A INFLUÊNCIA DO CONTEXTO URBANO NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS VERTICAIS[1]

DIDONÉ, L. E., Universidade Federal de Alagoas, e-mail: evelisedidone@gmail.com; BATISTA, O. J., Universidade Federal de Alagoas, e-mail: juliana.batista@fau.ufal.br

ABSTRACT

This work analyzed the influence of the surrounding of office buildings on energy consumption, using existing buildings in their built environment. The study is based on computer simulations using the programs EnergyPlus and Diva-for-Rhino. The selected buildings are located in the city of Maceió with a tropical climate. For the analysis, strategies for the reduction of energy consumption were applied and the real building surroundings were modelled for the different simulation programs. The analysis were realized for inefficient buildings (Prototype case) and efficient buildings (Optimal case) through the comparison of their annual energy consumption. Shadowing caused by the surrounding and solar radiation available on the envelope were evaluated through Diva-for-Rhino simulations. Results showed that shading from surrounding reduced energy consumption between 0.01% and 1.58%. Inefficient buildings presented higher reduction values. Vertical buildings in horizontal urban contexts showed less energy reduction but more solar radiation for energy generation on the envelope.

***Keywords**: Energy Efficiency. Building Simulation. Urban Context. Office Buildings*

1 INTRODUÇÃO

O percentual do consumo energético dos edifícios em relação a energia global tem crescido devido ao aumento do consumo de bens e serviços pela população (BRASIL, 2016). Entretanto, um dos principais consumidores de energia, o setor da construção civil, também possui potencial não utilizado para a redução do consumo. Segundo Chidiac, et al. (2011) a redução no consumo em edificações existentes pode ser atingida com a implementação de medidas energéticas de retrofit. Em novos edifícios, a incorporação de tecnologias eficientes desde a concepção inicial do projeto pode resultar em economia superior a 50%, quando comparado a edifícios projetados sem o uso dessas tecnologias (PROCEL, 2013; LENOIR et al., 2011).

Vários estudos comprovaram que o espaço urbano interfere no desempenho energético de edifícios quando comparados com espaços desobstruídos (AMADO et al., 2012; OKE, 1988; RATTI et al., 2003; STROMANN-ANDERSEN & SATTRUP, 2011; TERECE et al., 2010). A radiação solar disponível no meio urbano é influenciada por diferentes parâmetros de densidade urbana, podendo afetar o uso da energia nos diferentes pavimentos das edificações verticais (STROMANN-ANDERSEN & SATTRUP, 2011). O efeito dos parâmetros do formato urbano, como largura das ruas, densidade, formas geométricas e orientação na radiação solar dos edifícios já foi objeto de estudos e os resultados são facilmente encontrados na literatura (CHENG et al., 2006; VANESCH et al., 2012; KANTERS & HORVAT, 2012; RENDÓN, 2013; STROMANN-ANDERSEN &

[1] DIDONÉ, L., E., BATISTA, O. J. A influência do contexto urbano na eficiência energética de edifícios verticais. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2018.

SATTRUP, 2011).

No contexto brasileiro trabalhos que caracterizam a influência do espaço urbano no desempenho energético dos edifícios são ainda poucos. Dentre eles o estudo desenvolvido para edificações verticais avaliou o potencial para a transformação de edifícios de escritório em Edifícios de Energia Zero (EEZ). O trabalho considerou métodos para a redução do consumo de energia e sua geração com módulos fotovoltaicos em diferentes climas brasileiros. Os modelos utilizados foram definidos a partir de um banco de dados existente, não sendo edifícios reais inseridos no meio urbano. Apesar de considerar a influência do contexto urbano na geração de energia, os cenários utilizados não configuraram uma cidade real (DIDONÉ, 2014).

Admitindo-se o potencial de aproveitamento da radiação solar como fonte alternativa de energia para o ambiente construído e diante da necessidade de pesquisas em edificações inseridas no contexto urbano, aplicadas a situações reais, este trabalho avaliou a influência do contexto urbano na eficiência energética de edificações existentes com diferentes volumetrias de edifícios de escritórios verticais, considerando o contexto climático do litoral, na cidade de Maceió-AL.

2 METODOLOGIA

A metodologia foi dividida em quatro etapas. Primeiro, foram selecionados edifícios de escritórios verticais, padronizando-se os materiais da envoltória, ocupação e cargas internas para representar edifícios energeticamente ineficientes (Caso Protótipo). Na sequência, os edifícios ineficientes foram transformados em edifícios eficientes (Caso Otimizado). Na terceira etapa, foi delimitado o contexto urbano com base em levantamento do entorno existente para cada edifício simulado. Finalizando, a influência do sombreamento na eficiência energética e a radiação solar na envoltória dos diferentes edifícios para o Caso Protótipo e Otimizado foram analisadas.

2.1 Definição dos edifícios

Foram selecionados cinco edifícios de escritórios verticais, localizados em Maceió-AL, levando-se em consideração seu entorno, volumetria e número de pavimentos.

Maceió localiza-se na zona bioclimática 8, próximo à linha do equador com latitude 9°67'S e clima tropical, sendo uma cidade com valores elevados de irradiação solar, com média diária de 5,4 kWh/m² (GESTE/PROMEC, 2018).

Optou-se por edifícios situados em áreas verticalizadas da cidade para que fosse possível avaliar o impacto causado pelo entorno no sombreamento e radiação solar da envoltória. A Tabela 1 apresenta as características dos edifícios selecionados.

Tabela 1 – Característica dos edifícios selecionados

Tipo	T1	T2	T3	T4	T5

Forma/Planta N					
Volumetria					
N° pavimento total	22	13	12	11	18
Percentual de abertura na fachada	32%	46%	39%	32%	58%
m² total do edifício	14.149 m²	24.993	16.662	13.583	26.166
m² escritório	6.480	10.872	6.649	5.606	10.201
m² loja	806	528	733	345	2.685
m² garagem	4.845	8.664	6.186	4.936	8.854
m² core	2.018	4.928	3.093	2.696	4.426
Divisão interna	Salas compartimentadas				

Os dados de materiais, iluminação, ar condicionado e equipamentos foram definidos na literatura (SANTANA, 2006 e CARLO, 2008). Esses dados foram utilizados para os modelos do Caso Protótipo. No Caso Otimizado utilizou-se estratégias de eficiência energética baseadas na Etiqueta de Eficiência Energética – RTQ-C (BRASIL, 2010). Dados da população do edifício e horário de uso foram padronizados para tipologia de escritório, permanecendo os mesmos em todas as análises. A Tabela 2 apresenta os valores utilizados.

Tabela 2 – Configurações adotadas nos casos selecionados

Parâmetros	**Unidade**	**Caso**	
		Protótipo	**Otimizado**
Envoltória			
U cobertura	W/(m² K)	1,22	0,46
CT cobertura	kJ/(m² K)	252	255
Abs cobertura		0,7	0,25

U parede	W/(m² K)	2,48	0,39
CT parede	kJ/(m² K)	119	141
Abs parede		0,65	0,25
U janela	W/(m² K)	5,82	1,68
VT janela		0,88	0,7
SHGC janela		0,82	0,4
Veneziana		Não	Sim
Cargas internas			
Iluminação escritório	W/m²	14,1	9,7
Iluminação core	W/m²	11,36	7,1
Iluminação loja	W/m²	21,9	15,1
Iluminação garagem	W/m²	3,9	2,7
Equipamento escritório	W/m²	9,7	9,7
Elevador	W/m²	367,5	209,1
Eficiência COP	W/W	2,6	5,09
Infiltração escritório	ren/h	1	1
Infiltração core	ren/h	1	5
Infiltração loja	ren/h	1	1
Infiltração garagem	ren/h	1	5
Tipo HVAC		Split	Split
Setpoint HVAC	°C	18-24	18-24
Ocupação			
Escritório	m²/pessoa	14,7	14,7
Loja	m²/pessoa	14,7	14,7
Core	pessoa	1	1
Garagem	pessoa	1	1
Período de ocupação			
Escritório/Core Loja/Garagem	hora	8h-18h	8h-18h

Fonte: Santana (2006), Didoné (2014), INMETRO (2018), BRASIL (2010), LABEEE (2017) e ABNT (2013)

2.2 Definição do contexto urbano

O entorno foi definido de acordo com as quadras existentes, de forma a abranger todas as edificações que poderiam sombrear o edifício. A delimitação da projeção horizontal das edificações foi realizada a partir das plantas dos bairros da cidade (arquivos DWG) e de imagens do *Google Maps* (Figura 1). As alturas foram contabilizadas de acordo com o número de pavimento, sendo considerado 3 m para cada pavimento. As Figuras 2 e 3 apresentam os modelos selecionados com seu entorno.

Figura 1 – Modelo do mapa do entorno



Figura 2 – Modelos com o entorno (Tipos T1, T2 e T3)

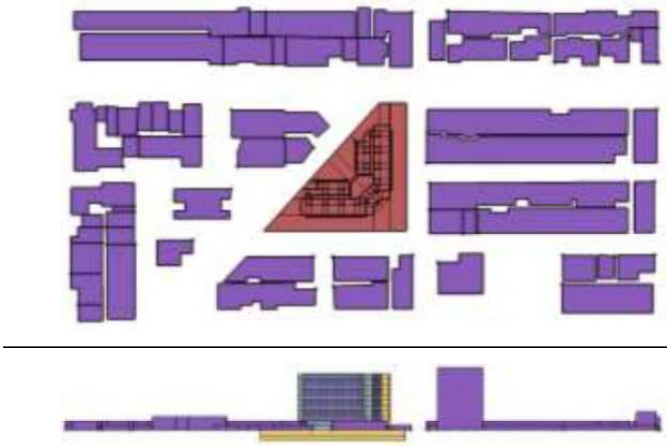
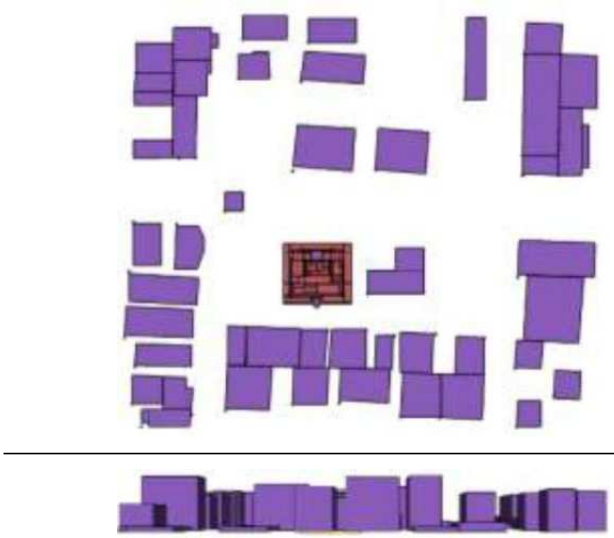
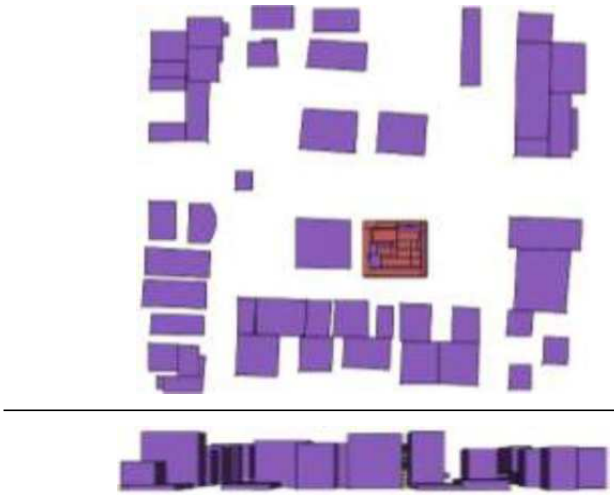
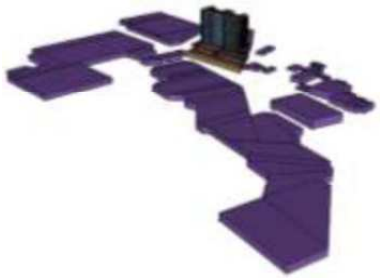
Tipo	Planta baixa/Vista	Perspectiva
T1		
T2		

Figura 3 – Modelos com o entorno (Tipos T4 e T5)

Tipo	Planta baixa/Vista	Perspectiva
T3		
T4		
T5		

2.3 Simulação computacional

As análises foram desenvolvidas por simulações computacionais. A simulação termo-energética foi realizada com o software EnergyPlus (v.8.6) e a simulação da radiação solar com o software Diva-for-Rhino (v.4.0). O arquivo climático de Maceió foi obtido no site do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE, 2017). As simulações foram realizadas para 1 ano e os dados de saída foram o consumo energético e a radiação na envoltória.

Os edifícios do entorno foram modelados a fim de tornar possível a análise da influência do sombreamento, tanto para a análise do consumo de energia quanto da quantidade de radiação solar na envoltória. Ambos os programas consideram a influência do sombreamento em seus cálculos.

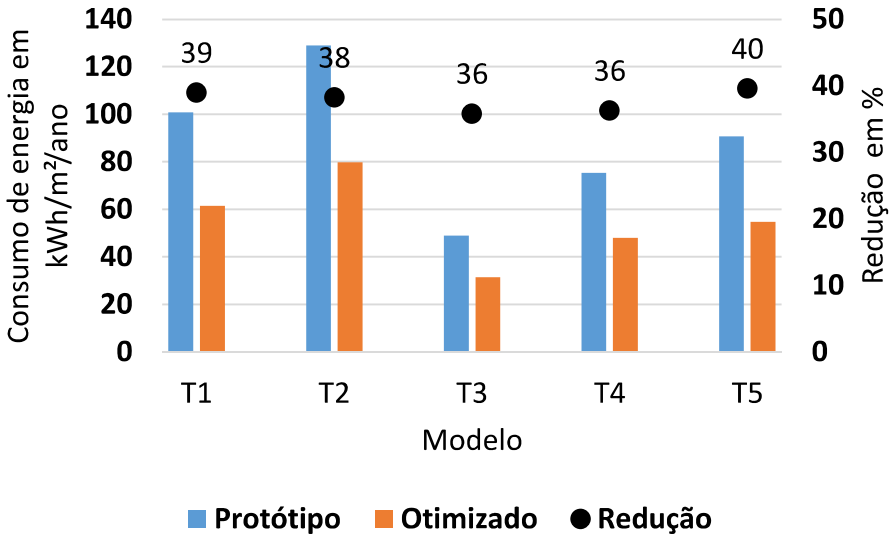
3 RESULTADOS

Os resultados relativos à análise da influência do entorno na eficiência energética dos edifícios são discutidos nesta seção.

3.1 Redução do consumo de energia a partir de medidas de economia

O consumo energético e o percentual de economia para os casos protótipo e otimizado dos 5 tipos de edifícios avaliados com entorno estão apresentados na Figura 4. Comparando o modelo otimizado com o protótipo, a redução do consumo anual variou de 36% a 40%. Os modelos T1 e T5, caracterizados por planta retangular e pelo maior número de pavimentos (18 e 14, respectivamente) apresentaram maior redução no consumo. Já os edifícios T3 e T4, com 8 pavimentos e caracterizados por plantas compactas apresentaram reduções mais baixas, verificando-se também os menores consumos referentes aos edifícios representativos do caso protótipo.

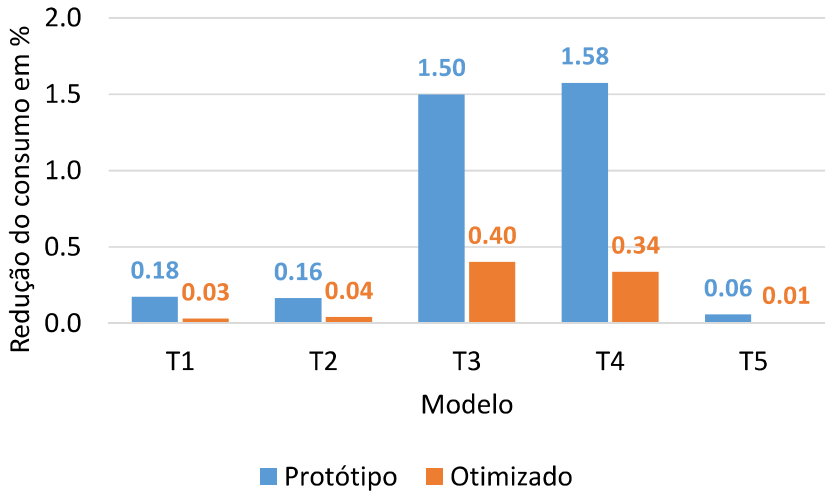
Figura 4 – Consumo de energia anual para os modelos protótipo e otimizado



3.2 A influência do sombreamento do entorno no consumo de energia

Como observado na Figura 5, os modelos avaliados com o entorno apresentaram redução no consumo de energia quando comparado com os modelos avaliados sem o entorno, tanto para os Casos protótipo como para os Casos otimizado.

Figura 5 – Redução do consumo nos modelos com entorno comparado com modelos sem entorno

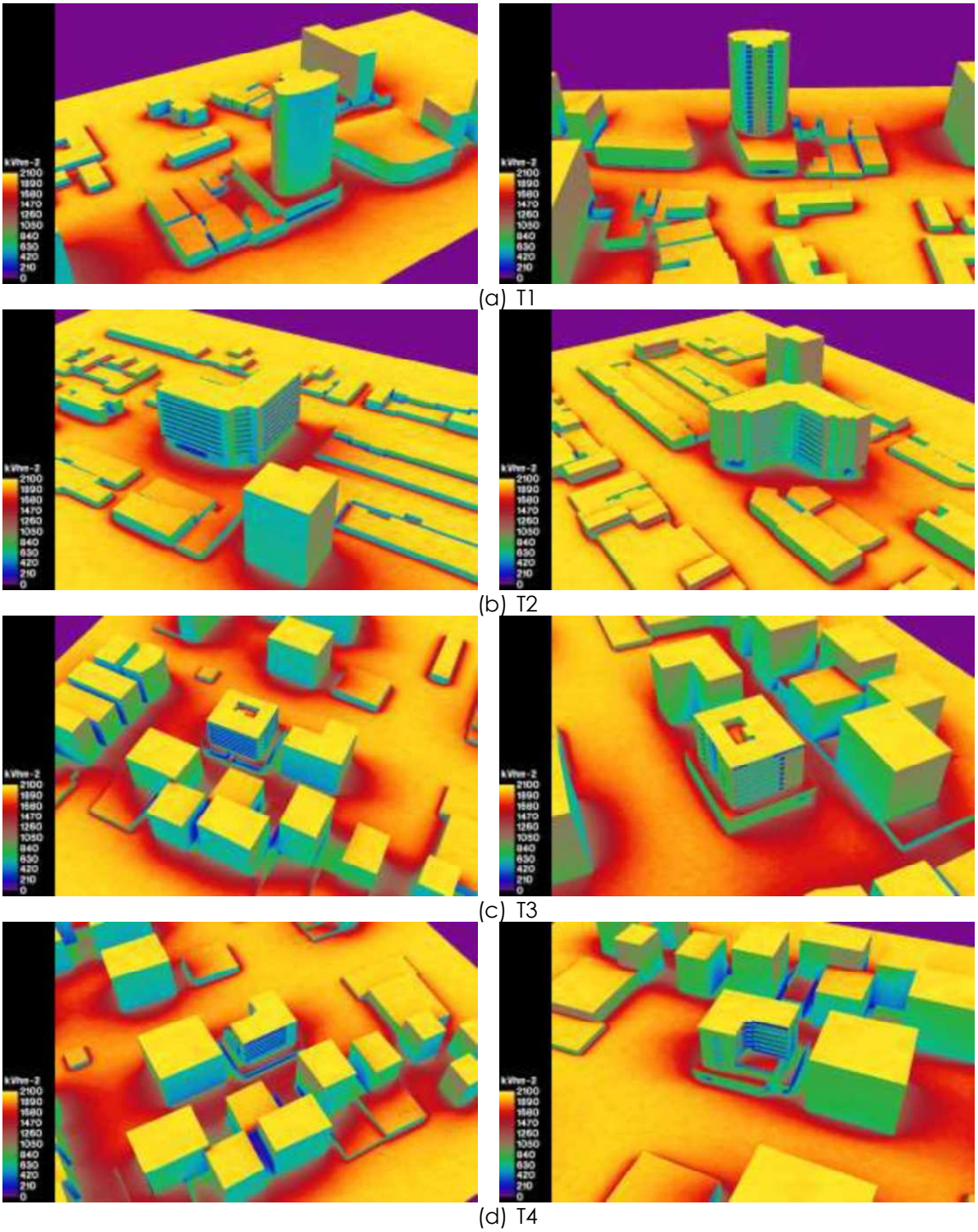


A redução variou de 0,01% a 1,58% dependendo da volumetria e do consumo do modelo. Modelos ineficientes apresentaram maiores reduções do que os modelos eficientes, por gerar e acumular maior carga térmica devido a ineficiência dos equipamentos e da envoltória. Os modelos T3 e T4, com mais sombreamento do entorno, obtiveram uma redução de 1,50% e 1,58%, respectivamente, para o caso protótipo 0,4% e 0,34% para o caso otimizado. Considerando o alto consumo de energia dessas edificações, superior a 1.500.000 kWh/ano para o caso "protótipo", o valor de 1% é significativo na redução total. No estudo realizado por Didoné (2014) com edifícios inseridos em contexto urbano hipotético, verticalizado com arranjos regulares, edificações igualmente espaçadas e altura variável, a redução no consumo chegou a 5%.

3.3 Radiação solar na envoltória

A análise da radiação solar anual na envoltória dos edifícios está apresentada na Figura 6. Verifica-se que o entorno dos modelos T1, T2 e T5 ainda é pouco verticalizado quando comparado com os modelos T3 e T4, apesar de todos estarem em áreas verticalizadas da cidade. O contexto existente sombreia pouco e possibilita que as superfícies recebam radiação solar direta. A área de cobertura possui os valores mais elevados, (da ordem de 2.100 kWh/m²), sendo mais propícia para a geração de energia solar. Entretanto, o potencial das fachadas também é expressivo, correspondendo a cerca de 40% da radiação incidente na cobertura (840 kWh/m²).

Figura 6 – Radiação solar nas superfícies da envoltória dos edifícios com entorno

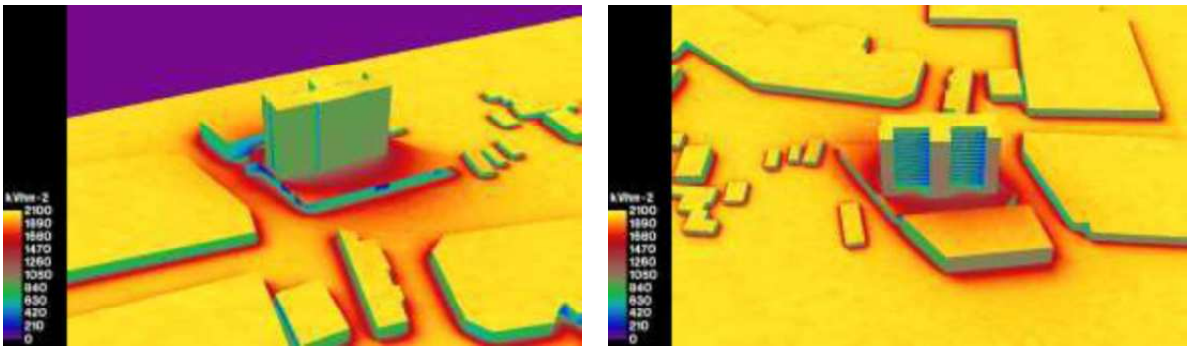


(a) T1

(b) T2

(c) T3

(d) T4



(e) T5

4 CONCLUSÕES

Pode-se concluir que a influência do entorno foi diferente para os modelos caso protótipo e caso otimizado nos 5 tipos de edifício avaliado, visto que quanto mais ineficiente é o edifício, maior será o efeito do sombreamento do entorno no consumo de energia relativo à refrigeração, devido a menor disponibilidade de radiação solar incidente na envoltória.

A configuração do entorno, largura das ruas, afastamento entre os edifícios e verticalização interferem na disponibilidade de radiação solar na envoltória, sendo a cobertura a superfície com maior obtenção de radiação solar e menor sombreamento. Os modelos T3 e T4 obtiveram maior influência do entorno na redução do consumo. Já os modelos T1, T2 e T5 possuem um traçado urbano que favorece a radiação solar na envoltória.

Por fim, considerando a distinção entre os resultados obtidos para os casos T3 e T4 em relação aos demais, convém salientar a necessidade de uma avaliação paramétrica da influência da volumetria do próprio edifício sobre o consumo de energia, considerando variações de sua compacidade.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPEAL e ao CNPq pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS

AMADO, M; POGGI, F. MIGUEL A., FRANCESCA P. Towards Solar Urban Planning: A New Step for Better Energy Performance. In: **Energy Procedia.** Vol. 30, pp. 1261–1273. 2012.

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edifícios habitacionais - Desempenho: Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2013.

BRASIL. **Ministério de Minas e Energia. Eletrobrás**. Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). 2010. Versão eletrônica 2. Anexo da Portaria INMETRO n° 372.

_____. **Empresa de Pesquisa Energética (EPE)**. NOTA TÉCNICA DEA 13/15: Demanda de Energia 2050. Rio de Janeiro: EPE, 2016. Disponível em: <http://www.epe.gov.br>. Acesso em: 04 abr 2018.

CARLO, J. C. **Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética da Envoltória de Edificações Não Residenciais** (Doutorado em Engenharia Civil). Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Florianópolis. 2008.

CHENG, V.; STEEMERS, K.; MONTAVON, M.; COMPAGNON, R. Urban Form , Density and Solar Potential. In: **Plea 2006** - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture. Geneva, pp. 6–8. 2006.

CHIDIAC, S.E., CATANIA, E.J.C., MOROFSKY, E., FOO, S. A screening methodology for implementing cost effective energy retrofit measures in Canadian office buildings. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 2-3, p. 614-620, 2011.

DIDONÉ, E.L. **Parametric study for net zero energy building strategies in Brazil considering semi-transparent PV window**. Thesis (Department of Architecture) - Karlsruhe Institute of Technology - KIT. 2014.

GESTE - PROMEC: RADIASOL 2. LABORATÓRIO DE ENERGIA SOLAR. Disponível em <http://www.solar.ufrgs.br/#softwares>. Acesso em: 13 mar 2018

INMETRO. ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia. Selo PROCEL de Economia de Energia. Condicionadores de ar Split hi-wall. 2017. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/condicionadores_ar_split_hiwall_indicenovo.pdf> Acesso em: 01 nov 2017.

KANTERS, J.; HORVAT, M. Solar Energy as a Design Parameter in Urban Planning. In: **Energy Procedia** vol. 30, pp. 1143–1152. 2012.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES – LABEEE. **Arquivos climáticos em formato EPW**. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-epw> Acesso em: 20 abril. 2017.

LENOIR, A., THELLIER, F., GARDE, F. Towards Net Zero Energy Buildings in Hot Climate, Part 2: Experimental Feedback. **ASHRAE 2011**, Volume 117, Part 1. IEA/SHC task 40. 2011.

OKE, T. R. Street design and urban canopy layer climate. In: **Energy and Buildings** vol. 11, Nr. 1-3, pp. 103–113. 1988.

PROCEL. Programa nacional de conservação de energia elétrica: áreas de atuação – edificações (PROCEL-Edifica). Disponível em: <http://www.eletrobras.com/>. Acesso em: 10 mar 2013.

RATTI, C.; RAYDAN, D.; STEEMERS, K. Building form and environmental performance: archetypes, analysis and an arid climate. In: **Energy and Buildings** vol. 35, N. 1, p. 49-59. 2003.

RENDÓN, L. G. **Potencial de Aplicação de Painéis Fotovoltaicos em Fachadas de Edificações em Diferentes Contextos Urbanos**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Florianópolis. 2013.

SANTANA, M. V. **Influência de parâmetros construtivos no consumo de energia de edifícios de escritório localizados em Florianópolis**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. 2006.

STROMANN-ANDERSEN, J.; SATTRUP, P. A. The urban canyon and building energy use: Urban density versus daylight and passive solar gains. In: **Energy and Buildings** vol. 43, Nr. 8, pp. 2011–2020. 2011.

TERECE, A.; KESTEM, D.; EICKER, U. The impact of the urban form on heating, cooling and lighting demand of cities. In: **ICSU Proceedings** of the 1st International Conference on Sustainable Urbanisation. Hong Kong, pp. 15–17. 2010.

VANESCH, M. M. E.; LOOMAN, R. H. J.; De Bruin-Hoedijk, G. J. The effects of urban and building design parameters on solar access to the urban canyon and the potential for direct passive solar heating strategies. In: **Energy and Buildings** vol. 47, pp. 189–200. 2012.