

Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.

Simulação numérica computacional das condições de conforto ambiental em habitação de interesse social

Natalia de Almeida Fucitalo¹, Gabriel Borelli Martins²; Paulo José Saiz Jabardo³; José Marcelo Tonini Ximenez⁴; Gilder Nader⁵

Resumo – Projetos de habitação de interesse social devem ser sustentáveis, energeticamente eficientes e com conforto ambiental. No entanto, pouco se emprega desses conceitos nos projetos. Este trabalho teve como objetivo realizar simulação computacional de um apartamento de interesse social e verificar as condições de trocas de ar nos cômodos e da variação da temperatura interna na habitação. Os resultados indicaram que as temperaturas internas são inferiores às externas devido à ventilação natural ou ao isolamento térmico eficiente das paredes, portas e janelas. Porém, o banheiro, por sua configuração sem janela para o meio externo, não apresentava taxa de renovação do ar satisfatória. Há necessidade de melhorias arquitetônicas nesses projetos.

Palavras-chave: Ventilação natural, simulação numérica, Conforto ambiental

Abstract – Popular housing projects should strive to be environmentally friendly, energetically efficient and comfortable. These are, however, concepts seldom used during design phase. The objective of this work is to use computational simulation of a popular housing unit to estimate air exchange rate and internal temperature variation in each room of the apartment. The results show that internal temperature variation is inferior to variation observed outside due to natural ventilation and efficient thermal insulation of walls, doors and windows. The bathroom, on the other hand, due to the lack of a window to the outside, did not present adequate air exchange rate and further improvements of the design is recommended.

Keywords: Natural ventilation, Numerical Simulation, Environmental confort.

¹ FATEC Tatuapé e IPT natfucitalo@gmail.com

² IPT gborelli@ipt.br

³ IPT pjabardo@ipt.br

⁴ FATEC Tatuapé, ximenezarquitecto@gmail.com

⁵ IPT e FATEC Tatuapé gilder.nader@fatec.sp.gov.br

Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.

1. Introdução

Projetos de habitação de interesse social devem ser sustentáveis, energeticamente eficientes e com conforto ambiental. A ventilação natural deveria ser um dos principais pontos a ser avaliado e bem dimensionado em projetos habitacionais. No entanto, embora existam vários estudos nessa área, pouco se emprega nos projetos finais.

Desde 2012 que são desenvolvidos na FATEC Tatuapé projetos de pesquisa voltados às periferias, habitações de interesse social e urbanização, procurando trazer conforto aos habitantes desses locais. A saber, a FATEC Tatuapé foi inaugurada em 2011, e desde seu início os professores e alunos têm procurado desenvolver pesquisas que avaliem e que proponham melhorias para os cidadãos, como as descritas a seguir.

Bueno e Nantes (2014) analisaram, por meio de ensaios em túnel de vento, dois modelos de apartamentos: um projeto da década de 1970 (COHAB), com boa ventilação natural, e um da década de 1990 (CDHU), que apresentou baixa ventilação natural apenas no banheiro. No entanto, mesmo no apartamento com boa ventilação natural havia problemas de conforto térmico quando foi analisado o edifício como um todo, especialmente no primeiro e no último pavimento (BUENO e NANTES, 2014, MACENA e SILVA, 2014).

Macena e Silva (2014) realizaram uma pesquisa de campo em 5 blocos da COHAB Conjunto Habitacional Inácio Monteiro, localizada na Cidade Tiradentes. Nesta avaliação, detectaram desconforto térmico principalmente no primeiro andar e no quarto andar (o último) de cada bloco. Esses problemas ocorriam devido à baixa ventilação natural no primeiro andar, e à insolação no último andar, tal como identificado nos ensaios em túnel de vento por Bueno e Nantes (2014).

Investigações mais profundas e propostas de melhorias foram realizadas por modelagem numérica, como as desenvolvidas por Oliveira e Astigarraga (2014) que utilizaram o *software Envi-met* 3.0 para estudaram o impacto da verticalização urbana na região do Tatuapé, uma região com alta densidade demográfica e tendência à verticalização. A partir das análises e propostas de solução, Oliveira *et al.* (2016) fizeram uma proposta de se utilizar as verticalizações permitidas pelo plano diretor estratégico da cidade de São Paulo, porém, arborizando as ruas e criando áreas verdes nos condomínios. Esses estudos indicaram uma diminuição de até 2 °C na temperatura ambiente.

A experiência com o *software Envi-met* permitiu a Noda (2015) realizar modelagens do Conjunto Habitacional Inácio Monteiro estudado anteriormente por Macena e Silva (2014). Nas modelagens numéricas de Noda (2015) foi proposto apenas um programa de arborização urbana, aproveitando os

Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.

espaços nas ruas e nos condomínios. Sem que fossem realizadas alterações na estrutura do bairro e dos edifícios, com a proposta de Noda obteve-se uma diminuição de até 3 °C na temperatura ambiente, nos dias mais quentes do ano. Isso representava uma grande melhoria no conforto dos habitantes da região.

Essas experiências realizadas por entrevistas, ensaios em túnel de vento e modelagens numéricas, indicaram que havia necessidade de aprimoramento nos estudos. A questão do conjunto da COHAB estava bem desenvolvida por meio dos trabalhos de Bueno e Nantes (2014), Macena e Silva (2014) e Noda (2015). No entanto, havia necessidade de ampliar os estudos da habitação do tipo CDHU avaliada por Bueno e Nantes (2014).

Dessa forma, esse trabalho teve como objetivos realizar simulações numéricas computacionais de conforto ambiental, com foco nas trocas de ar em cada cômodo e nas temperaturas internas do apartamento da CDHU e comparar com os resultados experimentais obtidos anteriormente (BUENO e NANTES, 2014). Para isso, foi utilizado o *EnergyPlus*, versão 8.5, (2015) com objetivo avaliar a ventilação interna, trocas de ar e temperatura interna da habitação.

2. Referencial Teórico

A ventilação natural ocorre quando existe variação de pressão e temperatura entre o meio interno e externo. Por efeito da ação dos ventos essa alteração torna possível a movimentação e renovação do ar no interior da edificação sem o uso de sistemas mecânicos. A diferença de pressão pode variar por influência de inúmeros parâmetros, tais como a geometria da edificação, posicionamento de aberturas, velocidade e direção do vento.

Além da velocidade e direção do vento, as modificações na configuração interna e da permeabilidade da edificação também influenciam nos valores pressão interna e externa (HOLMES, 2001, ABNT, 1988). De acordo com a equação de Bernoulli, e ensaios em túnel de vento, é possível obter os coeficientes de pressão externa, que é necessário na simulação utilizando o *software EnergyPlus*.

$$P_1 + \frac{\rho V_1^2}{2} + \rho gh = P_2 + \frac{\rho V_2^2}{2} + \rho gh \quad \text{Eq.(1)}$$

E considerando a pressão dinâmica: $q = \frac{1}{2} \rho V_1^2$, se obtém a partir da Eq. (1):

$$\Delta P = q * \left(1 - \frac{V_2^2}{V_1^2} \right) \quad \text{Eq.(2)}$$

Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.

onde o coeficiente de pressão externo é:

$$C_{pe} = 1 - \frac{V_2^2}{V_1^2} \quad \text{Eq.(3)}$$

Sendo: P = Pressão (Pa); ρ = Densidade do fluido (kg/m^3); V = Velocidade do fluido (m/s); g = Aceleração da gravidade (m/s^2); C_{pe} = Coeficiente de pressão externa (-); h = Altura do plano de referência (m)

Com o escoamento do ar no interior da edificação é possível manter a qualidade do ar interior, uma vez que estejam sendo feitas trocas de ar com o ambiente externo. De acordo com a *Ashrae Standard 62.1 Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*, (2016), os valores mínimos de trocas de ar para o ambiente residencial são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores mínimos para trocas de ar de acordo com o ambiente

	Pessoas do lado de fora		Área do lado de fora	
	Taxa de ar		Taxa de ar	
	cmf/pessoa	L/s*pessoa	cfm/ft ²	L/s*m ²
Residencial				
Unidade habitacional	5	2,5	0,06	0,3
Corredores comuns	-	-	0,06	0,3

Fonte: ASHRAE, 2016.

Para fazer o posicionamento mais eficiente das aberturas, conservando a temperatura e a umidade com bom conforto térmico, são levados em consideração alguns fatores, como temperatura, radiação solar e direção do vento (FROTA, SCHIFFER, 2001).

3. Método

As modelagens de ventilação natural foram feitas pelo programa *EnergyPlus*, versão 8.5, que realiza simulações de cargas térmicas e análise energética em edificações. A simulação foi realizada para uma habitação de interesse social representada na Figura 1 com 49 m². A geometria retangular foi dividida em 6 zonas térmicas, como mostrado na Figura 1.

No modelo as janelas J1, J2 e J3 foram modeladas com 0,64 m x 1,2 m, de largura por altura, respectivamente, a J4 com 0,65 m x 0,3 m, e as J5 e J6

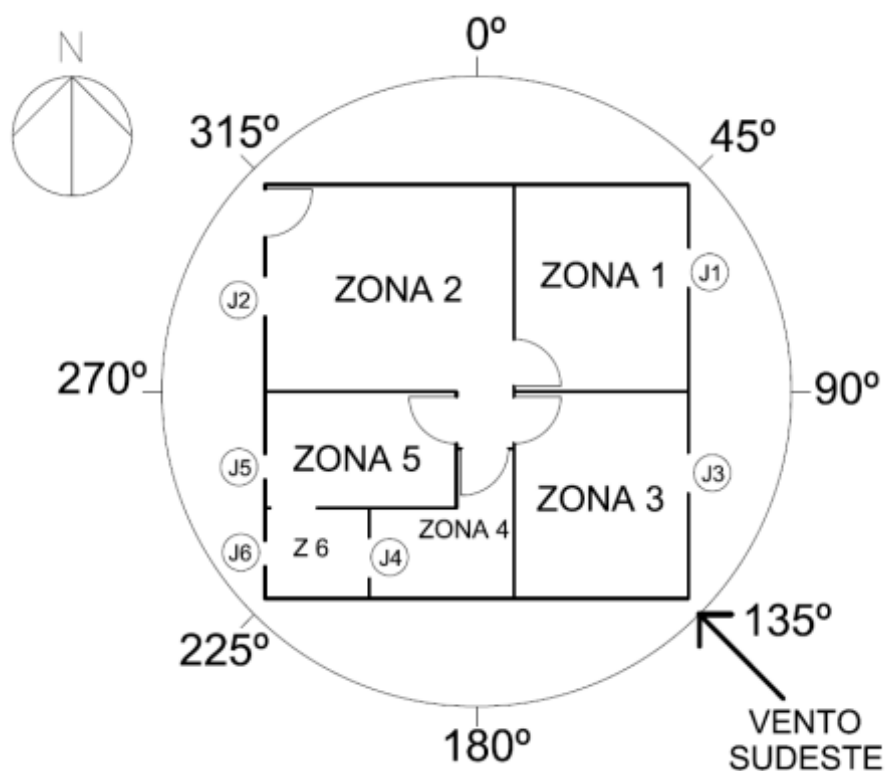
Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.

com 0,4 m x 1,2 m. As portas foram modeladas com 0,74 m x 2,1 m também de largura e altura, respectivamente.

O material usado para porta foi madeira (duraplac) com espessura de 0,4 m; a parede externa foi de concreto com espessura de 0,15 m e revestida com argamassa mista com espessura de 0,01 m e gesso com espessura de 0,01 m; as paredes internas foram feitas com gesso para vedação com espessura de 0,1 m.

Os valores dos coeficientes de pressão externa foram calculados pelo *software*. A velocidade do vento foi de 1,5 m/s, obtida a 10 m de altura, e sua direção de 135° (ver Figura 1), vento sudeste, o predominante na região de São Paulo.

Figura 1 – Planta modelo.



Fonte: Autores

De acordo com o livro *Air Infiltration Calculation Techniques – An Applications Guide* (LIDDAMENT, 1986) o valor de 0,66 deve ser inserido para o cálculo do fluxo de ar através das frestas feito pelo programa, como indicado na Tabela 2.

Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.**Tabela 2** – Coeficientes de fluxo de ar para janelas e portas através das frestas.

Tipo de abertura	n
Aberturas grandes	0,5
Frestas - cracks (portas e janelas)	0,66
Materiais porosos com juntas	0,75
Materiais porosos	1

Fonte: Liddament, 1986

Zonas com ambiente de permanência prolongada (quartos e sala) foram definidas cargas térmicas de equipamentos, iluminação e ocupação de pessoas. Esta definição se deu por meio de uma programação, como mostrado na Figura 2. A zona 2, por exemplo, indica que as cargas térmicas variam de acordo com o horário do dia.

Figura 2 – Cargas térmicas na zona 2.**Fonte:** Autores

Também foi definida a programação para abertura e fechamento das portas e janelas, onde para o caso estudado foi feita a programação para 100 % do tempo aberta e 0 % do tempo aberta (fechado), essa programação controlou manualmente cada janela e porta pelo objeto *AirflowNetwork:Multizone:Surface*.

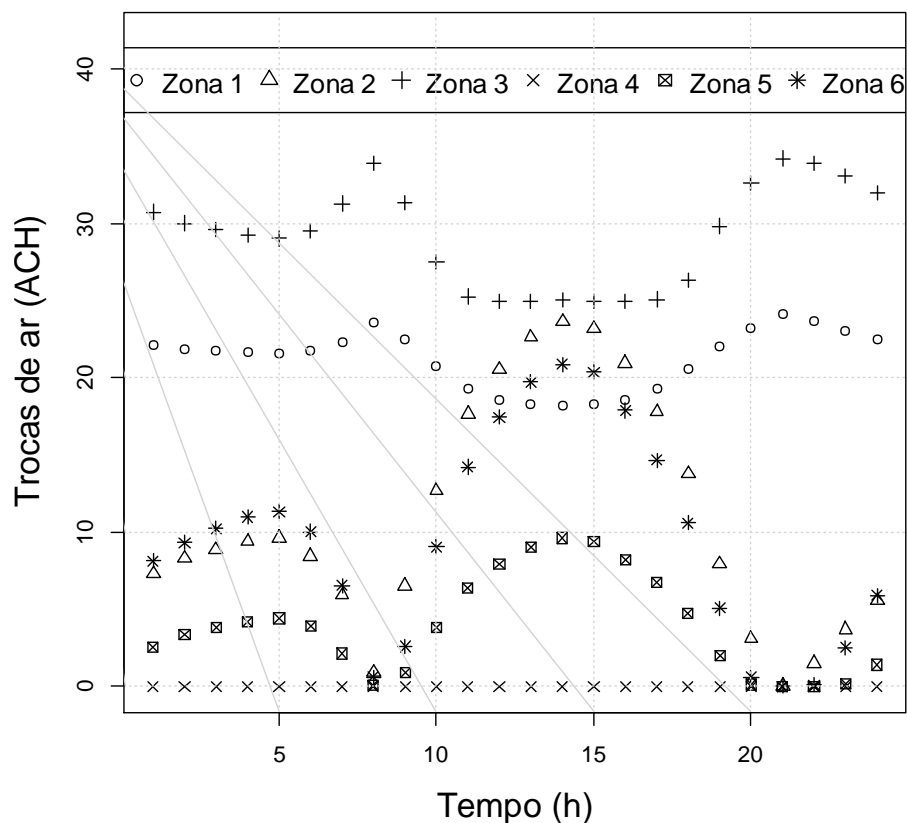
Foram realizados dois tipos de simulações, uma com todas as janelas e portas abertas e outra com apenas as janelas fechadas. Os dias determinados para obtenção dos dados foram dois dias típicos, um no verão (21 de dezembro) outro no inverno (21 de junho). Para a simulação com janelas fechadas foi considerada a infiltração do ar através de frestas. Esse valor calculado automaticamente pelo programa a partir da determinação do tipo de janela.

Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.**4. Resultados e Discussão**

Os resultados das trocas de ar com todas as janelas e portas abertas foram similares tanto no inverno quanto no verão. Dessa forma, na Figura 3 são mostrados os resultados das trocas de ar no verão.

Na condição de portas e janelas abertas, somente o banheiro (zona 4), ver Figura 1, não apresentou troca de ar satisfatória de acordo com parâmetros da Ashrae (2016). Os resultados das simulações numéricas coincidiram com os obtidos experimentalmente por Bueno e Nantes (2014).

Figura 3 - Trocas de ar em todas as zonas.



Fonte: Autores

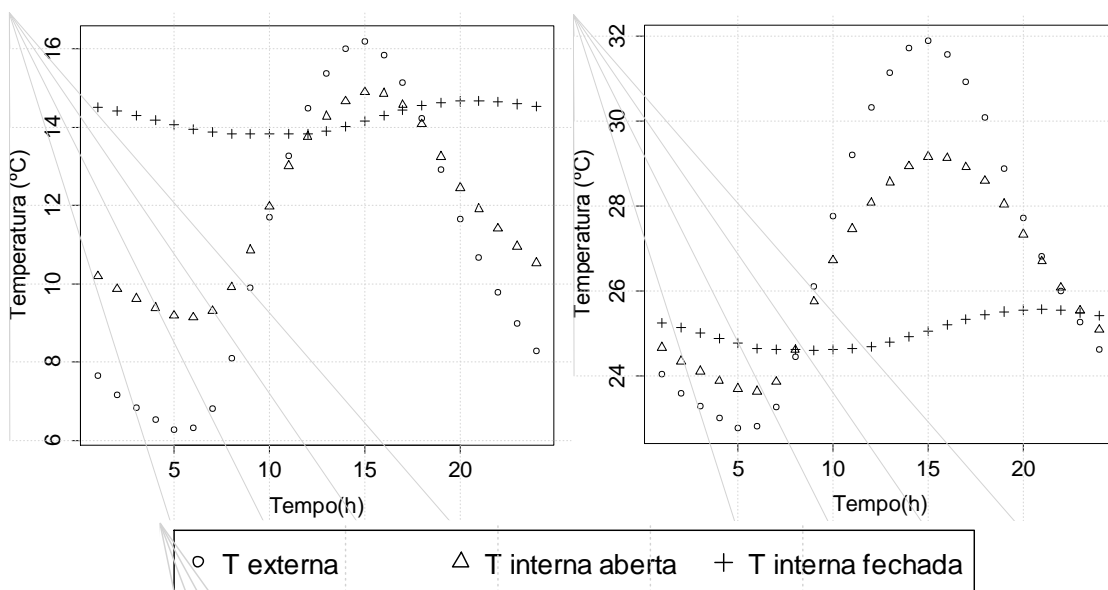
As temperaturas internas foram menores que as temperaturas externas no verão e no inverno. Para uma análise por amostragem das 6 zonas térmicas, já que os resultados foram muito similares, são mostrados os resultados obtidos para a zona 3 na Figura 4. A temperatura interna, com a janelas e portas abertas, varia de acordo com as trocas de ar.

Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.

Ao se analisar a temperatura interna para um dia típico de inverno, se encontrou um padrão parecido com o de verão, como pode ser observado por meio da Figura 4.

As temperaturas internas, em um dia de verão, ficaram $2\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ abaixo da temperatura externa, no intervalo mais quente do dia, entre 12h00 e 18h00. E no inverno se obteve $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ abaixo da temperatura externa. Por outro lado, considerando a habitação com todas as portas e janelas fechadas, a temperatura interna, em um dia de verão, no intervalo citado, ficou $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ abaixo da externa, e no inverno ficou $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ abaixo da externa. Isso indica que as paredes e janelas típicas de habitações populares são excelentes isolantes térmicos, porém há necessidade de se projetarem habitações que permitam melhor troca de ar em todos os cômodos.

Figura 4 – Variação da temperatura interna observado na zona 3 no verão (esquerda) e inverno (direita).



Fonte: Autores

5. Considerações finais

Nas modelagens realizadas o que determinou quando ocorrerá maior frequência de trocas de ar e variações na temperatura interna em cada zona foi a programação de abertura e fechamento das portas e janelas. Com exceção da zona 4, o banheiro, que independentemente da programação apresentou dados de trocas de ar nulos para os dois casos. Portanto essa zona por ser um ambiente exposto à umidade, com a baixa renovação do ar está propícia a desenvolver mofos e bactérias.

Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.

Assim para as duas simulações no caso aberto e no caso fechado os dados de trocas de ar em um período de 24 horas nos dois dias típicos (verão e inverno) variaram de zona para zona. Onde as zonas com a fachada exposta ao ângulo de incidência do vento (sudeste) na região de São Paulo, obtiveram maior frequência de trocas de ar neste período. Já as zonas que se localizavam na fachada oposta ou mais distantes encontraram-se com menor renovação do ar, logo nestas zonas os dados de temperatura estavam mais elevados que nas zonas com boa ventilação.

Do ponto de vista de modelagem de uma habitação, as taxas de renovação de ar na simulação aberta se encontraram dentro dos parâmetros definidos pela *Ashrae 62.2:2013*. Já na simulação fechada as taxas de renovação do ar se encontraram abaixo do valor estipulado pela *Ashrae 62.2:2013*, isto ocorre devido a infiltração de ar que neste caso ocorre apenas através das frestas das esquadrias e das portas.

O *software EnergyPlus* foi utilizado como elemento de aprendizado de ventilação interna, e trocas de calor. Na sequência desse trabalho, serão realizadas modelagens experimentais em túnel de vento, para que se possam utilizar no *EnergyPlus* dados de coeficientes de pressão externos medidos experimentalmente, e os valores das modelagens numéricas serão comparados com os valores obtidos inicialmente quando os dados dos coeficientes de pressão externos foram calculados pelo próprio *software*. Também serão acrescentados dados de umidade relativa do ar para cada zona térmica.

Todos os trabalhos realizados na FATEC Tatuapé, até o presente momento, indicaram que há necessidade de se realizar melhores projetos habitacionais, para habitações de interesse social, visando maior conforto dos moradores, sustentabilidade e eficiência energética da habitação.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Apoio ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas (FIPT) pelo apoio financeiro e à Adriana Camargo Brito (IPT), Karin Chvatal (IAU/USP), Michele Rossi (IAU/USP) e Hector Fabian Marin (IAU/USP) pelas ajudas e ensinamentos do *software EnergyPlus*.

Referências

ABNT - NBR 6123 – **Forças Devidas ao Vento em Edificações**, 1988

ASHRAE Standard 62.2. **Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Low- Rise Residential Buildings - Building America Top Innovation**, 2016

Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.

- BUENO, G. S., NANTES JR., M.R., **Análise de ventilação natural em habitação popular**, monografia de trabalho de graduação para obtenção do título de Tecnólogo de Construção de Edifícios da FATEC Tatuapé, 2014.
- FROTA, A.B, SCHIFFER, S.R.. **Manual do conforto térmico**, 2001
- GONÇALVES R. M. *ET AL.* **Ação do vento nas edificações teoria e exemplos**. São Paulo, 2013
- LIDDAMENT. **Air Infiltration Calculation Techniques – An Applications Guide**, 1986
- NODA, K.K., **Modelagem numérica de conforto ambiental na Cohab Inácio Monteiro**, , monografia de trabalho de graduação para obtenção do título de Tecnólogo de Controle de Obras da FATEC Tatuapé, 2015.
- MACENA, S.M.F., SILVA, E.E.M., **Investigação das Condições de Conforto Ambiental em Habitação Popular**, monografia de trabalho de graduação para obtenção do título de Tecnólogo de Construção de Edifícios da FATEC Tatuapé, 2014.
- OLIVEIRA, P.B., ASTIGARRAGA, R.S, **Consequências da verticalização no meio urbano**, monografia de trabalho de graduação para obtenção do título de Tecnólogo de Construção de Edifícios da FATEC Tatuapé, 2014.
- OLIVEIRA, P.B., ASTIGARRAGA, R.S, FREITAS, F.S.J., MARTINS, G.B., JABARDO, P.J.S., NADER, G., **IPT estuda impactos de verticalização**, Revista Finestra, 72-76, jan-fev, 2016
- HOLMES, J. D., **Wind Loading of Structures**, Spon Press, London, 2001.