espessura	<p>Para otimizar simultaneamente o isolamento térmico e a inércia térmica a disposição da camada maciça deve estar na face interior e a camada de isolamento na face exterior.</p> <p>Espessura ótima da camada maciça interior é L/4</p>

Continuação Tabela 2

Clima	Tipologia e Características		Efeitos relacionados à inércia térmica
- Clima de Madri, Espanha, no verão	Parede de tijolo furado, EPS e câmara de ar com revestimento de gesso na camada interior e exterior	Não especificada a espessura ótima	Melhoria térmica produzida no interior dos ambientes, como resultado da inserção de EPS e câmara de ar nas paredes externas do edifício devido aos balanços térmicos entre interior e exterior.
- clima com invernos quentes e verões quentes	Parede de pedra e alvenaria	Paredes pesadas	As casas com melhor desempenho térmico são as com grande inércia térmica, que garantem o conforto de inverno e absorvem as cargas térmicas no verão.
- clima do México, quente e seco	Bloco de concreto celular Bloco de terra estabilizada	Espessura de 15 cm revestidos externamente com argamassa de cimento e areia e gesso, pintados com cor clara e sem revestimento interno	Para minimizar a utilização de condicionamento artificial combinar baixa condutibilidade térmica e elevada massa térmica. Para facilitar o arrefecimento radioativo durante as noites, reduzir as variações diárias de temperatura e aumentar o atraso térmico deve-se evitar as cargas térmicas.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ainda que a partir de diferentes abordagens teórico-metodológicas, nota-se que as pesquisas apontam para uma espessura mínima ótima das paredes para aproveitar melhor os benefícios da inércia térmica e, conseqüente, proporcionar conforto térmico no interior dos ambientes. Percebe-se que os trabalhos têm como objetivo a reabilitação de edifícios com propostas de envelopamento e revestimento para menores ganhos térmicos e eficiência energética das edificações. No entanto, faltam pesquisas que explorem qual o fechamento mais adequado ao clima determinado, principalmente, para o zoneamento bioclimático brasileiro.

Para climas quentes, o efeito da massa térmica das paredes externas na diminuição da amplitude térmica do interior cresce com a amplitude térmica do clima. Soluções construtivas que utilizam materiais leves, como o gesso cartonado, diminuem de forma acentuada a capacidade da parede em armazenar calor. Como resultado, a radiação solar incidente na parede é quase instantaneamente restituída para o ambiente. Para cada material existe uma espessura ótima, para além da qual o calor armazenado diminui ou se mantém constante.

Em climas frios, a amplitude da temperatura operativa interior é reduzida de forma mais significativa através do aumento da área da envoltória do que através do aumento de sua espessura ou massa volumétrica de seu material. A variação da massa térmica mostra que a influência da inércia térmica tem maior efeito no comportamento térmico interior para superfícies que recebem radiação solar direta. Para um maior isolamento térmico do ambiente a camada do painel maciça e com alta inércia térmica deve localizar-se na extremidade em contato com o ar externo e a camada de isolamento deve ser posicionada na face interna do ambiente.

Percebe-se que, dos trabalhos selecionados, apenas um é do Brasil, indicando que muitas pesquisas ainda podem ser demandadas a respeito da inércia térmica no país, sobretudo no que se refere à adequada especificação do material considerando conceitos de massa

térmica, atraso e amplitude para as especificidades dos climas. Neste contexto e considerando a cidade de Cuiabá-MT, com duas estações climáticas, bem definidas (quente seco e quente úmido) recomenda-se para trabalhos futuros a pesquisa para identificar o desempenho dos materiais construtivos paredes e coberturas frente às variações de inércia.

REFERENCIAS

- Almeida, M.M.G. 2012. *Caracterização da Inercia de Paredes Maciças*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Térmica, Faculdade de Engenharia do Porto, Porto, Portugal.
- Botelho, L.L.R. Cunha, C.C.A. Macedo, M. 2011. O Método da Revisão Integrativa nos Estudos Organizacionais. *Revista Eletrônica Gestão e Sociedade* 5(11): 121-136.
- Corbella, O.; Yannas, S. 2003. Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos – conforto ambiental. Rio de Janeiro: Ed. Revan. 2003.
- Duarte, F.M.S.R.F. 2013. *Contributo para o estudo de um patamar mínimo de inércia térmica em edifícios em reabilitação*. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal.
- González Cruz, E.M. 2003. *Selección de materiales en la concepción arquitectónica bioclimática*. Instituto de investigaciones de la Facultad de Arquitectura y Diseño, Universidad de Zulia. Maracaibo, Venezuela.
- Evans, D.; Pearson, A. 2001. Systematic reviews: gatekeepers of nursing knowledge. *Journal of Clinical Nursing* 10(5): 593-599.
- Giancola, E.; Soutullo, S.; Olmedo, R.; Heras, M.R. 2014. Evaluating rehabilitation of the social housing envelope: Experimental assessment of thermal indoor improvements during actual operating conditions in dry hot climate. A case study. *Energy and Buildings* 75: 264-271.
- Granja, A.D. 2002. *Transmissão de calor em regime periódico: efeito da inercia térmica em fechamentos opacos*. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Sao Paulo.
- Heathcote, K. 2011. The thermal performance of earth buildings. *Informes de la Construccion* 63(523): 117-126.
- Kontoleon, K.J.; Bikas, D.K. 2007. The effect of south wall's outdoor absorption coefficient on time lag, decrement factor and temperature variations. *Energy and Buildings* 39: 1011-1018.
- Marincic, I.; Ochoa, J.M.; Alpuche, M.G.; González, I. 2014. Comparative Analysis of the thermal behavior between cellular concrete blocks and stabilized earth blocks as wall materials. *Energy Procedia* 57: 1783-1791.
- Mavromatidis, L.E.; Mankibi, M.; Michel, P.; Santamouris, M. Numerical estimation of time lags and decrement factors for wall complexes including Multilayer Thermal Insulation, in two different climatic zones. Elsevier -Energy and Buildings Vol. 92, 480-491, 2012.
- Sambou, V.; Lartigue, B.; Monchoux, F.; Adj, M. 2009. Thermal optimization of multilayered walls using genetic algorithms. *Energy and Buildings* 41: 1031-1036.
- Tonelli, C.; Grimaudo, M. 2014. Timber buildings and thermal inertia: Open scientific problems for summer behavior in Mediterranean climate. *Energy and Buildings* 83: 89-95.