



11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

## IMPACTO DA ENVOLTÓRIA NO CONFORTO TÉRMICO E NO DESEMPENHO ENERGÉTICO DAS EDIFICAÇÕES

**Resumo:** *O propósito das edificações é manter os ocupantes à níveis de conforto apropriados para a execução de suas tarefas. Em voga desde 2013, a Norma de Desempenho passou a exigir que as novas edificações atendam a um nível mínimo de desempenho, cujos requisitos incluem o conforto térmico dos usuários. A envoltória das edificações consiste em um conjunto de sistemas essenciais para a preservação do conforto aos usuários e eficiência energética da construção. Neste sentido, este trabalho tem por objetivo analisar o impacto da envoltória das edificações no desempenho térmico e no consumo de energia através de uma revisão bibliográfica. A literatura consultada indicou que a envoltória, assim como as decisões do projeto arquitetônico e sistemas empregados em determinada edificação se associam com o desempenho que ela irá apresentar.*

**Palavras-chave:** *Envoltória das edificações, Conforto térmico, Desempenho térmico, Consumo de energia, Eficiência energética.*

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

## IMPACT OF THE ENVELOPE ON THE THERMAL COMFORT AND ENERGY PERFORMANCE OF BUILDINGS

**Abstract:** *The buildings purpose is to keep the occupants at the appropriate comfort levels to accomplish their activities. Since 2013, the Standard for Performance started demanding that new buildings meet a minimum level of performance, whose requirements include the thermal comfort of users. The building envelope consists of a set of systems essential for the preservation of user comfort and energy efficiency of the building. In this regard, the objective of this work is to analyze the impact of buildings' envelope on thermal performance and energy consumption through a bibliographic review. The literature consulted indicated that the envelope as well as the decisions of the architectural design and the systems used in a given building are associated with the performance presented.*

**Keywords:** *Building envelope, Thermal Comfort, Thermal performance, Energy consumption, Energy efficiency.*

### 1. INTRODUÇÃO

Tipicamente, o propósito das edificações sempre foi o de manter os ocupantes à níveis de conforto apropriados para a execução de suas tarefas (LAMBERTS *et al.*, 2016). Tratando-se de um fator pautado pela satisfação psicológica, o conforto térmico depende da percepção de cada indivíduo para com o ambiente em que está inserido (ABNT, 2005; ASHRAE, 2017). No Brasil, desde o ano de 2013, são exigidos níveis mínimos de conforto e desempenho. A Norma de Desempenho – NBR 15575 – pauta o conforto térmico como um requisito de habitabilidade (ABNT, 2013).

A eficiência das edificações pode ser caracterizada por um menor consumo de energia para que se proporcione níveis satisfatórios de conforto. Os sistemas da envoltória, então, atuam diretamente sobre o conforto dos usuários e o consumo de energia através do controle à exposição da radiação solar e da sua incidência nos ambientes internos (CARMODY *et al.*, 2004). É composta pelos Sistemas de Cobertura (SC) e pelos Sistemas de Vedação Vertical (SVV), atuando como a interface principal entre o ambiente interno e externo, promovendo e regulando as trocas de calor. Seus materiais e propriedades térmicas são fundamentais para construção de edificações sustentáveis que atendam aos níveis de conforto e que promovam a eficiência energética (BRENNER, 2017; OLIVEIRA, SOUZA, DA SILVA, 2017; EVOLA, GULLO, MARLETTA, 2017).

Comumente, a necessidade de condicionamento artificial do ambiente leva a um consumo elevado de energia. Neste sentido, edificações energeticamente eficientes são aquelas que proveem níveis de conforto aceitáveis dispendendo menos energia, ou aquelas que atingem níveis superiores de conforto mantendo o consumo de energia inicial (SOLER; SALANDIN; MICÓ, 2017). Para isso, estratégias passivas de conforto devem ser aplicadas. Através da arquitetura bioclimática, o consumo pode ser reduzido, minimizando o impacto ambiental com o uso de materiais e técnicas construtivas adequadas ao clima local (CAMPOS *et al.*, 2012; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Corroborando a necessidade de maior eficiência nas edificações, estima-se que o consumo de energia mundial no meio urbano deve ultrapassar a produção proveniente dos setores industriais no ano de 2050, tendo em vista a previsão de acréscimo na população mundial de 2,5 bilhões de pessoas ao ano. De acordo com a Agência Internacional de Energia, os setores residencial e comercial já consomem uma enorme parcela da energia gerada, sendo responsáveis por aproximadamente um terço das emissões globais de CO<sub>2</sub>, contribuindo também com a redução do percentual de combustíveis fósseis no conjunto energético mundial (IEA, 2014).

Realização

ABES-RS



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375



Em virtude do exposto, estratégias de conforto e desempenho que promovam a eficiência energética das edificações figuram como uma prioridade na construção civil (OMRANI *et al.*, 2017). No âmbito desta pesquisa, os conceitos de conforto térmico e desempenho energético são analisados de forma abrangente, seguindo uma revisão bibliográfica histórica e tecnológica. A pesquisa é dividida em diferentes campos, como o conforto dos usuários, o desempenho térmico e o desempenho energético das edificações pelo viés dos sistemas da envoltória.

## 2. CONFORTO TÉRMICO E DESEMPENHO ENERGÉTICO

A proteção contra intempéries do ambiente externo é função fundamental da edificação (MANZANO-AGUGLIARO *et al.*, 2015). Para tanto, o ambiente interno é comumente delimitado pelos limites externos, a envoltória do edifício, e sua qualidade pode ser aferida em grande parte por parâmetros de conforto e desempenho térmico (OMRANI *et al.*, 2017). O conforto térmico é uma variável de percepção individual, definido como um estado de satisfação com o ambiente (ABNT, 2005). Condições térmicas, portanto, decorrem a partir de fatores físicos, fisiológicos e psicológicos inerentes a cada pessoa (ASHRAE, 2017).

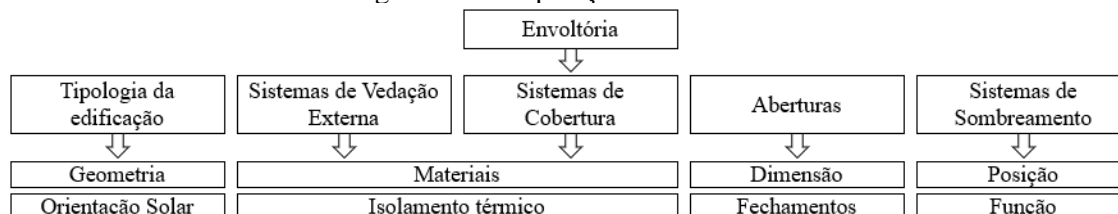
Não sendo possível para os usuários uma adaptação brusca à diferentes temperaturas, não há de fato diferença conceitual entre o conforto para climas quentes ou frios. Independentemente das condições climáticas, as condições de conforto devem seguir uma determinada faixa restrita na qual pessoas possam executar suas tarefas (LAMBERTS *et al.*, 2016; ASHRAE, 2017). Tais condições ainda sofrem alteração no decorrer do dia, mês e ano, gerando uma variedade de contextos, condições adversas do ambiente externo, que devem ser consideradas para um melhor desempenho (MANU *et al.*, 2016).

Para minimizar os efeitos das variações climáticas na edificação, estratégias como a localização do prédio no terreno, orientação solar, sistemas de sombreamento em fachadas e utilização de condicionadores artificiais mais eficientes são alternativas que podem ser adotadas para reduzir o consumo de energia (WASCHEVICZ, 2016). Deste modo, o conforto deve ser adaptativo, influenciando diretamente no desempenho energético.

## 3. CARACTERÍSTICAS DA ENVOLTÓRIA

As características da envoltória determinam em grande parte a eficiência da edificação. É determinada pelas características dos sistemas que a compõe, dos materiais e das técnicas construtivas empregadas. Concomitante, também é influenciada pela tipologia edificada, a orientação solar das fachadas, área de piso, características dos espaços internos, tipo de uso, entre outros. Genericamente, a envoltória é composta por cinco fatores: a tipologia da edificação; os Sistemas de Vedação Vertical (SVV); Sistemas de Cobertura (SC); as Aberturas; e os Sistemas de Sombreamento (SS) (MIRRAHIMI *et al.*, 2016). Sua composição pode ser verificada na Figura 1.

Figura 1 – Composição da envoltória.



Fonte: Adaptada de Mirrahimi *et al.* (2016).

Realização



Correalização



Informações:

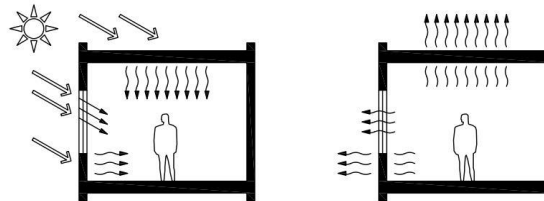
qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375



### 3.1 Sistemas de Vedação Vertical e Sistemas de Cobertura

Dentre os componentes da envoltória, os Sistemas de Vedação Vertical (SVV) e os Sistemas de Cobertura (SC) se destacam pela exposição direta à radiação solar, atuando como principal meio para trocas de calor e transmissão de carga térmica entre o ambiente externo e os espaços internos do edifício. Os SC têm maior influência sobre edificações térreas e o último pavimento de edifícios verticais, enquanto que os SVV delimitam o perímetro externo, conforme a Figura 2 (CARMODY *et al.*, 2004).

Figura 2 – Trocas de calor pela envoltória

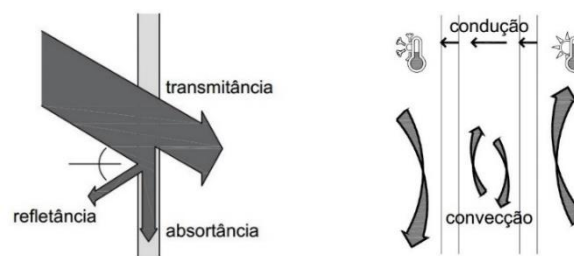


Fonte: Adaptada de Carmody *et al.* (2004).

De forma simplificada, para sistemas que consistem de camadas planas, paralelas e uniformes onde o calor flui em uma dimensão, a transmitância térmica (U-Value) é a soma inversa das resistências térmicas (R-Value) de cada camada (SULEIMAN, 2011). O R-Value depende da espessura, da densidade e da condutividade do material.

Os sistemas da envoltória devem satisfazer os requisitos mínimos para: transmitância térmica, refletância, e absorvância à radiação solar (GHISI; TINKER, 2005; OLIVEIRA; SOUZA; DA SILVA, 2017; ABNT, 2013). A transferência de energia ou calor pela condução, radiação e convecção, comum em superfícies translúcidas, pode ser reduzida através de técnicas construtivas adequadas, aumentando o isolamento térmico (GAN, 2001; DESOGUS; MURA; RICCIU, 2011). O calor flui do ponto mais energético para o menos energético, da face externa para interna da envoltória no verão e em direção oposta durante o inverno (CARMODY *et al.*, 2004). Tais características estão ilustradas na Figura 3.

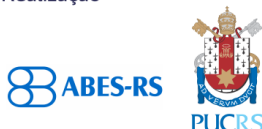
Figura 3 – Transferência de energia



Fonte: Adaptada de Carmody *et al.* (2004).

Ao incidir em superfícies opacas, a radiação pode ser refletida ou absorvida. Segundo a ABNT 15220, a refletância à radiação solar das superfícies é determinada pela razão entre a taxa de radiação solar refletida pela taxa de radiação incidente, variando entre 0 e 1 ou 0% e 100% (ABNT, 2005). O comportamento do material é definido pela refletância especular e a refletância difusa (Figura 4). A refletância especular ocorre em superfícies lisas, onde o ângulo de reflexão é igual ao ângulo de incidência da radiação. Para a reflexão difusa, superfícies rugosas ou irregulares refletem a radiação para diferentes ângulos (IKEMATSU, 2007).

Realização



Correalização

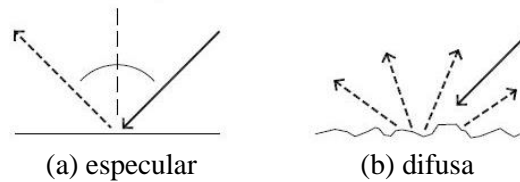


Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375



Figura 4 – Refletância à radiação solar



Fonte: Adaptada de Ikematsu (2007).

Ainda, parte da radiação incidente sobre a superfície é absorvida pelo material. Esta energia se converte em calor, elevando a temperatura do material, transformando-o em fonte emissiva de calor pela convecção do ar ou pela radiação da superfície ao longo do tempo. Decorrente da absorvância ( $\alpha$ ), a emitância térmica é, portanto, o termo que define a quantidade de energia emitida por uma superfície quando comparada à um corpo negro ideal à mesma temperatura (CARMODY *et al.*, 2004; PEREIRA, 2014).

### 3.2 Aberturas

A dimensão das aberturas influencia diretamente no desempenho da envoltória. De forma geral, quanto maior a abertura, maior será o ganho de calor solar para os ambientes internos (THALFELDT; KURNITSKI; VOLL, 2016). O projeto das aberturas pode estar atrelado ao tamanho do cômodo ou da sua fachada. A Porcentagem de Abertura da Fachada, do inglês *Window-to-Wall Ratio* (WWR), é a razão entre a área da abertura ( $A_a$ ) e a área da fachada ( $A_f$ ), resultando em uma taxa com dimensões que podem variar em largura e altura (CARMODY *et al.*, 2004; GHISI; TINKER, 2005; GHISI; TINKER; IBRAHIM, 2005; DIDONÉ, 2009).

Componente importante das aberturas, o vidro exerce grande influência no conforto térmico, conforto visual e no consumo de energia (PALMER; GENTRY, 2012). Cappelletti *et al.* (2013) afirmam que os ambientes envidraçados são os que mais são afetados pela radiação solar, o que prejudica o conforto dos usuários e o equilíbrio térmico. Vidros incolores são capazes de transmitir acima de 75 % da radiação incidente e 85% da luz natural visível, refletindo no ganho de calor interno, principalmente no verão. Por outro lado, vidros de baixa emissividade podem ser utilizados para diminuir a entrada de radiação nos ambientes, mesmo no verão (ASHRAE (2017). Vidros de controle solar instalados em janelas podem ter uma redução de até 55% do ganho de calor em determinado ambiente, em comparação com janelas de vidros convencionais (NOH-PAT *et al.*, 2010).

### 3.3 Sistemas de Sombreamento

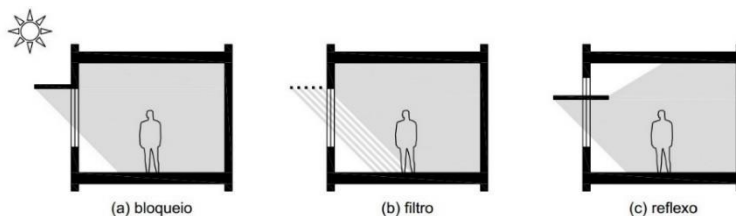
O controle sobre a radiação solar é essencial para mitigar os efeitos de aquecimento dos ambientes. Subsistemas da envoltória, Sistemas de Sombreamento posicionados junto às aberturas da envoltória possuem a finalidade de bloquear a luz e a radiação direta ou de redirecioná-la para o interior da edificação (ALRUBAIIH *et al.*, 2013). Tratando-se de uma estratégia passiva de conforto, é possível regular a quantidade de calor e luz para diferentes épocas do ano, minimizando o consumo de energia para condicionamento térmico e iluminação (PANCHABIKESEN; VELLAISAMY; RAMALINGAM, 2017; CHI; MORENO; NAVARRO, 2017). O uso de iluminação natural, por exemplo, pode substituir ou auxiliar na redução da iluminação artificial (CHEN *et al.*, 2014; CHI, MORENO, NAVARRO, 2018).

Além dos elementos internos de sombreamento, como persianas e cortinas, o controle pode ocorrer através de sistemas construtivos externos basicamente de três modos: (a) bloqueio total



do sol e da radiação; (b) filtro ou bloqueio parcial; e (c) bloqueio da radiação e reflexão da luz para o interior da edificação (Figura 5) (CARMODY *et al.*, 2004).

Figura 5 – Sistemas de sombreamento externos



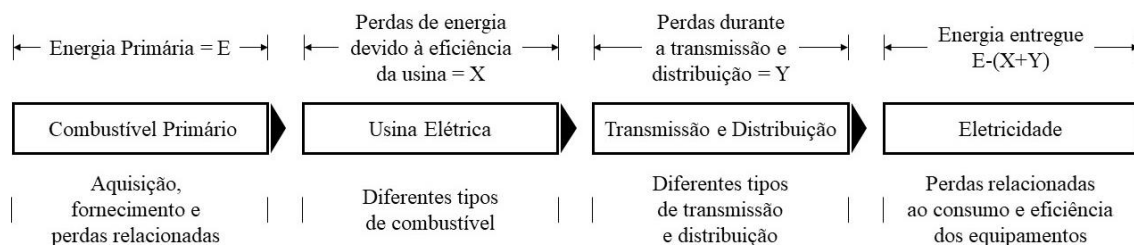
Fonte: Adaptado de Carmody *et al.* (2004).

#### 4. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DAS EDIFICAÇÕES

Anualmente, aproximadamente 48% da energia global é consumida por edifícios, sendo sua maior parte proveniente da produção de eletricidade e gás natural (BAUM, 2007). No Brasil, o consumo de energia elétrica do setor residencial representa cerca de 25,6% da produção nacional, equivalendo a soma do consumo dos setores comercial e público, 17,2% e 8,3% respectivamente.

Ainda, edificações apresentam um consumo indireto de energia através da energia incorporada aos seus materiais e aos processos produção, desde a extração da matéria-prima, transporte, até a fabricação do produto final (MARSZAL, 2011) A própria geração e fornecimento de energia elétrica passa por diferentes etapas (Figura 6), acarretando em perdas durante o processo de distribuição (DIXIT, 2017).

Figura 6 – Processo de geração de energia elétrica.



Fonte: Adaptada de Dixit (2017).

O acúmulo de calor no meio urbano oriundo da substituição da massa verde por superfícies artificiais gera o efeito chamado ilha de calor. A medida que a cidade se densifica, mais calor é aprisionado, conseqüentemente elevando as temperaturas na ordem entre 6 a 8°C (HOELSCHER *et al.*, 2016; VOX, BLANCO, SCHETTINI, 2018). Não obstante, o consumo energético para o condicionamento artificial dos edifícios aumenta, ocupando cerca de 33% da demanda total de energia global, e sendo responsável por 30% das emissões globais de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera relacionadas ao consumo de energia (BLOCK, 2009; URGE-VORSATZ *et al.*, 2012).

A demanda de aquecimento em alguns países pode vir a representar mais da metade do total de energia consumida no setor residencial (ISAAC; VAN VUUREN, 2009). Por outro lado, a energia de resfriamento é significativamente menor, mas com uma tendência ascendente (McNEIL; LETSCHERT, 2008). Dados do IDAE (2011) mostram que na Espanha, os aparelhos de aquecimento



11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

e resfriamento representam entre 15% e 18% do consumo total de eletricidade de uma edificação residencial.

A necessidade de redução do consumo torna indispensável a adoção de estratégias passivas de conforto e de eficiência energética (CARLUCCI *et al.*, 2015; MANZANO-AGUGLIARO *et al.*, 2015; TORGAL *et al.*, 2014). A utilização de sistemas construtivos e tecnologias de alto desempenho favorece uma redução de até 50% do consumo energético (PROCEL, 2017), sendo necessário o emprego não só de sistemas construtivos ideais para envoltória (YU *et al.*, 2015), mas também equipamentos e sistemas, incluindo iluminação, condicionamento artificial, aquecimento de água, entre outros (WASCHEVICZ, 2016).

A eficiência energética das edificações é obtida por intermédio de técnicas construtivas e estratégias de projeto que incentivam a conservação da energia, bem como a mitigação do consumo pelos sistemas de iluminação, aquecimento e resfriamento (OKEIL, 2010). Nesta perspectiva, advém a necessidade de explorar métodos que visam uma maior performance dos sistemas construtivos, utilizando o mínimo ou nenhuma quantidade de energia para obtenção do conforto e desempenho energético (MANZANO-AGUGLIARO *et al.*, 2015; KUHN, 2017).

## 5. MÉTODO

O método utilizado para o desenvolvimento deste estudo foi a revisão bibliográfica da literatura técnica referente a estudos relacionados com o tema em análise, incluindo periódicos nacionais, internacionais e trabalhos de pós-graduação, dissertações e teses.

Após a seleção e a relação dos trabalhos ao tema, foi delimitado o escopo da pesquisa com o intuito de verificar a influência da envoltória e de suas propriedades no desempenho térmico de edificações e no consumo de energia com base nos resultados obtidos entre diversos autores.

## 6. RESULTADOS

Diversos estudos brasileiros e internacionais identificam a envoltória da edificação como elemento central de influência nos desempenhos térmico e energético. O objetivo das pesquisas é analisar a eficiência da edificação tendo em vista as normas vigentes e as restrições que envolvem o processo construtivo. Foram pesquisados trabalhos que analisaram os componentes da envoltória a fim de determinar os princípios de desempenho térmico e energético, e fundamentar as estratégias para o conforto térmico dos usuários.

A partir da revisão bibliográfica, foi possível determinar a definição dos Sistemas de Vedação Vertical (SVV) e dos Sistemas de Cobertura (SC), bem como os parâmetros gerais investigados nos estudos. A síntese das definições encontradas dentre os trabalhos pode ser verificada abaixo:

**Vedação Vertical** Limite entre os ambientes interno e externo da edificação: fachadas, paredes ou divisórias externas com função principal de proteção contra intempéries e condições climáticas locais.

**Cobertura** Limite da parte superior da edificação: telhados, lajes ou coberturas leves para proteção do interior de edificações térreas e últimos pavimentos de edificações verticais.

O conforto térmico e o desempenho energético das edificações podem ser analisados por diferentes métodos, desde medições *in-loco*, até análises sofisticadas por simulações computacionais para o projeto dos sistemas da envoltória. Dentre os trabalhos levantados, foram agrupados métodos

Realização

ABES-RS



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375



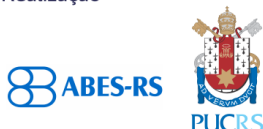
similares para exposição neste estudo. Vários trabalhos, por exemplo, atrelaram as cargas internas e temperatura ao conforto dos usuários, outros realizaram um paralelo entre o desempenho térmico e de iluminação (FRIESS; RAKHSHAN, 2017). Certos estudos avaliaram as propriedades térmicas dos materiais (SARKAR; BOSE, 2016), enquanto que outros analisaram o consumo energético para os sistemas de aquecimento e resfriamento (MAO *et al.*, 2017). Tais análises foram realizadas em modelos computacionais (LOPES, 2007; ZENGINIS; KONTOLEON, 2017), células mínimas ou protótipos (CAMERON; TAYLOR; EMMET, 2015), ou em modelos que reproduzem a edificação como um todo (WONG; BALDWIN, 2016; WASCHEVICZ, 2016). A Tabela 1 mostra os tipos de análises e suas características.

Tabela 1 – Métodos de análise dos componentes da envoltória.

Estudo	Parâmetros de análise	Fonte
Comportamento térmico de cobertura verde e diferentes tipos de cobertura	Conforto térmico	LOPES, 2007
Redução do consumo de energia através de fachada verde em clima frio	Consumo energético	CAMERON; TAYLOR; EMMET, 2015
Influência do tipo de vidro utilizado em aberturas no conforto térmico e na eficiência energética	Conforto térmico, Consumo energético	von MEUSEL; WESTPHAL, 2015
Influência das configurações da envoltória, materiais de construção, sombreamento e aberturas na conservação de energia	Consumo energético	LIN <i>et al.</i> , 2016
Impacto no desempenho térmico de diferentes materiais de construção aplicados na envoltória	Desempenho térmico, Consumo energético	SARKAR; BOSE, 2016
Eficiência energética da envoltória e de sistemas de condicionamento de ar de uma edificação comercial em clima subtropical	Consumo energético, Ganhos de cargas térmicas.	WASCHEVICZ, 2016
Aplicação de cobertura verde em fachada dupla em clima subtropical	Consumo energético	WONG; BALDWIN, 2016
Estratégias passivas na envoltória, orientação solar, isolamento térmico, vidros, níveis de iluminação e ventilação natural	Consumo energético, Desempenho térmico, Orientação solar	FRIESS; RAKHSHAN, 2017
Influência das paredes da envoltória no consumo de energia atrelado ao uso de condicionadores artificiais	Consumo energético	MAO <i>et al.</i> , 2017
Influência da orientação e dimensão das aberturas, e proporções dos ambientes em clima frio	Desempenho térmico, Orientação solar, Proporção dos cômodos.	ZENGINIS; KONTOLEON, 2017

Um projeto eficiente que preveja o uso de sistemas e arquitetura adequados, assim como o uso de sombreamento, reduz de maneira eficaz o ganho de calor pelos ambientes internos, o que se traduz na conservação de energia (LIN *et al.*, 2016). Entretanto, materiais isolantes podem dificultar a

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375





11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

dissipação do calor interno pela fachada, aumentando o consumo de energia para resfriamento em uma edificação comercial com altos ganhos internos (WASCHEVICZ, 2016).

Em estudos sobre o desempenho de sistemas verdes, constatou-se que o desempenho térmico é decorrente da capacidade de inércia térmica da camada de substrato, transferindo gradativamente o calor ao interior da edificação pelo atraso térmico (LOPES, 2007). Para climas frios, a cobertura vegetal manteve as temperaturas internas superiores às externas, minimizando a perda de calor por convecção e protegendo contra a precipitação (CAMERON; TAYLOR; EMMET, 2015). Em clima subtropical, o sistema verde em fachada dupla atuou sobre o microclima interior, mantendo o conforto térmico e reduzindo o consumo de energia para condicionamento, bem como as emissões de dióxido de carbono (WONG; BALDWIN, 2016).

Em análise sobre a influência da orientação, do isolamento térmico, dos vidros e níveis de iluminação, Firess e Rakshhan (2017) constataram uma economia de energia superior à 20%, especialmente para edificações residenciais. Em edificações comerciais com fachadas envidraçadas, a utilização de vidros eficientes gerou melhoria de 55% no desempenho térmico. Para projetos de abertura otimizadas, economias energéticas podem chegar a 30% e 79% para o setor residencial e comercial, respectivamente.

O estudo de Sarkar e Bose (2016) revelou que o uso de sistemas com alta massa térmica na construção de paredes e telhados pode manter o conforto térmico interior durante as estações de inverno e verão em regiões com variações climáticas e também pode melhorar significativamente a eficiência energética de edifícios parcialmente e totalmente climatizados - a carga de aquecimento, refrigeração e ventilação artificial pode ser reduzido até 60%, 40% e 40%, respectivamente. Da mesma forma, Mao *et al.* (2017) concluíram que as paredes da envoltória afetam o consumo energético e a necessidade de aquecimento e resfriamento artificial das edificações, levando em consideração os materiais construtivos, o uso de paredes simples ou duplas, assim como o revestimento empregado.

Em relação à proporção entre as dimensões do ambiente interno, cômodos mais profundos apresentam melhor desempenho térmico em relação àqueles mais largos. A proporção 1:2 apresentou desempenho 50% superior em relação à proporção 1:1, enquanto que a 2:1 apresentou decréscimo de 100% (ZENGINIS; KONTOLEON, 2017).

Quanto aos Sistemas de Sombreamento (SS) aplicados junto às aberturas da envoltória, verificou-se diversos dispositivos que contribuem para o conforto e desempenho (Tabela 2). Os tipos de SS mais recorrentes nos estudos pesquisados foram classificados de acordo com as suas características, podendo ainda variar na sua posição, dimensão e material de acordo com o local, o clima, as tecnologias disponíveis e a função que deve ser desempenhada.

Tabela 2 – Sistemas de Sombreamento mais usuais.

Tipo	Posição		Estrutura		Ação sobre a radiação e à luz solar			
	Interna	Externa	Móvel	Fixo	Bloqueio total	Bloqueio parcial	Filtro	Reflexão
Persianas, Cortinas		•	•		•	•	•	
Veneziana, Painéis	•				•	•	•	
Bandeja de luz	•	•		•	•	•		•
Brise horizontal ou vertical		•	•	•	•	•	•	•
Balanços, Saliências, Painéis		•		•	•	•		•
Superfícies vazadas	•	•	•	•			•	

Realização

ABES-RS



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

Para cada componente da envolvente edificada, existem implicações sobre o desempenho. A Tabela 3 mostra os efeitos causados pela envoltória no conforto térmico das edificações.

Tabela 3 – Efeitos dos parâmetros da envoltória sobre o conforto e desempenho térmico.

Parâmetro	Conforto e desempenho térmico
Orientação das fachadas	Para diversas dimensões de aberturas, fachadas orientadas para pontos de alta insolação tendem a apresentar um maior conforto em climas frios, oposto ao desempenho em locais de clima quente.
Sistemas de Vedação Vertical	Temperaturas internas constantes podem ser atingidas com sistemas compostos de materiais com baixa transmitância. Sistemas com isolamento térmico são benéficos para a maioria dos climas, evitando trocas de calor entre os ambientes internos e externos. Podem ser utilizados para absorver calor durante o dia e liberá-lo ao ambiente a noite de baixas temperaturas.
Sistemas de Cobertura	Geralmente composto por cobertura e forro, possui camada de ar passível de renovação para o controle da temperatura. Mantas e materiais compostos provém isolamento satisfatório, mantendo a temperatura interna estável.
Fechamento das Aberturas	Quanto menor o coeficiente de ganho solar e menor transmitância do vidro, mais fácil será a manutenção da temperatura nos ambientes internos da edificação. Ainda, influenciam na ventilação e trocas de ar do ambiente interno com o externo.
Dimensão das Aberturas	Quanto maior a dimensão da abertura, maiores são os efeitos da radiação sobre o conforto dos usuários. Aberturas muito grandes em climas frios permitem a entrada da radiação, mas também contribuem para perda de calor. Em climas quentes, a alta incidência pode elevar a temperatura interna a níveis muito acima do conforto dos ocupantes.
Sistemas de Sombreamento	Os SS afetam o conforto positiva ou negativamente dependendo das condições do ambiente externo. Entretanto, para aberturas com fechamentos sem isolamento térmico, o sombreamento pode ser benéfico.

De acordo com o levantamento de informações, o impacto da envoltória sobre o desempenho energético das edificações se deu fortemente sobre as cargas de aquecimento e resfriamento (MAO *et al.*, 2017). Diferentes composições de sistemas foram analisados, ao passo que sua influência sobre as cargas térmicas da edificação, e conseqüentemente no consumo, se deram em virtude das propriedades térmicas dos materiais empregados. Alguns estudos analisaram diferentes composições de alvenaria (SARKAR; BOSE, 2016), ao passo que outros analisaram os efeitos de coberturas vegetais nas fachadas e cobertura (CAMERON; TAYLOR; EMMET, 2015), outros variaram os tipos de sistemas de sombreamento e orientação solar, avaliando o desempenho também sob a ótica da iluminação e do consumo com iluminação artificial (FIRESS; RAKSHAN, 2017). A Tabela 4 mostra os efeitos causados pela envoltória no desempenho energético das edificações.

Tabela 4 – Efeitos dos parâmetros da envoltória sobre o desempenho energético.

(continua)

Parâmetro	Desempenho energético
Orientação das fachadas	Em pontos de maior incidência, o consumo de energia tende a ser maior para o resfriamento e menor para o aquecimento. Com ressalva à localização geográfica, fachadas alinhadas ao Norte e Sul possuem maior facilidade de sombreamento e controle, já fachadas Leste e Oeste são mais suscetíveis às variações.

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

Tabela 4 – Efeitos dos parâmetros da envoltória sobre o desempenho energético.

(conclusão)

Parâmetro	Desempenho energético
Sistemas de Vedação Vertical	De acordo com suas propriedades térmicas, paredes externas afetam consideravelmente ambas as cargas para resfriamento e aquecimento, minimizando o consumo energético.
Sistemas de cobertura	Além do controle sobre a incidência da radiação solar no interior da edificação, sistemas de cobertura podem ser utilizados na geração de energia para uso próprio da edificação.
Fechamento das Aberturas	Devido às diferenças climáticas, o impacto das janelas no desempenho energético pode variar consideravelmente de acordo com a localização. Vidros simples e duplos sem qualquer proteção tem pior performance, enquanto que vidros com películas e camadas de gás tendem a um menor consumo de energia para todos os climas.
Dimensão das Aberturas	A incidência da radiação solar no interior da edificação aumenta com a área da janela, mas o consumo de energia geralmente cai devido aos benefícios da luz natural, portanto a área ideal da abertura para o consumo de energia varia dependendo do tipo de janela e do seu fechamento.
Sistemas de Sombreamento	O sombreamento afeta o consumo de energia de três modos: minimização do uso para resfriamento diminuí pelo controle do ganho de calor solar, o consumo de energia para iluminação sobe pelo bloqueio da luz natural, e o uso para aquecimento sobe com ganhos de calor menores.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A envoltória exerce grande influência no desempenho térmico, afetando diretamente o conforto dos usuários e a eficiência energética de uma edificação. Por isso, as decisões do projetista sobre o *design* das edificações são essenciais para garantir o desempenho. Algumas técnicas abordadas no estudo, incluindo envoltória com diferentes composições de sistemas e materiais, tamanhos de aberturas, tipos de vidros e estratégias de sombreamento ideais devem ser levadas em consideração no projeto, considerando também a posição solar, estações do ano e a localização geográfica da edificação.

Este estudo abrange pesquisas em diversas regiões e, portanto, pode ser útil para engenheiros, arquitetos, projetistas e responsáveis técnicos a nível internacional. Os projetos de novos edifícios devem ser pensados para minimizar ou até mesmo eliminar o uso de condicionadores artificiais para aquecer e resfriar os ambientes. Deste modo, buscando a redução no consumo de energia e contribuindo com o meio ambiente que sofre diretamente com as emissões de gases causadores do efeito estufa. Também é necessário que haja uma conscientização por parte dos usuários, visto que a forma como a edificação é utilizada também afeta o desempenho energético.

## 8. REFERÊNCIAS

ALRUBAIH, M. S. et al. Research and development on aspects of daylighting fundamentals. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.21, p.494-505, 2013.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). **2017 ASHRAE Handbook – Fundamentals**. USA, 2017.

Realização

ABES-RS



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações – Partes 1-4. Rio de Janeiro, Brasil, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575**: Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Partes 1-6. Rio de Janeiro, Brasil, 2013.

BAUM, M. Green building research funding: an assessment of current activity in the United States. Washington, DC: **US Green Building Council**, 2007.

BLOK, K. in: Energy Analysis, second ed., **Techne Press**, Amsterdam, p. 28, 2009.

BRENNER, B.L. **Avaliação da utilização de isolantes térmicos no interior das cavidades de blocos cerâmicos componentes de alvenarias de vedação externa para o clima de São Leopoldo, RS**. São Leopoldo, 164 p., Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2017.

CAMERON, R.; TAYLOR, J.; EMMET, M. A Hedera green façade – energy performance and saving under diferente maritime-temperate, winter weather conditions. **Building and Environment**, v.92, p.111-121, 2015.

CAMPOS, N.L.F.; NOGUEIRA, M.C.J.A.; LAMBERT, J.A.; DURANTE, L.C. **Avaliação de desempenho térmico de edificação pública em cuiabá, MT: estudo de caso**. Monografias ambientais – Remoa. Universidade Federal de Santa Maria., v.7, nº 7, p. 1670 – 1688, 2012.

CAPPELLETTI, F.; PRADA, A.; ROMAGNONI, P.; GASPARELLA, A. Passive performance of glazed components in heating and cooling of an open-space office under controlled indoor thermal comfort. **Building and Environment**, v.72, p. 131-144, 2014.

CARLUCCI, S. *et al.*. A review of indices for assessing visual comfort with a view to their use in optimization processes to support building integrated design. **Renewable and sustainable Energy Reviews**, v.47, p.1016-1033, 2015.

CARMODY *et al.* **Window System for High- Performance Buildings**. W. W. Norton and Company, New York, 2004.

CHEN, Y.; LIU, J.; PEI, J.; CAO, X.; CHEN, Q. JIANG, Y. Experimental and simulation study on the performance of daylighting in an industrial building and its energy saving potential. **Energy and Buildings**, v.73, p.184-191, 2014.

CHI D. A.; MORENO, D.; NAVARRO, J. Design optimization of perforated solar facades in order to balance daylighting with thermal performance. **Building and Environment**, p. 47, 2017.

CHI, D. A.; MORENO, D.; NAVARRO, J. Correlating daylight availability metric with lighting, heating and cooling energy consumptions. **Building and Environment**, v.132, p.170–180, 2018.

DESOGUS, G.; MURA, S.; RICCIU, R. Comparing different approaches to in situ measurement of building components thermal resistance. **Energy and Buildings**, v.43, p.2613-2620, 2011.

DIDONÉ, E. L. **A influência da luz natural na avaliação da eficiência energética de edifícios contemporâneos de escritórios em florianópolis/SC**. Florianópolis, 179p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

Realização

 ABES-RS



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

DIXIT, M.K. Life cycle embodied energy analysis of residential buildings: A review of literature to investigate embodied energy parameters. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.79, p.390–413, 2017.

EVOLA, G.; GULLO, F.; MARLETTA, L. The role of shading devices to improve thermal and visual comfort in existing glazed buildings. **Energy Procedia**, v.134, p.346-355, 2017.

FRIESS, W. A.; RAKHSHAN, K. A review of passive envelope measures for improved building energy efficiency in the UAE. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 72, p.485–496, 2017.

GAN, G. Analysis of mean radiant temperature and thermal comfort. **Building Services Engineering Research and Technology**, v.22 (2), p. 95-101, 2001.

GHISI, E.; TINKER, J. A. An ideal window area concept for energy efficient integration of daylight and artificial light in buildings. **Building and Environment**, v.40, p.51-61, 2005.

GHISI, E.; TINKER, J. A.; IBRAHIM, S. H. Área de janela e dimensões de ambientes para iluminação natural e eficiência energética: literatura versus simulação computacional. **Ambiente Construído**, v.5, p.81-93, 2005.

HOELSCHER, M.T., NEHLS, T., JANICKE, B., WESSOLECK, G. Quantifying cooling effects of façade greening: shading, transpiration and insulation. **Energy and Buildings**, v.114, p. 283-290, 2016.

IKEMATSU, P. **Estudo da refletência e sua influência no comportamento térmico de tintas refletivas e convencionais de cores correspondentes**. São Paulo, 134p. Dissertação (Mestrado e Engenharia Civil). Universidade de São Paulo, 2007.

INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGIA (IDAE). **Consumos del Sector Residencial en España**: Resumen de Información Básica. Spain. 2011.

INTERNATIONAL ENERGIA AGENCY (IEA). **Energy Efficiency Indicators**: Fundamentals on Statistics, IEA, 2014.

ISAAC, M.; van VUUREN, D. P. Modeling global residential sector energy demand for heating and air conditioning in the context of climate change. **Energy Policy**, v. 37, p.507-21, 2009.

KUHN, T. E. State of the art of advanced solar control devices for buildings. **Solar energy**, v.154, p.112-133, 2017.

LAMBERTS, R. *et al.* **Desempenho térmico de edificações**. Notas de Aula da disciplina: ECV 5161. LabEEE (Laboratório de Eficiência Energética em Edificações). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016. Disponível em: <[http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ApostilaECV5161\\_v2016.pdf](http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ApostilaECV5161_v2016.pdf)>. Acesso em 03 de abril de 2018.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3. Ed., PW Editores, 2014.

LIN, Y.; TSAI, K.; LIN, M.; YANG, M. Design optimization of office building envelope configurations for energy conservation. **Applied Energy**, v.171, p.336–346, 2016.

Realização



Correalização



Informações:

[qualidadeambiental.org.br](http://qualidadeambiental.org.br)  
[abes-rs@abes-rs.org.br](mailto:abes-rs@abes-rs.org.br)  
(51) 3212.1375





11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

LOPES, D. A. R. Análise do comportamento térmico de uma cobertura verde leve e diferentes sistemas de cobertura. São Paulo, 145p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental). Universidade de São Paulo, 2007.

MANU, S. *et al.* Field Studies of thermal comfort across multiple climate zones for the subcontinent: India Model for Adaptative Comfort. **Building and Environment**, v.98, p.55-70, 2016.

MANZANO-AGUGLIARO, F. *et al.* Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.49, p.736-755, 2015.

MAO, N.; SONG, M.; PAN, D.; LI, Z.; DENG, S. Numerical investigations on the effects of envelope thermal loads on energy utilization potential and thermal non-uniformity in sleeping environments. **Building and Environment**, v.124, p.232-244, 2017.

MARSZAL, A. J. Zero Energy Building—A review of definitions and calculation methodologies. **Energy and Buildings**, v. 43(4), p.971–9, 2011.

McNEIL, M.A.; LETSCHERT, V. E. Future air conditioning energy consumption in developing countries and what can be done about it: the potential of efficiency in the residential sector. **Lawrence Berkeley National Laboratory**, 2008.

MIRRAHIMI S. *et al.* The effect of building envelope on thermal comfort and energy saving for high-rise buildings in hot-humid climate. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.53, p.1508-1519, 2016.

MORRISSEY, J; HORNE, R. Life cycle cost implications of energy efficiency measures in new residential buildings. **Energy and Buildings**, v. 43, p. 915-924, 2011.

NOH-PAT, F.; XAMÁN, J.; ÁLVAREZ, G.; CHÁVEZ, Y. J. ARCE. Thermal analysis for a double glazing unit with and without a solar control film (SnS–CuxS) for using in hot climates. **Energy and Buildings**, v. 43, p. 704–712, 2010.

OKEIL, A. A holistic approach to energy efficient building forms. **Energy Buildings**, v.42, p.1437-1444, 2010.

OLIVEIRA, R. D.; SOUZA, R. V. G.; DA SILVA, R. M. Issues to be improved on the thermal performance standards for sustainable buildings consolidation: an overview of Brazil. **Energy Procedia**, v.111, p.71-80, 2017

OMRANI S. *et al.* Effect of natural ventilation mode on thermal comfort and ventilation performance: full-scale measurement. **Energy and Buildings**, v.156, p.1-16, 2017.

PALMER, C. M.; GENTRY, T. A Better Distinction for Standard Specifications of Low-E Coatings for Diverse Climate Conditions. PLEA. **Anais...**North Carolina at Charlotte USA, 2012.

PANCHABIKESAN, K.; VELLAISAMY, K.; RAMALINGAM, V. Passive cooling potential in buildings under various climatic conditions in India. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.78, p.1236-1252, 2017.

Realização

ABES-RS



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

PEREIRA, C. D. **Influência da refletância e da emitância de superfícies externas no desempenho térmico de edificações**. Florianópolis, 207p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA (PROCEL). Disponível em <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID={82BBD82C-FB89-48CA-98A9620D5F9DBD04}>>. Acesso em 03 de abril de 2018.

SARKAR; BOSE. Exploring impact of opaque building envelope components on thermal and energy performance of houses in lower western Himalayans for optimal selection. **Journal of Building Engineering**, v.7, p.170–182, 2016.

SOLER, D; SALANDIN, A; MICÓ, J. C. Lowest thermal transmittance of an external wall under budget, material and thickness restrictions: An integer linear programming approach. **Energy and Buildings**, p.27, 2017.

SULEIMAN, B. M. Estimation of U-Value of traditional North African houses. **Applied Thermal Engineering**, v.31, p. 1923-1928, 2011.

THALFELDT, M.; KURNITSKI, J.; VOLL, H. Detailed and simplified window model and opening effects on optimal window size and heating need. **Energy and Buildings**, v.127, p.242-251, 2016.

TORGAL, F.P., LOURENCO, P.B., LABRINCHA, J., CHINDAPRASIRT, P., KUMAR, S. **Eco-efficient Masonry Bricks and Blocks: Design, Properties and Durability**. Woodhead Publishing, Sawston, Reino Unido, 2014.

URGE-VORSATZ, D.; PETRICHENKO, K.; ANTAL, M.; STANIEC, M.; LABELLE, M.; OZDEN, E.; LABZINA, E. Best practice policies for low energy and carbon buildings, A Scenario Analysis, **Global Buildings Performance Network**, Budapest, 2012. Disponível em: <[http://www.gbpn.org/sites/default/files/08.CEU%20Technical%20Report%20copy\\_0.pdf](http://www.gbpn.org/sites/default/files/08.CEU%20Technical%20Report%20copy_0.pdf)> Acesso em 17 abr. 2018.

von MEUSEL, M.; WESTPHAL, F. S. Impacto do vidro no conforto térmico de usuários e no consumo de energia em ambientes típicos de escritórios. **4º Seminário Nacional de Construções Sustentáveis, 1º Fórum Desempenho das Edificações – Eficiência Energética do Ambiente Construído**, 10p., 2015.

VOX, G., BLANCO, I., SCHETTINI, E. Green façades to control wall surface temperature in buildings”. **Building and Environment**, v.129, p.154-166, 2018.

WONG, I.; BALDWIN, A. N. Investigating the potential of applying vertical green walls to high-rise residential buildings for energy-saving in sub-tropical region. **Building and Environment**, v.97, p.3-39, 2016.

YU, S. et al. Impact of civil envelope on energy consumption based on EnergyPlus. **Procedia Engineering**, v.121, p.1528-1534, 2015.

ZENGINIS, D. G.; KONTOLEON, K. J. Influence of orientation, glazing proportion and zone aspect ratio on the thermal performance of buildings during the winter period. **Environmental Science and Pollution Research**, v. ,p.1-11, 2017.

Realização

ABES-RS



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375