

Isolamento térmico de fachadas: redução do consumo energético de edificações para Zona Bioclimática 2

Facades thermal insulation: decrease of energetic consumption of buildings on Bioclimatic Zone 2

Rodrigo Spinelli^a

Maurício Henrique Mottin^b

Faustino Patiño Cambeiro^c

Odorico Konrad^d

^aDoutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento, Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado, RS, Brasil.
End. Eletrônico: rspinelli@univates.br

^bBacharel em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado, RS, Brasil.
End. Eletrônico: mhmottin@gmail.com

^cDocente da Escola de Engenharia Industrial, Universidade de Vigo, Vigo, Pontevedra, Espanha.
End. Eletrônico: faustinopc@gmail.com

^dDocente no Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento, Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado, RS, Brasil.
End. Eletrônico: okonrad@univates.br

doi:10.18472/SustDeb.v9n1.2018.25652

Recebido em 12.05.2017

Aceito em 08.01.2018

ARTIGO- VARIA

RESUMO

Atualmente, o cenário mundial energético e ambiental encontra-se em um estado crítico, com demanda de energia cada vez maior e geração ainda dependente de recursos naturais esgotáveis e poluentes. O elevado consumo elétrico direcionado à climatização artificial é o principal alvo do estudo. O intento deste artigo é analisar o isolamento térmico pelo exterior da edificação, *External Thermal Insulation Composite System* (Etics), ante o clima quente da região da Zona Bioclimática 2 no período analisado, por meio de cálculos normativos e de medições de temperaturas em protótipos executados em alvenaria convencional, na cidade de Lajeado, RS, Brasil. Como resultado, obteve-se redução de 81% da transmitância térmica (U), e 68% do consumo energético do protótipo com Etics, interferindo consideravelmente no dimensionamento de condicionadores de ar. A eficiência do sistema ficou evidente quando analisados os gráficos comparativos de temperaturas internas, utilizando o protótipo Etics. Constatou-se temperaturas mais amenas e estáveis, em relação ao ambiente externo e ao protótipo sem isolamento. As análises demonstram uma intervenção consideravelmente positiva do Etics no desempenho térmico para a Zona Bioclimática 2.

Palavras-chave: Isolamento Térmico; Eficiência Energética; Etics; Conforto Térmico.

ABSTRACT

Currently the world energy and environmental scenario is in a critical state, with increasing energy demand. Its generation still depends on exhaustible and polluting natural resources. The high electric consumption directed to the artificial climatization is the main target of the study. The purpose of this paper is to analyze the thermal insulation of the building, External Thermal Insulation Composite System (Etics), against the hot climate of the Bioclimatic Zone 2 region in the analyzed period, through normative calculations and temperature measurements in prototypes executed in masonry, in the city of Lajeado, RS, Brazil. As a result, it was obtained a reduction of 81% in the thermal transmittance (U), and 68% of the energy consumption of the prototype with Etics, which considerably interfered in the design of air conditioners. The system efficiency was evident when the internal temperature comparative graphs were analyzed, with the Etics prototype exhibiting more mild and stable temperatures, compared to the external environment and to the non-insulated prototype. The analyses demonstrate a considerably positive intervention of the Etics in the thermal performance, for Bioclimatic Zone 2.

Keywords: Thermal Insulation; Energy Efficiency; Etics; Thermal Comfort.

1 INTRODUÇÃO

Em 2001, as ameaças de apagão do setor elétrico e o racionamento imposto à sociedade brasileira foram o marco para a promulgação da Lei n.º 10.295, de 17 de outubro de 2001, em que estabeleceu a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, iniciando o incentivo de pesquisas e estudos relacionados à temática de eficiência energética para criação de padrões de referência, visando à eficiência energética em edificações (CARLO, 2008).

Segundo dados do Balanço Energético Nacional (EPE, 2017), o setor residencial apresentou crescimento de 6,2% no consumo final de energia elétrica, se comparado ao ano anterior. Somados, os setores de edificações residencial, comercial e público consomem 41,1% do total da energia elétrica produzida no Brasil, demonstrando a necessidade de soluções técnicas para reduzir o consumo energético. Dentro dessa temática, as instalações de ar-condicionado em edificações residenciais são responsáveis por 20% do consumo energético; em edificações comerciais e públicas são responsáveis, respectivamente, pelo consumo de 47% e 48% da energia elétrica total da edificação. Valores elevados, ao se comparar com o consumo total de energia elétrica, em que os setores residencial e comercial são responsáveis por 40% do total de consumo de toda a energia produzida (ELETROBRAS; PROCEL, 2007).

Segundo Lamberts (2004), há numerosos exemplos por todo o território mundial de habitações antigas, já originalmente projetadas (arquitetura vernacular), para o aproveitamento de recursos naturais e de materiais construtivos visando o melhor conforto do ambiente construído. Porém, com o avanço da Revolução Industrial, o surgimento do concreto armado e um elenco de novos materiais, e posteriormente da arquitetura *Clean* (tem como característica as imensas cortinas de vidro nas edificações comerciais), criou-se um estilo de edifício “estufa”, uma nova tendência arquitetônica, predominando em todo o mundo, sem a preocupação projetual de se adaptar as novas edificações ao clima de cada região. Logo, sistemas de iluminação e de climatização artificial começaram a ser amplamente utilizados, proporcionando ao projetista uma situação cômoda em relação à adequação da edificação ao clima, porém, impactando de forma significativa no consumo de energia voltada para os edifícios, iniciando um processo constante de demanda e ampliação de produção de energia mundialmente.

No entanto, o clima sempre deve ser um condicionante para definição de estratégias a serem utilizadas na construção civil, como a orientação solar, a forma e os materiais a serem utilizados nas edificações. Sistemas construtivos, alternativas de produção e conservação de energia também devem ser analisados para que se obtenha uma construção racional, que utilize os recursos naturais disponíveis, e que esteja inserida nas necessidades atuais de sustentabilidade, destacando a eficiência energética nas edificações.

Um dos recursos utilizados para conservação de energia, principalmente na Europa e EUA, é a aplicação de isolamento térmico pelo exterior da edificação, aplicado pela primeira vez em meados da década de 1940, na Suécia. Esse sistema, denominado como *External Thermal Insulation Composite System*

(Etics), começava a ser comercializado, principalmente em países de clima frio, e posteriormente migrando para a América do Norte, onde também, nos anos de 1970, se firmou como alternativa de isolamento térmico eficiente na construção civil, pois cumpria os requisitos estabelecidos pela política de eficiência energética imposta. (CHAIBEN, 2014).

A legislação brasileira em relação ao desempenho térmico de edificações apresenta duas Normas, a NBR 15220 (ABNT, 2005) – *Desempenho térmico de edificações* e a NBR 15575 (ABNT, 2013) – *Edificações habitacionais: Desempenho*, que apresenta recomendações para os elementos da envoltória da edificação, como a transmitância térmica¹ (U) mínima de coberturas e paredes externas para cada zona bioclimática do território brasileiro, atreladas às estratégias para obtenção de conforto térmico.

Juntamente das Normas citadas o Brasil também possui, de acordo com o Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética (Procel Info), iniciado no ano de 2009, o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviço e Públicas (RTQ-C). No ano de 2010, além da revisão da metodologia de avaliação apresentada no RTQ-C, foi apresentado o Regulamento para Edificações Residenciais (RTQ-R). Portanto, o Brasil está inserido no grupo de países que classificam a eficiência energética das suas edificações.

Para se atingir o conforto térmico do ambiente construído com o menor consumo de energia possível, o isolamento térmico de edificações, por meio da aplicação de materiais de baixa condutividade térmica na cobertura e envoltória do edifício, apresenta-se como fator fundamental para desenvolvimento do conceito de eficiência energética.

Assim, o presente trabalho tem como objetivo principal avaliar a influência da utilização de isolamento térmico no sistema Etics, em relação à redução do consumo de energia da edificação para obtenção do conforto térmico do ambiente construído, por meio de análises comparativas de dois protótipos idênticos localizados na Zona Bioclimática 2 (Figura 1), porém, sendo um com aplicação de isolamento térmico tipo Etics, e outro sem aplicação de isolamento nas fachadas.

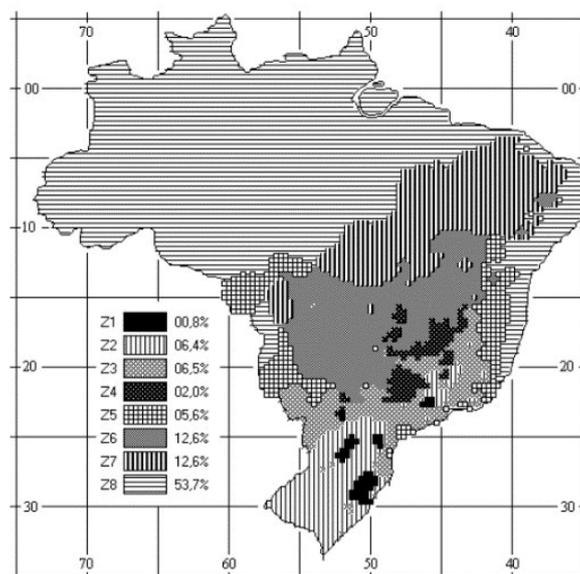


Figura 1 – Zoneamento Bioclimático Brasileiro

Fonte: ABNT, 2005.

1.1 ETICS

O sistema de isolamento térmico pelo exterior, denominado Etics, a partir da terminologia *External Thermal Insulation Composite System*, “destina-se a isolar termicamente as zonas opacas das fachadas” (LNEC, 2010, p. 2).

Conforme Chaiben (2014), para reduzir as perdas térmicas, que consiste na transferência de energia do interior para o exterior do edifício e também os ganhos de calor, o isolamento térmico se mostra fundamental na constituição da fachada das edificações. Chaiben (2014, p. 23) também cita que as “soluções de isolamento térmico mais utilizadas continuam a ser a clássica parede dupla e os recentes sistemas de isolamento pelo exterior, sejam as fachadas ventiladas ou os sistemas tipo Etics”.

O LNEC (2010) descreve que o sistema é aplicado no exterior, em paredes de concreto ou alvenaria, conferindo a estas, além de isolamento térmico, isolamento acústico, impermeabilização, regularização e acabamento final. Também tem como vantagens de uso: melhora do desempenho térmico; correção de pontes térmicas; redução de patologias relacionadas à condensação; proteção da fachada a choques térmicos, causa de fissuras em revestimentos; não reduz a área interior, no caso de reabilitação; e causa mínimo incômodo aos usuários da edificação.

De acordo com Gonçalves e Freitas (2005), na Europa houve um grande crescimento na utilização de isolamento térmico em fachadas pelo exterior, inclusive na reabilitação de edifícios, onde o isolamento térmico existente é insuficiente para cumprimento dos requisitos mínimos dos regulamentos de desempenho térmico, ou apresenta aparência degradada e problemas de estanqueidade. Reforça-se o conceito de isolamento de fachada para os padrões europeus, com o conceito apresentado por Ascenso (2015), em que até o ano de 2020 as edificações novas deverão ser eficientes energeticamente, com balanço próximo do zero, consumindo a mesma quantidade de energia que seja capaz de gerar, e apresenta-se como fator fundamental a adaptação climática das edificações.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente o estudo foi baseado na exposição dos problemas, cenário atual e possíveis soluções relacionadas ao tema, com o objetivo de justificar a utilização de sistemas de isolamento térmico para redução do consumo de energia, visando demonstrar a importância do Etics no conceito de eficiência energética. Posteriormente, já com base teórica suficiente para iniciar a parte experimental do estudo, foi elaborada a aplicação de isolamento térmico tipo Etics em um protótipo localizado na área do Centro Universitário Univates, na cidade de Lajeado/RS.

Os protótipos preexistentes são executados sobre um radier de concreto armado impermeabilizado, alvenarias portantes de blocos cerâmicos maciços sem reboco (11 cm x 5,5 cm x 19 cm, com juntas horizontais e verticais de argamassa de cimento e areia de 1,5 cm de espessura) e laje pré-moldada com vigotas em concreto e telhas cerâmica. Aplicaram-se telhas cerâmicas para o acabamento da cobertura. As áreas de portas e janelas foram desconsideradas para a avaliação do estudo, focando exclusivamente nos elementos opacos de alvenaria (Figura 2), sendo esta a composição básica do protótipo 1.



Figura 2 – Protótipos antes da aplicação do Etics.

Fonte: Elaboração própria.

A aplicação do Etics executada no protótipo 2 seguiu as orientações técnicas prescritas no Documento de Homologação de um sistema Etics em Portugal – DH 911, Weber.Therm Classic – Sistema Compósito de Isolamento Térmico pelo Exterior (LNEC, Portugal, 2010) devido à falta de normas ou homologações sobre o sistema no Brasil, ocorrendo a substituição de materiais referenciados por produtos similares aos utilizados no sistema europeu. O Etics é composto pelo suporte (parede de alvenaria ou concreto armado), camada de base de argamassa colante, isolamento térmico (EPS, XPS e Cortiça), camada de base armada (com fibra de vidro) e acabamento final. Elementos complementares também são necessários, como dispositivos de fixação, cantoneiras, perfis metálicos de arranque, entre outros.

Para execução do isolamento térmico tipo Etics no protótipo em estudo, o material isolante utilizado foi o Poliestireno Expandido (EPS), devido a sua baixa condutividade térmica, peso específico e custo. A composição da alvenaria: a) Base de alvenaria em bloco cerâmico maciço; b) Placas de EPS de 1000mm x 1200mm x 50mm, com suporte de perfil de alumínio com $e = 10\text{mm}$; c) Argamassa ACII Flex: Cimento Portland, minerais com granulometria controlada e aditivos químicos; d) Tela de fibra de vidro com resistência alcalina, malha trançada de 5mm x 5mm e densidade de 160g/m^2 ; e) Parafusos e arruelas; f) Argamassa para acabamento de cimento, cal e areia, produzida *in loco* com traço 1:1:5; h) Tinta branca à base de água.

De acordo com Chaiben (2014), a placa de EPS deve ter dimensão máxima de 1.200mm, a fim de garantir melhor continuidade ao longo da parede, e também para reduzir efeitos de dilatação e contração dos materiais. Também, deve haver descontinuidade vertical das placas. Por se tratar de um experimento aplicado sobre protótipos preexistentes (posteriormente poderá haver a necessidade de retorno de suas características originais), a fixação das placas de EPS foi executada através da fixação mecânica por parafusos para facilitar a remoção do sistema Etics se necessário. Sendo o objetivo do trabalho relacionado ao desempenho térmico, e não à durabilidade do sistema, esse ponto não interfere nos resultados.

Sobre as placas de EPS foi aplicada a camada de base que é composta por um revestimento de argamassa de ligantes sintéticos armado com rede flexível de fibra de vidro. Em relação à armadura em tela de fibra de vidro, o material é uma “rede constituída por fios de fibra de vidro com dupla torção, com proteção contra os álcalis e abertura de malha de 5mm x 5mm” (DH-911, 2010, p. 3), e densidade de $160\text{g/m}^2 (+5\%)$. A tela de fibra de vidro deve ser utilizada no Etics, pois tem como função “restringir as variações dimensionais da camada de base, melhorar a resistência a choques e assegurar resistência à fissuração do revestimento sobre as juntas das placas de isolamento térmico” (CHAIBEN, 2014, p. 43).

Na camada final, o acabamento foi executado com argamassa de cimento, cal e areia, produzida *in loco* com traço 1:1:5, e pintura de tinta à base de água na cor branca (Figura 3).



Figura 3 – Aplicação do sistema Etics (Aplicação EPS; aplicação tela em fibra de vidro; reboco e pintura final).

Fonte: Elaboração própria.

2.1 COLETA DE DADOS

Para análise do desempenho dos protótipos foram coletados dados de temperatura (°C) e percentual de umidade relativa do ar (%). Para coleta dos dados do local da execução dos protótipos, foi utilizada a estação meteorológica Instrutemp ITWH-1080. No interior dos protótipos foram instalados sensores de temperatura e umidade DHT03, conectados a um Arduino Uno, com programação C++. Na análise dos dados coletados e do desempenho térmico dos protótipos utilizou-se planilha eletrônica, e seguiram-se as orientações das normas brasileiras de desempenho térmico de edificações. O cálculo da transmitância térmica (U) foi desenvolvido de acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005) para comprovação do cumprimento dos requisitos mínimos do sistema de vedação vertical externa, expostos na NBR 15575-4 (ABNT, 2013).

As coletas dos dados de temperatura foram realizadas no período de setembro/15 a novembro/15, sendo possível calcular e simular a redução do consumo de energia direcionado à climatização artificial em relação a outro protótipo idêntico, porém, sem Etics. Destaca-se que no local não há equipamento de climatização artificial instalado.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. DESEMPENHO TÉRMICO

Os valores de transmitância térmica (U) foram calculados conforme preconiza a NBR 15220-2 (ABNT, 2005) e foram verificados os requisitos mínimos de acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2013). As variáveis relativas aos materiais, necessárias para realização dos cálculos, estão expostas na Tabela 1. Os dados foram retirados da NBR 15220/2005.

Para determinação da transmitância térmica (U) das paredes externas foi necessário realizar primeiramente o cálculo da resistência térmica do fechamento vertical. A Tabela 1 apresenta a espessura do material, a resistência térmica dos materiais e a área de exposição ao fluxo de calor de cada material. Conforme a NBR 15220 (ABNT, 2005), a área de exposição à transmissão de calor deve ser calculada isolando-se o tijolo e a argamassa para verificação da área de contribuição real de cada material.

Tabela 1 – Variáveis relativas dos materiais para cálculo da resistência térmica.

	Variáveis	Tijolo	Argamassa Assentamento	EPS	Reboco
PROTÓTIPO 1 SEM ETICS	Espessura (m)	0,11	0,11	-	-
	Resistência Térmica (m ² .K/W)	0,1222	0,0957	-	-
	Área de troca térmica (m ²)	0,0105	0,0039	-	-
PROTÓTIPO 2 COM ETICS	Espessura (m)	0,11	0,11	0,05	0,03
	Resistência Térmica (m ² .K/W)	0,1222	0,0957	1,1905	0,0261
	Área exposta ao fluxo (m ²)	0,0105	0,0039	-	-

Fonte: Elaboração própria.

A resistência térmica da parede do protótipo 1 calculada foi de 0,1136 m².K/W, para 11cm de espessura. Acrescenta-se ainda a esse valor a resistência superficial externa (0,04 m².K/W) e interna (0,13 m².K/W) do ar, segundo a NBR 15220-2 (ABNT, 2005). Assim, a resistência total (RT) da parede externa do protótipo 1 foi de 0,2836 m².K/W.

A transmitância térmica (U) é o inverso da resistência térmica total. Portanto, foi obtida para o protótipo 1 uma transmitância térmica de aproximadamente 3,53 W/m².K. O valor calculado é inferior ao requisito

mínimo da NBR 15575, que é de 2,5 W/m².K para a Zona Bioclimática 2, local do desenvolvimento do estudo. Assim, o protótipo 1 não cumpre a exigência normativa.

No protótipo 2, em que foi aplicado o Etics, na parede externa (inicialmente era idêntica ao protótipo 1), com a modificação, houve o aumento da resistência térmica, em que a espessura de 11cm da alvenaria passou a ser de 18cm, devido à aplicação de 5cm de EPS e mais 3cm de reboco.

A partir da aplicação do isolamento térmico, a resistência térmica dos materiais do sistema Etics é somada à resistência da parede externa de alvenaria. Assim, à resistência térmica inicial da parede de 0,2836 m².K/W, acrescentou-se à resistência o valor de 1,2166 m².K/W, chegando a um total de 1,5 m².K/W. Pode-se observar que a contribuição de 5 cm de espessura de EPS (1,1904 m².K/W) no valor final da resistência térmica da parede corresponde a 79% do total do Etics, enquanto 3cm de reboco (0,0261m².K/W) de acabamento tem somente a parcela de 1,74%.

O índice de transmitância (U) térmica do protótipo 2, com aplicação de Etics, foi de 0,67 W/m².K. Assim, o valor alcançado cumpre o requisito mínimo da NBR 15575/2013, que é de 2,5 W/m².K.

O cálculo da carga térmica (Q), que é utilizado para dimensionamento dos sistemas de climatização, foi elaborado conforme equações de Frota e Schiffer (2008). De acordo com os autores, a transferência de calor (q) entre paredes opacas se dá pela equação 1.

$$q = \frac{K\alpha I_g}{h_e} + K(t_e - t_i) \quad (\text{W/m}^2) \quad (1)$$

Assim, multiplicando o valor encontrado na equação 1 pela área exposta ao calor e à radiação solar (área das fachadas), obtém-se a carga térmica do ambiente oriunda da troca de calor entre o meio externo e interno. Na equação 2 não são considerados os ganhos por dissipação de calor de máquinas, pessoas nos ambientes, entre outras formas de ganho de calor.

$$Q = q.A \quad (\text{W}) \quad (2)$$

As variáveis utilizadas na equação 1 e 2 e a legenda estão expostas na Tabela 2. Nessa tabela pode se observar que para o experimento foi determinada a temperatura interna de 25°C como padrão de conforto térmico.

Tabela 2 – Variáveis utilizadas na equação 1.

VARIÁVEIS	P1	P2 ETICS	COBERTURA	UNIDADE
U=K	3,5256	0,6666	2,0054	W/m ² .°C
Ig	variável	variável	variável	W/m ²
α =	0,65	0,3	0,75	-
te =	variável	variável	variável	°C
ti =	25	25	25	°C
he =	25	25	25	W/m ² .°C

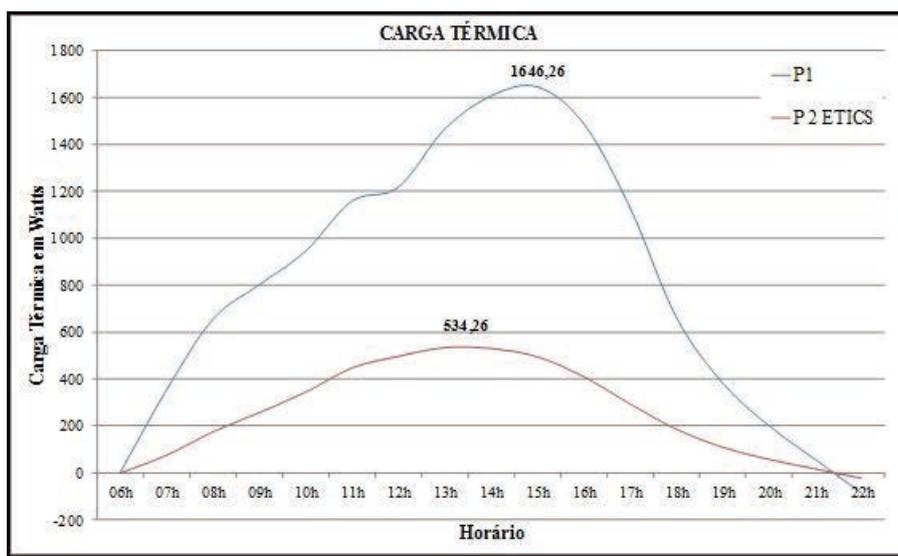
Obs.: U = K = Transmitância térmica; Ig = Radiação incidente; α = Absortância solar; te = temperatura externa real; ti = temperatura interna de conforto; he = Coeficiente de condutância térmica sup. Externa.

Fonte: Elaboração própria.

As Figuras 4 e 5 apresentam a comparação da carga térmica entre os protótipos em análise. Foram desenvolvidos com valores determinados por cálculos com intervalo de tempo de uma hora, no intervalo de tempo das 06h da manhã às 22h, durante o dia 08/08/2015 (data com o maior valor de temperatura externa registrada no mês de agosto de 2015). Utilizaram-se os dados de temperatura externa captados pela estação meteorológica utilizada no estudo, o valor de transmitância térmica (U) previamente calculada, coeficientes como absorvância e condutância térmica de acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005), e dados de incidência de radiação solar de acordo com a tabela de Frota e Schiffer (2007, p. 217).

A Figura 4 demonstra a carga térmica total dos protótipos. A aplicação do Etics resultou em uma redução considerável de carga térmica comparada ao protótipo não isolado.

Figura 4 – Carga térmica nos protótipos em 08/08/2015.



Fonte: Elaboração própria.

O horário com maior carga térmica, ou seja, o ponto crítico do dia foi de 1.646 W (às 15h) no protótipo 1, e de 534 W (às 13h) no protótipo 2, quando a temperatura externa era de 33,8°C e 31,7°C, respectivamente. A diferença de hora crítica se dá ao fato de que, no protótipo isolado, o calor entrou no ambiente com mais facilidade quando a radiação incidente era maior na horizontal (cobertura) do que nas fachadas. Já no protótipo 1, o ponto crítico ocorreu quando o sol incidia com maior intensidade nas fachadas, e como estas não estavam isoladas, o calor era transferido para o ambiente interno com maior facilidade.

Também é importante comparar a influência da carga térmica oriunda somente das fachadas em relação à carga total. Assim apresenta-se a Figura 5, comparando as parcelas de carga das fachadas com a carga térmica total, para visualização da importância do isolamento nas paredes externas.

Na Figura 5, observa-se que a contribuição das fachadas do protótipo 1 na carga térmica total deste é majoritária, sendo que o espaço entre as duas linhas (preta e roxa) corresponde à parcela de contribuição da cobertura. A cobertura de ambos os protótipos possui uma camada de 1cm de EPS sobre a laje, em que a transmitância térmica (U) calculada foi de 2,00 W/m².K. A maior contribuição de carga térmica das paredes em relação à cobertura se deu devido à baixa resistência térmica das paredes externas.

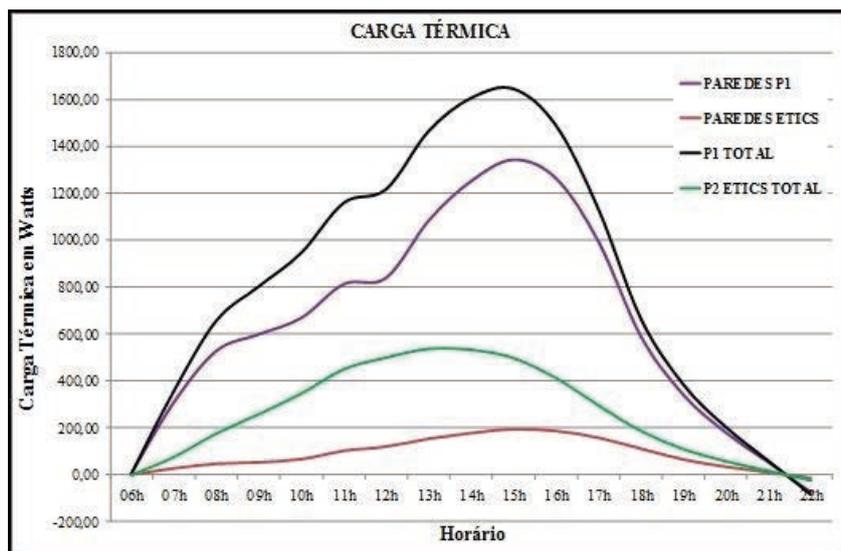


Figura 5 – Contribuição das fachadas na carga térmica total, em 08/08/2015.

Fonte: Elaboração própria.

No protótipo 2 a cobertura tem maior parcela de influência na carga térmica total, na maior parte do dia, ocorrendo a inversão desse fato nas horas em que a radiação incidente na cobertura começa a ficar muito baixa e, conseqüentemente, aumentar nas fachadas. Também, quando já não existe incidência de radiação solar, ocorrendo apenas a passagem de calor por condução, e, assim como as fachadas possuem área maior do que a cobertura, tem maior parcela na passagem de calor do meio externo para o ambiente interno, porém, com valores muito baixos, tendendo a zero.

3.2 COMPARATIVO DE TEMPERATURAS

Com base nos dados mensurados pelos equipamentos utilizados no estudo, foi possível desenvolver gráficos comparativos com as informações de temperatura externa e as informações de temperatura interna de ambos os protótipos, tendo assim a visualização da interferência do sistema Etics na real diminuição da temperatura interna.

Na coleta dos dados no período de 07/08/2015 a 10/11/2015, foram observados os dias em que houve ocorrência de maior calor (maior temperatura externa). Assim, para análise do desempenho térmico diante do calor, foram selecionados os dias considerados críticos. Conforme os comparativos apresentados a seguir, inicialmente ocorreu a análise com influência do vento (ventilação cruzada), e posteriormente com o fechamento das aberturas do protótipo 2, a fim de simular uma situação se havia ganho de calor pela circulação de ar. Para ambos os protótipos desenvolveu-se a simulação de consumo de energia, com aplicação do cálculo de carga térmica, com a utilização de climatização artificial.

Observa-se na Figura 6 que o protótipo 2 teve uma variação de temperatura menor ao longo do dia. De acordo com o padrão de conforto térmico, que considera temperatura de 19°C até 28°C como valores aceitáveis, variando com a umidade e velocidade do ar, o protótipo 1 esteve, no período analisado, 3 horas a mais fora da zona de conforto que o protótipo com isolamento.

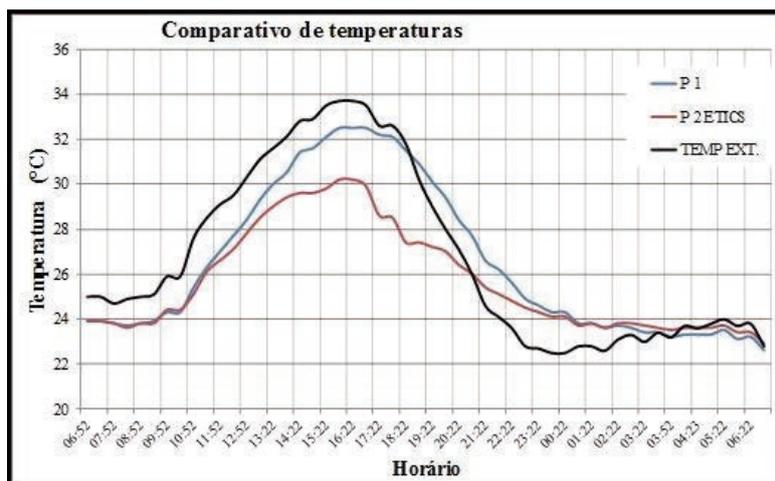


Figura 6 – Comparativo de temperaturas em 08/08/2015, com ventilação cruzada.

Fonte: Elaboração própria.

Nos picos de temperatura do dia 08/08/2015, ocorridos às 16h22, enquanto a temperatura externa foi de 33,7°C, o protótipo 1 registrou 32,5°C, e o protótipo com Etics marcou 30,2°C para temperatura interna. A maior diferença fica evidente às 18h22, quando o protótipo 2 apresenta temperatura interna 4,1°C inferior ao ambiente externo e 3,6°C a menos que o protótipo 1. Nas Figuras 7 e 8, fica visível a diferença de temperatura de pico dos dias e a manutenção da temperatura interna na zona de conforto no protótipo em que foi aplicado isolamento térmico tipo Etics, quando se faz o fechamento das entradas de ar.

Conforme representado na Figura 7, o protótipo 2 esteve 8,8°C abaixo da temperatura externa e 4°C abaixo do protótipo 1, comprovando a funcionalidade do sistema de isolamento térmico aplicado. Analisando a oscilação térmica, a eficiência do isolamento térmico é plenamente satisfatória. Enquanto a temperatura externa variou de 17,4°C (06h22) a 32,4°C (15h22) em um total de 15°C, a oscilação da temperatura interna do protótipo 2 foi de 18,5°C (06h22) a 23,9°C (17h22) em um total de 5,4°C. O protótipo 1 com ventilação natural teve uma variação de temperatura interna de 18°C a 27,8°C, total de 9,8°C.

Na Figura 8, apresentando dados de 09/11/2015, o desempenho térmico do protótipo 2 também se apresentou satisfatório. A manutenção da temperatura interna em condições de conforto durante todo o período reduziu a zero a necessidade de utilização de equipamento para climatização artificial, dependendo apenas de fechamento e aberturas para que o ambiente interno esteja em níveis de conforto.

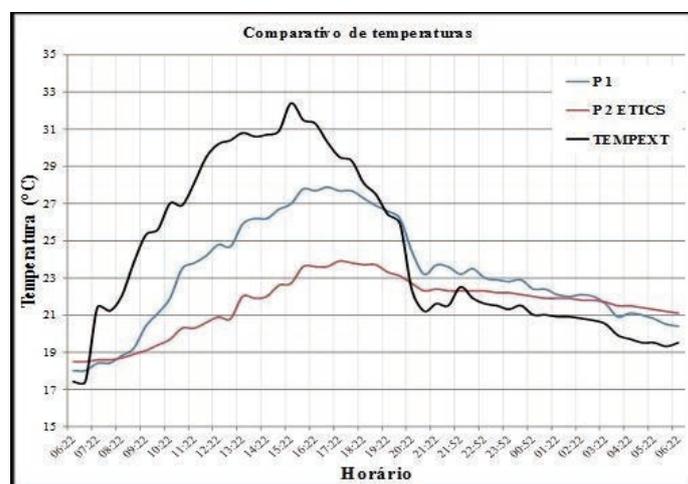


Figura 7 – Comparativo de temperatura com aberturas vedadas em 08/11/2015.

Fonte: Elaboração própria.

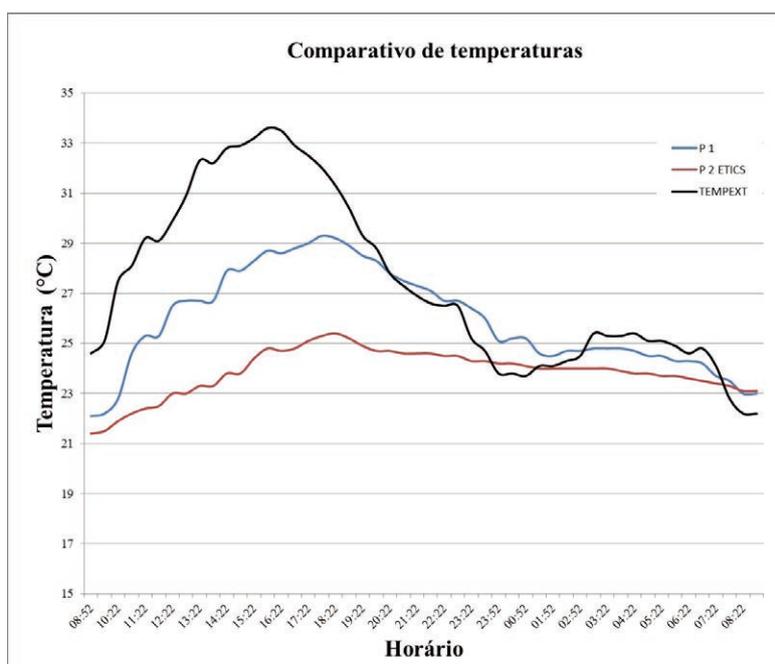


Figura 8 – Comparativo de temperaturas com aberturas vedadas em 09/11/15.

Fonte: Elaboração própria.

A oscilação térmica no interior do protótipo 2 foi de apenas 4°C durante todo o período de 09/11/2015, diante da variação de 11,2°C da temperatura externa e de 7,2°C do protótipo 1. A diferença de temperatura de pico foi de grande amplitude, registrando 9,1°C mais baixa que a temperatura externa às 14h52, e 4,1°C em relação ao protótipo 1. Percebe-se nitidamente a maior eficiência do isolamento térmico Etics no protótipo quando a edificação está com as janelas fechadas. A pequena variação das temperaturas internas do protótipo 2 nos dias 08 e 09 de novembro demonstra que o sistema reduz consideravelmente o efeito da temperatura externa sobre o ambiente habitado, assim, um sistema de isolamento térmico de fachadas que atende às normas brasileiras.

3.3 CONSUMO DE ENERGIA

O dimensionamento de ar-condicionado necessário para cada protótipo foi elaborado a partir da carga térmica média com os dados do dia 08/08/2015. A média diária foi encontrada por meio da área sob a curva do gráfico Carga térmica x Horário, desenvolvido pelo *software AutoCad*.

Com a potência média encontrada, foi possível verificar o consumo aproximado de energia elétrica dos protótipos para fins de conforto térmico. É importante salientar que o ambiente interno de cada um dos protótipos possui área útil de 3,37 m², fazendo com que os custos com climatização pareçam baixos. Assim, é importante analisar o percentual de economia.

Protótipo 1

Por meio da carga térmica média do dia, calculou-se a média de consumo por hora de funcionamento do ar-condicionado, conforme Figura 9.

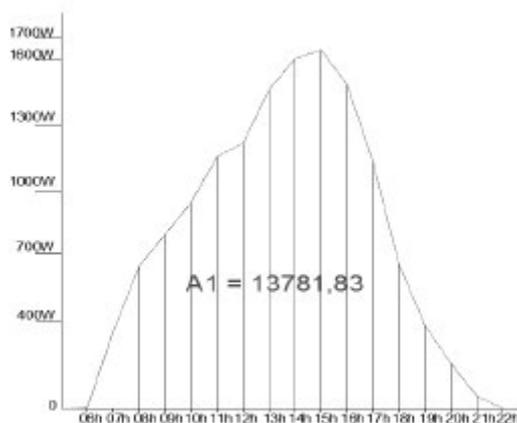


Figura 9 – Consumo energético Protótipo 1.

Fonte: Elaboração própria.

A partir da área do gráfico, segue o cálculo da potência média:

$$Pot = \frac{13781,83W.h}{18h} = 766 W \quad (3)$$

A potência de 766 W corresponde a um equipamento de 2.613 BTU/h, sendo equivalente a um consumo de 261,3 W em uma hora de funcionamento do equipamento de climatização artificial. Como referência de valor para o custo do Kw.h, foi utilizada tarifa da concessionária de energia elétrica AESSul, mês base de novembro de 2015.

O custo médio por hora do dia, considerando as cargas térmicas em 18h do dia, seria de:

$$Custo = 0,261Kw.h \times R\$ 0,75/Kw.h = R\$ 0,20$$

Considerando o uso de equipamento de ar-condicionado durante 10h em um dia, o custo seria de R\$ 2,00 por dia e em um mês com 20 dias de uso, R\$ 40,00 por mês.

Protótipo 2 – Etics

A média de consumo no protótipo 2 foi calculada a seguir, a partir da área sob a curva da Figura 10. A carga térmica de 245,28 W corresponde a 837 BTU/h de potência de ar-condicionado, sendo equivalente a um consumo de 83,7 W em uma hora de funcionamento do ar-condicionado.

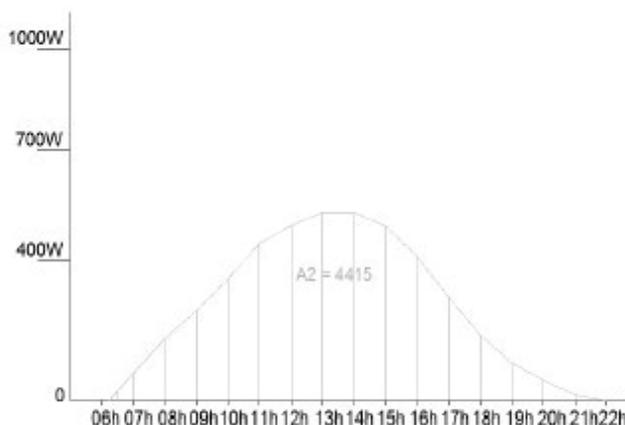


Figura 10 – Consumo energético Protótipo 2.

Fonte: Elaboração própria.

A partir da área do gráfico, segue o cálculo da potência média: t

$$Pot = \frac{4415 \text{ W.h}}{18h} = 245,28 \text{ W} \quad (4)$$

O custo médio por hora do dia, considerando as cargas térmicas em 18h do dia, seria de:

$$Custo = 0,0837 \text{ Kw.h} \times R\$ 0,75/\text{Kw.h} = R\$ 0,06$$

Considerando o uso de equipamento de ar-condicionado durante 10h em um dia, o custo seria de R\$ 0,60 por dia e em um mês com 20 dias de uso, R\$ 12,00 por mês.

A Tabela 3 apresenta resumidamente as análises dos cálculos relativos ao desempenho térmico e consumo de energia. Destaca-se que a eficiência do sistema aplicado no protótipo 2 é significativa quando comparado ao protótipo 1.

Tabela 3 – Resumo de cálculos térmicos.

	P1	P2 ETICS	VALOR MÁX. NBR 15575/2013	REDUÇÃO DE P1 PARA P2
TRANSMITÂNCIA TÉRMICA (W/m ² .K)	3,53	0,67	2,5	~81%
CARGA TÉRMICA-PONTO CRÍTICO EM 08-08-2015(W)	1646,26	534,26	-	~67%
CONTRIBUIÇÃO MÁX. FACHADA NA CARGA TÉRMICA TOTAL EM 08-08-2015 (W)	1344,48(fachadas) de 1646,26 (total)	193(fachadas) de 495 (total)	-	~43%
CONSUMO DE ENERGIA HORA CRÍTICA (Kw.h) E CUSTO MÉDIO EM 08-08-2015 (RS)	0,535/R\$ 0,40	0,182/R\$ 0,14	-	~65%
CONSUMO DE ENERGIA MÉDIO (Kw.h) E CUSTO MÉDIO EM 08-08-2015 (RS)	0,261/R\$ 0,20	0,0837/R\$0,06	-	~70%
CUSTO EM UM MÊS DE USO DE AR-CONDICIONADO (10h p/ dia – 20 dias p/ mês) com base em 08-08-2015.	R\$ 40,00	R\$ 12,00	-	~70%

Fonte: Elaboração própria.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Verificou-se grande interferência do isolamento da fachada para o resultado de cálculo da carga térmica no ambiente interno, devido à redução elevada do índice de transmitância térmica (U) das alvenarias, após a aplicação do sistema Etics. No dimensionamento de ar-condicionado necessário para os protótipos obteve-se uma diferença considerável entre ambos, chegando a 68% de redução do consumo energético do protótipo 2, em relação ao protótipo 1.

Os gráficos comparativos de temperaturas internas demonstraram duas características satisfatórias do protótipo isolado diante do desempenho térmico em dias com temperatura elevada: a manutenção da temperatura em níveis de conforto com pouca oscilação e a amplitude da diferença de temperatura de pico, ou seja, das máximas diárias, sempre registrando as temperaturas do protótipo Etics mais amenas, ao se comparar com o protótipo 1, e amplamente mais baixas que a temperatura externa. Ao se simular o cálculo de carga térmica e consumo de equipamento para climatização, assim, se confirma a eficiência do sistema.

Com as análises finalizadas, observou-se que a aplicação de isolamento térmico pelo exterior interferiu positivamente na eficiência energética da edificação, contribuindo para a redução do consumo energético do protótipo a fim de atingir temperaturas de conforto térmico.

O desenvolvimento do estudo limitou-se à estrutura preexistente dos protótipos, que servem como base para diferentes estudos relacionados ao comportamento térmico de edificações. As adaptações são executadas de forma a serem removidas de forma facilitada, sem a necessidade de mão de obra especializada. Assim os resultados obtidos com o estudo podem ser inseridos em ferramentas computacionais e utilizados em análises comparativas com diferentes sistemas construtivos, variação de radiação solar, espessuras de paredes, e materiais para aplicação em isolamento térmico de fachadas.

Destaca-se também a possibilidade de prosseguimento dos estudos, partindo da aplicação de novos materiais para testar isolamento térmico, com a utilização de elementos naturais.

NOTA

¹Trocas térmicas superficiais (por convecção e radiação) e as trocas térmicas por meio do material (por condução). Portanto, engloba as trocas de calor referentes a um determinado material segundo a espessura da lâmina, o coeficiente de condutividade térmica, a posição horizontal ou vertical e, ainda, o sentido do fluxo (FROTA; SHIFFER, 2007, p. 38).

REFERÊNCIAS

ANDREIS, C. **Influência de fachadas envidraçadas no consumo de energia de um edifício de escritórios em diferentes cidades brasileiras**. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, UFSC. Florianópolis, 2014.

ASCENSO, R. Nearly zero energy buildings - O que vai mudar com os NZEB? **Edifícios e Energia**. Algés, Portugal. 2016. Disponível em: <<http://www.edificioseenergia.pt/pt/a-revista/artigo/tema-de-capa-1>>. Acesso em: 20 out. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 15220** – Desempenho Térmico de Edificações. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 15575** – Edifícios habitacionais - Desempenho – Parte 1. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 16401** – Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários – Parte 1. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (ABRAPEX). **Manual de utilização EPS na construção civil**. São Paulo, 2006.

ASSOCIAÇÃO IBÉRICA DE XPS (AIPEX). **Soluções de Isolamento Térmico com Poliestireno Extrudido (XPS) para uma construção sustentável**.

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DOS FABRICANTES DE ARGAMASSAS E ETICS (APFAC). Laboratório de Física das Construções (LFC). **Relatório - LFC-IC-282A-2014**: patologias de sistemas de isolamento térmico pelo exterior tipo ETICS. Porto, Portugal, 2014.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional – BEN 2014**. Relatório Final. Brasília, 2014.

CARLO, J. C. **Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envolvimento de Edificações não residenciais**. Tese do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC. Florianópolis, 2008.

CHAIBEN, C. A. P. B. **Sistema de isolamento térmico de fachadas pelo exterior (Etics): avaliação preliminar de viabilidade para sua aplicação no Brasil**. 2014. Monografia (Especialização em Construções Sustentáveis) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

- CHEMIN, B. F. **Manual da Univates para trabalhos acadêmicos: planejamento, elaboração e apresentação.** 3. ed., Lajeado: Univates, 2015.
- COSTA, E. C. **Física aplicada à construção civil: conforto térmico.** 4ª ed., São Paulo, 2003.
- CREDER, H. **Instalações de Ar-Condicionado.** 6. ed., Rio de Janeiro, 2010.
- ELETROBRAS; PROCEL. **Avaliação dos Resultados do Procel 2007.** Rio de Janeiro, 2008. 191 p.
- EPE. Consumo mensal de energia elétrica por classe (regiões e subsistemas) – 2004-2017. Brasília: Ministério de Minas e Energia, maio de 2017. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/mercado/Paginas/sumomensaldeenergiael%C3%A9tricaporclasse\(regi%C3%B5esesubistemas\)%E2%80%932011-2012.aspx](http://www.epe.gov.br/mercado/Paginas/sumomensaldeenergiael%C3%A9tricaporclasse(regi%C3%B5esesubistemas)%E2%80%932011-2012.aspx)>.
- FREITAS, V. P.; GONÇALVES, P. F. **Isolamento térmico de fachadas: reboco delgado armado sobre poliestireno expandido.** Porto, Portugal: FEUP, 2005.
- FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual do conforto térmico.** 8. ed., São Paulo, 2007.
- INCROPERA, F. P. et al. **Fundamentos de transferência de calor e de massa.** Rio de Janeiro, 2011.
- KEELER, M.; BURKE, B. **Projeto de edificações sustentáveis.** Porto Alegre, 2010.
- LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL. **Documento de Homologação DH 911. Weber. Therm Classic: Sistema Compósito de Isolamento Térmico pelo Exterior,** Lisboa, Portugal, 2010. Disponibilizado pelo Instituto Politécnico de Leiria. Leiria, Portugal.
- LAMBERTS, R. **Eficiência energética na arquitetura.** 2. ed., São Paulo, 2004.
- _____. **Conforto e Stress térmico.** Laboratório de Eficiência Energética de Edificações. Florianópolis: UFSC, 2014.
- LIA, L. R. B.; QUITES, E. E. C. **Introdução à transferência de calor: Notas de aula,** 2001.
- SCHMID, A. L. **A ideia de conforto: reflexões sobre o ambiente construído.** Curitiba, 2005.
- SCHMIDT, F. W. **Introdução às Ciências Térmicas: termodinâmica, mecânica dos fluidos e transferência de calor.** São Paulo, 2004.