2020 ENTAC
XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais
Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

AVALIAÇÃO DO EFEITO DA VARIAÇÃO DO PADRÃO DE USO NO CONSUMO DE AR CONDICIONADO EM EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIO[1]

CELLA, Alexandra Marsaro (1); SILVEIRA, Vinicius de Castro (2); WESTPHAL, Fernando Simon (3)

(1) Universidade Federal de Santa Catarina, alexandramcella@gmail.com
(2) Universidade Federal de Santa Catarina, vinidecastroo@gmail.com
(3) Universidade Federal de Santa Catarina, fernando.sw@ufsc.br

RESUMO

Com a crescente demanda por edificações comerciais com padrões elevados de eficiência energética, o setor da construção civil se atualiza e atende a tais expectativas. Entretanto, é um assunto complexo, onde são abordadas diversas variáveis como: incidência de radiação solar sobre a edificação, sistemas de condicionamento de ar e sistemas construtivos. Além disso, um tema pouco discutido é até que ponto o padrão de ocupação de edificações comerciais afeta o desempenho energético das estratégias construtivas adotadas na fase de projeto. O consumo de energia de sistemas de condicionamento de ar pode sofrer grande variação de acordo com a rotina de ocupação da edificação. O presente estudo visa avaliar como a variação do padrão de uso da edificação pode afetar o desempenho de estratégias de eficiência energética. Para tal, foi simulado no software EnergyPlus quatro possibilidades de padrão de ocupação com duas tipologias de fachadas envidraçadas (vidros laminados e insulados). Os resultados demonstraram uma variação de consumo entre as estratégias adotadas quando variado o padrão de ocupação, além disso foi possível observar que em rotinas de uso somente diurno apresentou um consumo inferior se comparado a edificação ocupada em dois períodos.

Palavras-chave: *Simulação. HVAC. Padrão de ocupação. Consumo energético.*

ABSTRACT

With the higher demand for commercial buildings with more energy efficiency, the construction sector is updating itself and meeting such expectations. However, it is a complex subject, where several variables are examined, such as solar radiation incidence on the building, air conditioning systems, and construction systems. Besides, there is a lack of discussion about the extent to which the occupation pattern of commercial buildings affects the energy performance of the constructive strategies adopted in the design phase. The energy consumption of HVAC systems undergoes great variation according to the building occupation routine. This study aims to evaluate how the variation in the pattern use can affect the performance of energy efficiency strategies. To this objective, three types of occupancy patterns and two types of glazed façades, laminated and insulated glazing, were simulated in the EnergyPlus. The results showed a variation in consumption among the strategies adopted

[1] CELLA, Alexandra M.; SILVEIRA, Vinicius C.; WESTPHAL, Fernando S. Avaliação do efeito da variação do padrão de uso no consumo de ar condicionado em edifícios de escritório. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

when the use pattern varied and it was also possible to observe that in pattern of daytime use only the consumption was lower when compared to the building occupied in two periods.

***Keywords**: Simulation. HVAC. Occupancy patterns. Energy consumption.*

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, engenheiros, arquitetos e pesquisadores enfrentam a necessidade de entregar edifícios altamente eficientes e isso tem exigido muitos esforços, principalmente pela ampla gama de parâmetros que afetam o consumo de energia. Os principais fatores determinantes do uso de energia em edifícios são: clima, envoltória, qualidade do ar interna, característica do sistema de energia, operação e manutenção e o comportamento dos usuários (IEA, 2016).

O setor comercial despende 50% do consumo de energia para os sistemas de climatização (PROCEL, 2008). As cargas internas, associadas aos fatores já mencionados, têm grande influência no consumo desse sistema em específico. As cargas internas são caracterizadas pelo sistema de iluminação, equipamentos e pela presença de usuários, fatores esses orientados pelas horas de uso da edificação.

Existe uma preocupação crescente com as rotinas de uso e operação das edificações. Investigações do impacto de diferentes padrões de uso de energia demonstram que uma maior intensidade de carga de ocupantes pode resultar em menores efeitos da envoltória no consumo de energia (YOUSEFI; GHOLIPOUR; YAN, 2017).

Estudos como de Geun, Hyo e Jeong (2011) demonstram que existem diferenças no consumo de energia para resfriamento entre rotinas de ocupação diferentes e concluem que a ocupação pode ser um fator crucial na predição de uso de energia em edificações.

Ahmed *et al.* (2017) propuseram diversos padrões de ocupação, iluminação e equipamentos para 10 tipos de edificações para modelagem da emissão de calor pela ocupação. Os resultados, considerando as condições climáticas de Helsinque (Finlândia), demonstraram que valores elevados de ocupação se referem a uma carga de calor interna maior e, assim, aumentam a carga de resfriamento. Quando compararam porcentagens de ocupação diferentes, encontraram picos de energia de resfriamento 4,3 e 12,8% maiores.

Entendendo que os padrões de ocupação geram efeitos no consumo de energia dos edifícios, estudos buscaram quantificar a influência das rotinas de uso e ocupação de edifícios de escritório em climas variados, bem como diferentes tamanhos.

Azar e Menassa (2012) estudaram a sensibilidade dos padrões de ocupação em simulações energéticas de edifícios de escritório em cinco zonas climáticas dos Estados Unidos. Dentre os resultados, por meio de análises de sensibilidade, puderam verificar que em edifícios de grande porte a ocupação tem maior coeficiente de sensibilidade devido à grande proporção do uso de energia. Além disso, em climas mais quentes, o coeficiente é mais alto em função do calor gerado por essas cargas internas.

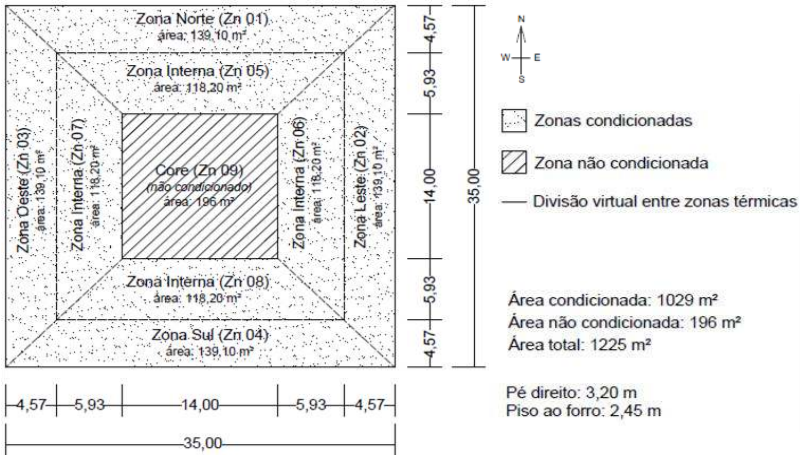
Entretanto, os estudos apresentados deixaram uma dúvida referente à variação das horas de utilização com relação às diferentes rotinas, como quantidade de horas, porcentagem de ocupação e períodos do dia.

Assim, essa pesquisa tem como foco as rotinas de utilização da edificação. Para isso, foram avaliados os efeitos da variação do padrão de uso no consumo de ar condicionado em um pavimento-tipo com características termo-físicas fixadas. O objetivo foi analisar como diferentes rotinas de ocupação afetam o desempenho de estratégias de eficiência energética. O modelo foi submetido a variação de dois tipos de vidro e quatro *schedules* de ocupação por meio de simulação computacional no software EnergyPlus. Os vidros foram alterados para testar se a mudança no padrão de ocupação do prédio exerce influência na participação da carga térmica da envoltória.

2 MÉTODO

Este estudo toma como base a simulação de um modelo de pavimento tipo de um edifício de escritório (Figura 1), adotando o modelo geométrico utilizado em estudos anteriores (LAM; HUI, 1996; c). O modelo foi simulado com arquivo climático de Florianópolis, na zona bioclimática 3 de acordo com a NBR:15220-3 (ABNT, 2005).

Figura 1 - Planta baixa esquemática



Fonte: Os autores

Dois modelos de fachadas foram estudados. Primeiramente considerou-se um vidro laminado (U = 5,80 Wm².K), fator solar 40%, porcentagem de área de janela (WWR) 40%. Após isso, avaliou-se a mesma edificação com vidro insulado (duplo com câmara de ar, U = 2,80 Wm².K) fator solar 40%, porcentagem de área de janela (WWR) 40%.

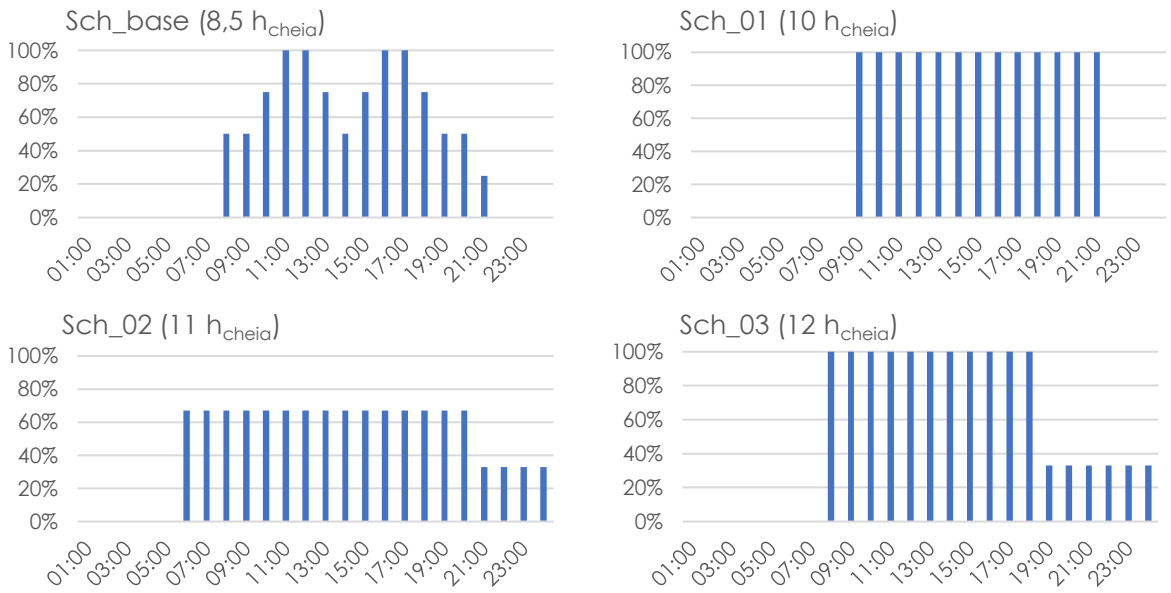
Os valores de ganhos internos com cargas de equipamentos, iluminação e densidade de ocupação foram definidos conforme a ABNT NBR 16401-1:2008 (ABNT, 2008). Buscou-se avaliar um escritório com alta densidade de carga, com 21,5 W/m² de equipamentos e 7,7m²/pessoa. Para a densidade de iluminação adotou-se 16W/m² de potência dissipada.

A atividade metabólica dos ocupantes também gera dissipação de calor, por isso, a taxa foi estabelecida de acordo com a ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2017). Foi adotado, o valor de atividade de "arquivamento sentado", resultando em 126 W/pessoa.

2.1 Padrão de uso e ocupação

A Figura 2 detalha as rotinas de ocupação (com prefixo Sch, do termo *schedule*, adotado no programa EnergyPlus) utilizadas para as simulações. A rotina de disponibilidade do sistema de condicionamento de ar seguiu a presença dos usuários. Foram desenvolvidos três padrões de ocupação variando os horários, bem como a porcentagem de ocupação.

Figura 2 - Padrões de ocupação



Fonte: Os autores

2.2 Características construtivas

Foram definidos parâmetros baseados no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C) (INMETRO, 2010), atendendo os pré-requisitos para se obter o nível A de eficiência energética.

De acordo com o regulamento, as paredes externas devem possuir, obedecendo ao parâmetro mais restritivo, transmitância limite de 1,0 W/m².K e absortância de 0,50. Assim, é possível definir uma composição para a envoltória. Buscando ser o mais próximo da realidade construtiva e como já utilizado no estudo de Pinto (2017), optou-se pelo descrito na Tabela 1.

Tabela 1 - Características construtivas

	Composição	**Transm. (U)**	**Absort. (α)**
Paredes externas	Placa de gesso (12,5mm) + Lã de vidro (50mm) + Placa Cimentícia (10mm)	0,77 W/m²K	α=0,297
Paredes internas	Placa de gesso (15mm) + Lã de Vidro (50mm) + Placa de gesso (15mm)	0,69 W/m²K	α=0,297
Forro	Placa de gesso (15mm)	1,40 W/m²K	α=0,297
Laje (piso/teto)	Reboco (25mm) + Laje concreto (200mm) + Reboco (25mm) + Piso Cerâmico (7,5mm)	2,74 W/m²K	Reboco: α=0,297 Piso: α=0,418

Fonte: Os autores

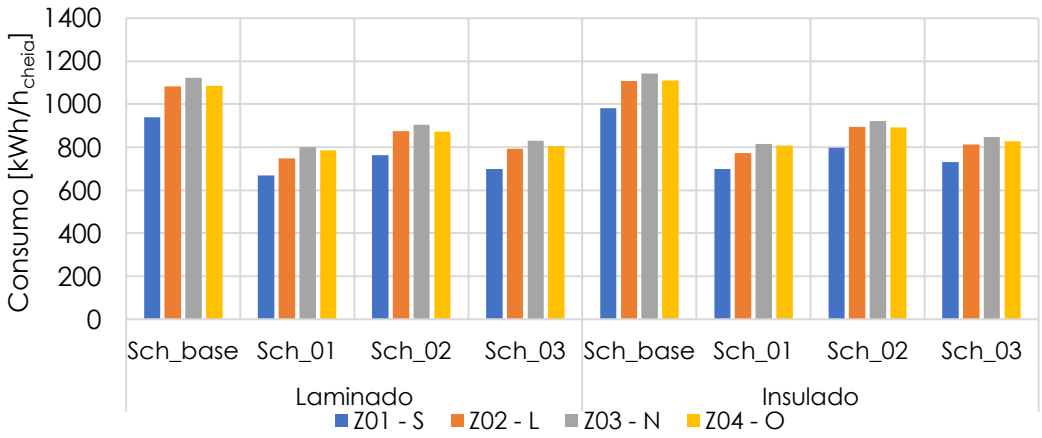
2.3 Sistema de condicionamento de ar

Foi utilizado um sistema do tipo PTHP (*Packaged Terminal Heat Pump*), com COP 3,0 W/W (*Coefficient of Performance*). O *setpoint* de temperatura foi configurado para acionamento de aquecimento em 22°C e de resfriamento em 24°C, atendendo ao recomendado pela ABNT NBR 16401 (ABNT 2008).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 3 representa os resultados de consumo de energia das zonas térmicas periféricas do modelo para os vidros laminado e insulado, de acordo com as schedules determinadas. Como as schedules variam o número de horas de ocupação do prédio, os dados de consumo foram normalizados em kWh por hora cheia de ocupação. O indicador hora cheia refere-se à quantidade de horas equivalentes à ocupação 100%. Por exemplo, 2 horas com 50% de ocupação correspondem a 1 hora cheia. Os resultados mostram que a fachada norte é a que possui maior consumo de energia em todos os modelos. As schedules com mais horas de ocupação parcial do prédio, sch_1 e sch_3, são as que resultaram em menor consumo por hora cheia, sugerindo que para as outras rotinas, a ocupação parcial do prédio tende a manter o sistema de condicionamento de ar numa situação de eficiência mais baixa, com consumo mais alto.

Figura 3 - Consumo de energia para schedules de uso diurno e noturno para vidro laminado



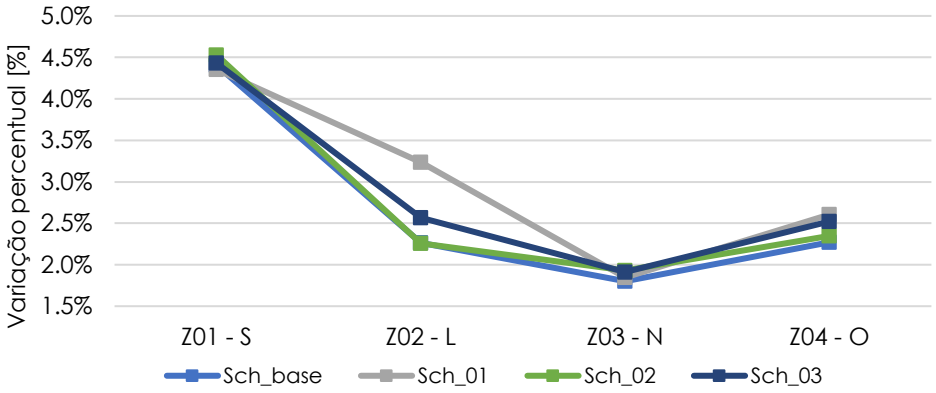
Fonte: Os autores

Avaliando o gráfico, verificou-se que o vidro insulado provoca um consumo ligeiramente maior de energia se comparado com o modelo com vidro laminado, como já verificado em outros estudos (WESTPHAL; ANDREIS, 2016; PINTO, 2017). Ainda, é possível observar um comportamento similar para os dois tipos de vidro, mesmo com as variações de rotinas de ocupação aplicadas ao modelo.

A Figura 4**Erro! Autoreferência de indicador não válida.** demonstra a diferença percentual entre o consumo de energia dos modelos com vidro insulado e laminado. Os resultados são apresentados para cada zona térmica periférica, conforme orientação solar da fachada, e para cada schedule simulada. Na verdade, o vidro insulado representou um acréscimo no consumo de energia em todas as situações simuladas. Percebe-se que há uma baixa variação nesse acréscimo em cada zona térmica, indicando que as variações nos padrões de ocupação do prédio não provocaram diferenças na estimativa de percentual de economia (ou acréscimo) de

energia. Apenas na fachada leste identificou-se um acréscimo percentual maior quando os modelos foram simulados com a Sch_1, que considera o prédio 100% ocupado por 10 horas seguidas.

Figura 4 - Diferença percentual entre os tipos de vidro para cada schedule

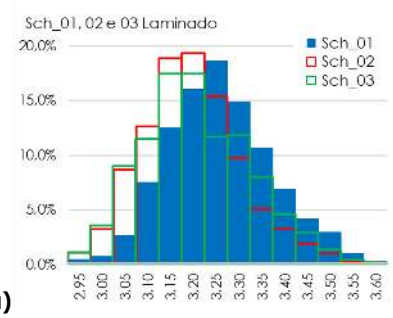


Fonte: Os autores

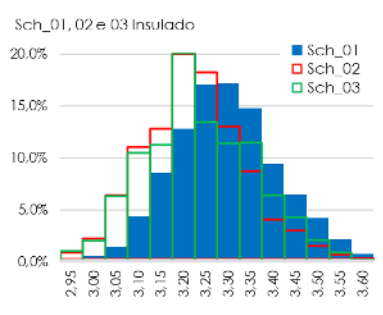
Com o objetivo de avaliar as variações observadas no consumo de energia por hora de ocupação, buscou-se entender a variação do coeficiente de performance (COP) do sistema de climatização. A Figura 5 apresenta os histogramas de COP do sistema de condicionamento de ar da Zona 03 (fachada norte) comparando os dois tipos de vidro avaliados na pesquisa. Os gráficos demonstram o percentual de horas que o sistema de refrigeração operou em cada faixa de coeficiente de performance. Valores mais baixos desse coeficiente significam menor eficiência do sistema e, consequentemente, maior consumo de energia. Logo, a avaliação do COP permite verificar o comportamento do sistema de climatização de acordo com as alterações de horários de ocupação e estratégias de eficiência energética.

Os gráficos "a" e "b" mostram que a Sch_1, que possui apenas horas cheias de ocupação, ou seja, sem ocupação parcial do prédio, resulta e maior ocorrência de COP mais alta, acima de 3,20. Embora essa mudança de perfil na eficiência do sistema de climatização não tenha resultado em grandes alterações na economia de energia para o tipo de vidro, esse comportamento pode afetar simulações nas quais o foco seja o próprio sistema de condicionamento de ar. Os gráficos "c", "d" e "e" mostram que há um deslocamento do perfil de frequência de ocorrência do COP para valores mais altos, nos modelos simulados com vidro insulado para cada uma das schedules avaliados além do caso base.

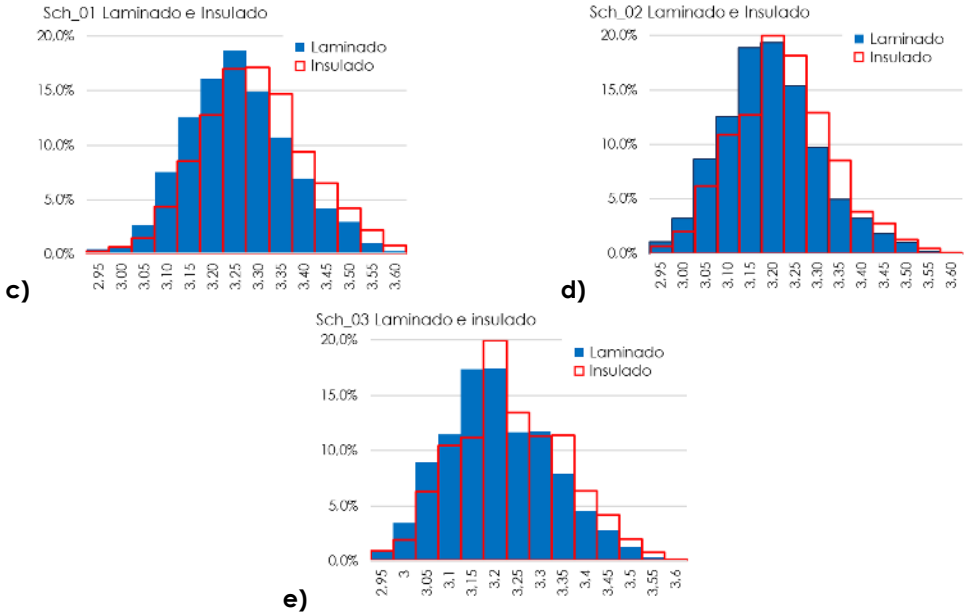
Figura 5 - Histogramas de COP do sistema de climatização para zona norte



a)



b)



Fonte: Os autores

A schedule 01, com menor consumo por hora de ocupação do modelo, foi a que apresentou os melhores COPs, pois o sistema de climatização se manteve operante próximo da plena carga por mais tempo.

As schedules 01 e 03 resultam no mesmo número de horas cheias, mas a schedule 03 possui horas de ocupação parcial, o que resultou em mais registros de valores baixos de COP ao longo do ano. Os resultados para os modelos com a schedule 02 comprovam essa teoria, pois essa rotina, com mais horas de ocupação parcial, foi a que resultou em valores de COP mais baixos, e maior consumo de energia por hora.

4 CONCLUSÕES

Por meio dos testes realizados foi possível verificar se há a influência de diferentes padrões de ocupação na estimativa de economia de energia por simulação computacional. Observou-se que a simulação do modelo com diferentes rotinas de ocupação não resultou em diferenças significativas de economia de energia quando se alterou o vidro da fachada da edificação. Mas há uma variação no coeficiente de performance do sistema de condicionamento de ar, indicando que esse sistema é o mais afetado. Estudos de eficiência energética relacionados a esse sistema devem demandar maior preocupação com a representação dos padrões de ocupação mais próximos da realidade.

Essa investigação feita de forma preliminar, visa ser o início de uma pesquisa sobre como os padrões de ocupação podem ter impactos nas edificações e em medidas de mitigação de consumo de energia, seja em melhorias na envoltória da edificação ou em medidas de eficiência energética de sistemas. A pesquisa pretende verificar se é possível adotar um padrão de uso genérico a ser utilizado em textos normativos ou regulamentos sobre avaliação de desempenho energético de edificações por meio de simulação computacional.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Ao Laboratório de Conforto Ambiental (LabCon) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220 - 3**: Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 16401-1:** Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários - Parte 1: Projeto das instalações. Rio de Janeiro, 2008.

AHMED, Kaiser *et al.* Occupancy schedules for energy simulation in new prEN16798-1 and ISO/FDIS 17772-1 standards. **Sustainable Cities and Society**, v. 35, p. 134–144, 2017.

ASHRAE AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE Standard 55:** Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 2017.

AZAR, Elie; MENASSA, Carol C. A comprehensive analysis of the impact of occupancy parameters in energy simulation of office buildings. **Energy and Buildings**, v. 55, p. 841–853, 2012.

GEUN, Young Yun; HYO, Joo Kong; JEONG, Tai Kim. A field survey of occupancy and air-conditioner use patterns in open plan offices. **Indoor and Built Environment**, v. 20, n. 1, p. 137–147, 2011.

IEA International Energy Agency. **EBC Annex 53**: Total energy use in buildings - Analysis and evaluation methods. *Hertfordshire, Reino Unido, 2016.*

INMETRO INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **RTQ-C:** Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas. Rio de Janeiro, 2010.

LAM, Joseph C.; HUI, Sam C. M. Sensitivity analysis of energy performance of office buildings. **Building and Environment**, v. 31, n. 1, p. 27–39, 1996.

PINTO, Monica Martins. **Desempenho energético de edifícios de escritórios com vidros insulados em climas brasileiros**. 2017. 237f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

PROCEL PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso**. Rio de Janeiro, 2008.

WESTPHAL, Fernando Simon; ANDREIS, Cínthia. Influence of Glazed Façades on Energy Consumption for Air Conditioning of Office Buildings in Brazilian Climates. **Int. Journal of Engineering Research and Application**, v. 6, n. 111, 2016.

YOUSEFI, Fatemeh; GHOLIPOUR, Yaghob; YAN, Wei. A study of the impact of occupant behaviors on energy performance of building envelopes using occupants' data. **Energy and Buildings**, v. 148, p. 182–198, 2017.