

Geração de energia fotovoltaica em fachadas: Estudo de caso com uso da simulação paramétrica

Jacqueline Alves Vilela

Universidade Federal de Minas Gerais –Brasil
arjacvilela@gmail.com

Eleonora Sad de Assis

Universidade Federal de Minas Gerais – Brasil
eleonorasad@yahoo.com.br

Ana Carolina Oliveira Veloso

Universidade Federal de Minas Gerais –Brasil
acveloso@gmail.com

Roberta Vieira Gonçalves de Souza

Universidade Federal de Minas Gerais –Brasil
Robertavgs2@gmail.com

ABSTRACT

Access to solar energy should be considered from the design of land parceling and building projects, since the supply of solar energy depends on the shape, orientation and layout of the envelopes in the urban fabric. Therefore, the development of studies for evaluating the area for solar radiation incidence on facades, and for verifying the photovoltaic plates usage viability may be fundamental to guarantee provision of sun radiation and to orient proposals for new urban regulation. This study is aimed at the use of parametric simulation to evaluate the potential of photovoltaic panels on the façades of two existing buildings, located in two different regions of Belo Horizonte, MG, both bearing the same constructive potential, also considering their surroundings. The evaluation models were developed using the software Rhinoceros® and simulated through the Grasshopper®, and Ladybug® plug-ins. This allowed for the generation and quantification of solar radiation incident on building façades. Reference analysis for defining minimum solar radiation available to be converted into photovoltaic energy on vertical urban buildings was employed. Simulated models results points to the fact that the southern façade does not present the minimum radiation incidence needed, while for the other façades, the minimum limit is only reached from the upper half of their planes. They also present a discrete advantage for the use of solar energy for photovoltaic generation in urban areas with a greater verticalization, where there is greater permeability to the environmental variables (solar incidence and wind).

Keywords: Solar Envelope; Photovoltaic Energy; Urban Planning.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos dois séculos, foi constatado, no mundo ocidental, um grande impulso no desenvolvimento das cidades, de tal forma que, as áreas urbanas abrigam hoje cerca de 54 % da população mundial, proporção esta que se espera que aumente para 66% em 2050, segundo dados do “Relatório de Prospecção da População Urbana das Nações Unidas” (2015). No Brasil a população urbana chegará a 88% do total em 2030 (BRASIL, 2007).

Ocorre que, hoje, no Brasil, as cidades continuam crescendo desordenadamente, sob a força do mercado imobiliário, que exerce pressão para que ocorram mudanças de uso e ocupação do solo. A

morfologia das cidades, atualmente, continua sendo o reflexo da aplicação de regulamentos de uso e ocupação do solo que setorizam a cidade, de forma geral, com base em permissividade de usos, pouco considerando as variáveis ambientais. Na concepção dos projetos, pouca atenção é dada às vantagens de uma boa orientação solar, das diretrizes bioclimáticas e dos ganhos energéticos nos edifícios e no tecido urbano.

O acesso à radiação solar e a produção de energia dela advinda, seja para aquecimento de água ou para geração de energia, deve ser pensada desde a concepção dos projetos de parcelamento do solo e de edifícios, já que a forma dos edifícios e as suas superfícies devem servir tanto de base para a utilização dos sistemas solares ativos, como para a maximização de ganhos solares passivos. Desta forma, o acesso à energia solar, está ligada à forma, orientação e disposição das envoltórias dos edifícios no tecido urbano. Projetos de edifícios e de parcelamento urbanos que viabilizem o melhor aproveitamento e o uso de fontes renováveis de energia, como a solar, por exemplo, podem minimizar os impactos ambientais e promover e diversificação da matriz energética brasileira.

Sistemas solares fotovoltaicos integrados ao envelope da construção podem ser, atualmente, utilizados como elemento arquitetônico em coberturas, fachadas e janelas. Para tanto, a indústria vem produzindo uma diversificada série de produtos capazes de coletar e armazenar a energia solar, em diversos materiais - como módulos em aço inoxidável e vidros especiais autocolantes - para produção de energia fotovoltaica, que podem ser aplicados nas envoltórias dos edifícios (RÜTHER, 2004).

Desde 17 de abril de 2012, quando entrou em vigor a “Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012”, o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada e fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade. Trata-se da microgeração distribuída de energia elétrica, inovações que podem aliar economia financeira, consciência socioambiental e sustentabilidade (ANEEL, 2012).

Assim sendo, este estudo se justifica por usar a parametria, através do *software Rhinoceros® e dos Plug-ins Grasshopper® e Ladybug®*, para avaliar o ganho térmico de radiação nas fachadas e verificar a viabilidade de se instalar as placas fotovoltaicas sobre as mesmas, levando em consideração o entorno. Estudos que levem em consideração a geração de energia elétrica através de efeito fotovoltaico são importantes pelos potenciais benefícios que tal modalidade pode proporcionar ao sistema elétrico, contribuindo para o adiamento de investimentos em expansão dos sistemas de transmissão e distribuição de energia de fonte hídrica, redução no carregamento das redes em horário de pico e, principalmente, na diversificação da matriz energética brasileira, além de embasar novas propostas de leis de uso e ocupação das cidades. Cabe lembrar, que as condições climáticas brasileiras, associadas à excelente incidência de radiação solar, favorecem o uso de energia solar para aquecimento de água e geração de energia, todavia, é importante o estudo das melhores condições de implantação de um edifício e da influência do entorno.

A parametria pode ser entendida como uma prática de modelagem digital, que tem a capacidade de modelar uma série de situações de estudo, atribuindo relações matemáticas entre as variáveis, gerando assim algoritmos que abrangem grande quantidade de possibilidades. A modelagem paramétrica permite gerar, rapidamente, milhares de variações de projeto, não apenas pelo viés estético, mas também com o emprego multidisciplinar. Uma das vantagens da simulação paramétrica consiste na possibilidade de avaliação de múltiplas soluções de forma mais automatizada, em qualquer fase do projeto, mas principalmente nas fases de implantação. Para abordar esta questão, as ferramentas de projeto arquitetônico se ligaram a programas de simulação de desempenho que

permitem aos usuários quantificar o comportamento térmico, energético e luminoso de um edifício ou de um espaço urbano. (REINHART et al, 2015).

O objetivo geral desta pesquisa é realizar um estudo de caso, utilizando a simulação paramétrica, para avaliar a disponibilidade de área para incidência de energia solar e o potencial de ganho energético, através da radiação em fachadas de dois edifícios, já construídos, em duas diferentes áreas da cidade de Belo Horizonte, MG, considerando a volumetria já existente no entorno para verificar a viabilidade da instalação das placas fotovoltaicas e comparar os resultados obtidos. Para atingir este objetivo geral, têm-se os seguintes objetivos específicos:

- Desenvolver um algoritmo de simulação paramétrica utilizando o *software Rhinoceros®* e os *plug-ins Grasshopper®* e *Ladybug®*.
- Realizar a simulação do ganho energético, através da radiação nas fachadas, nos estudos de caso, verificando a viabilidade de instalação de placas fotovoltaicas.
- Comparar os resultados das simulações paramétricas de ganho energético de cada edifício, associando-os à morfologia do entorno e implantação do edifício.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Através do efeito fotovoltaico, células solares convertem diretamente a energia do sol em energia elétrica de forma menos poluente e renovável. Uma das mais recentes e promissoras aplicações da tecnologia fotovoltaica é a integração de painéis solares à envoltória dos edifícios, captando energia solar e produzindo energia elétrica de forma descentralizada e com interligação da instalação geradora à rede elétrica.

Segundo Rüter (2004), sistemas solares fotovoltaicos integrados a edificações urbanas e interligados ao sistema de distribuição oferecem uma série de vantagens para o sistema elétrico, muitas das quais estão relacionadas a custos evitados e outras vantagens que não vêm sendo atualmente consideradas ou quantificadas tais como: perdas por transmissão e distribuição de energia são minimizadas; investimentos em linhas de transmissão e distribuição são reduzidos; os edifícios solares fotovoltaicos não apresentam necessidade de área física dedicada, uma vez que a área necessária já é ocupada pela edificação; e geradores fotovoltaicos distribuídos estrategicamente apresentam mínima capacidade ociosa de geração, dentre outras.

É importante lembrar que tendo-se em vista o caráter não-linear da geração fotovoltaica, especial atenção deve ser dispensada à análise da injeção de componentes harmônicas de corrente e modificação nos perfis de tensão na rede, fatores estes que representam avarias à qualidade da energia elétrica suprida, caso não sejam adequadamente controlados. Existem hoje vários modelos de compensadores de harmônicos capazes de diminuir o impacto sobre a qualidade de energia em uma rede, devido à inserção de um painel fotovoltaico na mesma (FRANCO et al, 2018)

Como regra geral, a inclinação ótima dos painéis com relação ao plano horizontal para incidência solar é dada pela latitude local. A orientação ideal é aquela de uma superfície voltada para o equador (norte geográfico para instalações no hemisfério sul) e uma superfície livre de obstruções. Além disto, fachadas voltadas para o leste ou oeste podem ter performance satisfatória mesmo quando instaladas em ângulos agudos em relação ao horizonte, ou mesmo na vertical, com rendimentos da ordem de 60% em relação a uma orientação ótima, devido ao baixo ângulo do sol no início e final do dia (RÜTHER; KLEISS, 1996).

Gaviria et al (2013) avaliaram o potencial de aplicação de painéis fotovoltaicos em fachadas de edificações dentro de diferentes configurações urbanas, considerando o impacto do entorno construído na cidade de Florianópolis. Foram analisados diferentes modelos, variando parâmetros arquitetônicos e urbanos, por meio de simulações dinâmicas no *plug-in Diva*, que existe dentro do *software Rhinoceros*. Os autores estabelecem o limite mínimo de disponibilidade de radiação solar (kWh/m^2) para aproveitamento fotovoltaico em superfícies verticais opacas, com base na recomendação europeia, como de 60% do total disponível (CRONEMBERGER et al, 2012). Todavia, levaram em consideração o limite mínimo de radiação aproveitável para conversão fotovoltaica disponível nos modelos apresentados para Florianópolis, SC, que foi de 1376 kWh/m^2 . Gaviria et al (2013), adotam 40% como limite mínimo de radiação solar disponível para aproveitamento fotovoltaico em planos verticais (Quadro 1).

Quadro 1- Limite mínimo de disponibilidade de irradiação solar ($\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$) para aproveitamento fotovoltaico em superfícies verticais em ambientes urbanos na Europa e em Florianópolis.

	Europa**			Florianópolis		
	Alemanha	Espanha	França			
Níveis máximos	1.250	1.850	1.650	1.376.85*		
Nível mínimo recomendado (Europa)	60%					
Nível mínimo calculado (Florianópolis)	750	1.110	990	40%	50%	60%
				550	688	826

Fonte: Gaviria et al (2013)

Tabela 1- Faixas de disponibilidade de irradiação solar ($\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$) para aproveitamento Fotovoltaico em superfícies verticais em ambientes urbanos em Florianópolis.

Faixa de disponibilidade de radiação solar	
Baixa	0 - $550 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{ano}$
Média	$551\text{-}800 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{ano}$
Alta	$>800 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{ano}$

Fonte: Organizado pelos autores com base em Gaviria et al (2013)

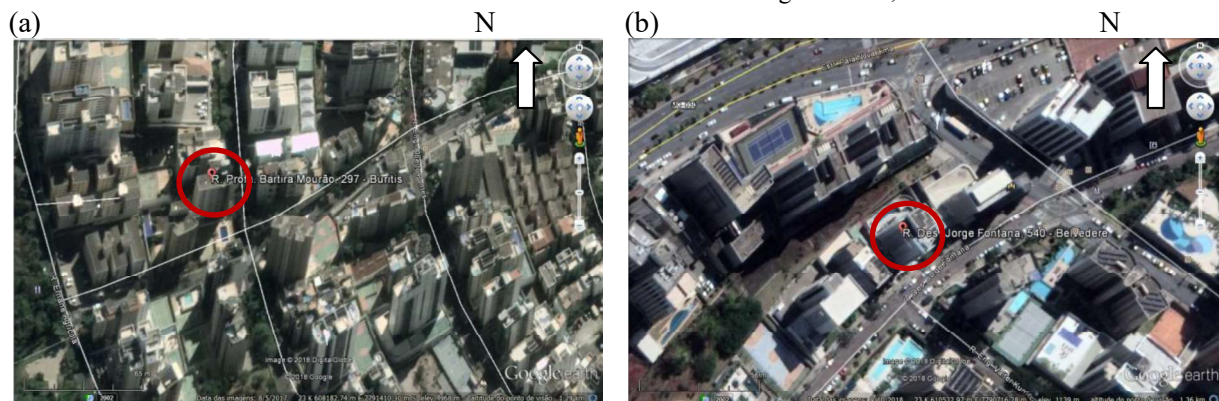
A escolha do tempo mínimo de insolação em fachadas para aproveitamento fotovoltaico depende do potencial fotovoltaico e da colocação das células fotovoltaicas nas superfícies dos edifícios. Knowles (1980) considera que um período mínimo de seis horas por dia será considerado ideal, utilizando para seus estudos na Califórnia, o horário das 9h00 às 15h00.

3.ÁREA DE ESTUDO

A cidade escolhida para o estudo de caso foi Belo Horizonte, MG, que está localizada na latitude $19^{\circ}45'$ sul e longitude $43^{\circ}51'$. De acordo com a classificação de Koppen, baseado nas Normais climatológicas de 1961-1990, o clima da região é classificado como CWA, clima tropical úmido com verões quentes e úmidos e invernos secos.

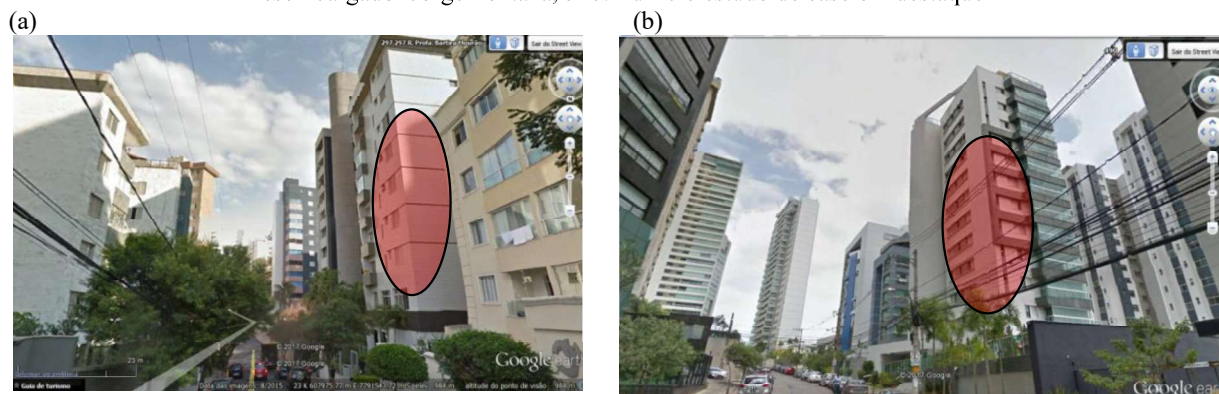
Dentro da malha urbana de Belo Horizonte foram selecionadas duas áreas, a primeira, situada no bairro Estoril (Figura 1a e 2a), região oeste da cidade e a segunda, situada no bairro Belvedere (Figura 1b e 2b), região centro-sul da cidade. As duas áreas têm relevância pelas transformações morfológicas pelas quais passaram nos últimos 30 anos, principalmente transformações ligadas ao adensamento e verticalização. A área do Estoril, segundo a evolução da Lei de Parcelamento Uso e Ocupação do Solo (LPUOS) de Belo Horizonte, estava inserida até 2010, na Zona de Adensamento Preferencial (ZAP), cujo coeficiente de aproveitamento (CA) era de 1,7 vezes a área do lote. Já a área de Belvedere estava inserida até 2010, na Zona de Proteção 3 ZP-3), cujo CA era de 1,5 vezes a área do lote, podendo ser acrescida de 20% em função da compra de Transferência do Direito de Construir (TDC). Ambos lotes foram edificados nesta época apresentando, assim, c.a. finais são muito próximos, o que permite uma análise das duas situações em massa construída possível.

Figura 1 - (a) Vista aérea Google Earth Pro do lote bairro Estoril, Rua Bartira Mourão, 297 e (b) Vista aérea Google Earth Pro do Lote bairro Belvedere Rua Des. Jorge Fontana, 540



Fonte: Google Earth Pro, 2017

Figura 2 - (a) Vista do lote bairro Estoril Rua Bartira Mourão, 297 e (b) Vista do lote bairro Belvedere, Rua Desembargador Jorge Fontana, 540. Edifício estudo de caso em destaque



Fonte: Google Earth Pro, 2017

4. METODOLOGIA

A metodologia utilizada para realização do estudo foi dividida em quatro etapas e obedeceu a seguinte seqüência:

1- Foram escolhidas duas edificações dentro de quarteirões típicos de cada bairro. O entorno de influência dos edifícios foi definido como o imediato, ou seja, as edificações vizinhas nas laterais e fundos.

2- Foram gerados no *software Rhinoceros®*, os volumes das edificações e do entorno selecionado. Os edifícios foram modelados seguindo as formas e dimensões reais. As fachadas foram simplificadas, não sendo consideradas varandas e áreas de janelas. O volume foi considerado como um sólido único sem diferença de materiais aplicados. As coberturas dos prédios foram consideradas como laje impermeabilizada. O *software Rhinoceros®* é uma ferramenta de modelagem 3D desenvolvida por Robert McNeel and Associates (2017), que fornece ferramentas de modelagem tridimensional precisa e prepara a modelagem para sistemas de parametrização em interface como o *plug-in Grasshopper®*, que contém ainda o *plug-in Ladybug®*.

3- Após a modelagem tridimensional foi utilizado o *plug-in Ladybug®* que funciona conectado ao *software Grasshopper®* e que permite a parametrização de variáveis associando-as aos arquivos tridimensionais gerados no *Rhinoceros®* para identificar a radiação solar global disponível nas superfícies das fachadas da envoltória das edificações, dada em kWh/m², considerando o entorno imediato nas duas áreas de estudo.

As simulações foram feitas a partir dos arquivos climáticos com a extensão EPW (*Energy Plus Weather*) com a base de dados SWERA (*Solar and Wind Energy Resource Assessment - DOE, 2013*), para a cidade de Belo Horizonte, estação climatológica da Pampulha. O período de exposição estudado foi de 6(seis) horas, ou seja, de 9h00min às 15h00min.

Levou-se em consideração a recomendação europeia de 60% do total disponível (CRONEMBERGER et al, 2012), porém levando-se em consideração o limite mínimo de radiação aproveitável para conversão fotovoltaica disponível nos modelos apresentados por Gaviria et al (2013), para Florianópolis, SC, que foi de 1376 kWh/m². Adotou-se, como em Gaviria et al (2013), 40% como limite mínimo de radiação solar disponível para aproveitamento fotovoltaico do presente trabalho.

4- Após a geração dos resultados, as duas situações urbanas foram comparadas.

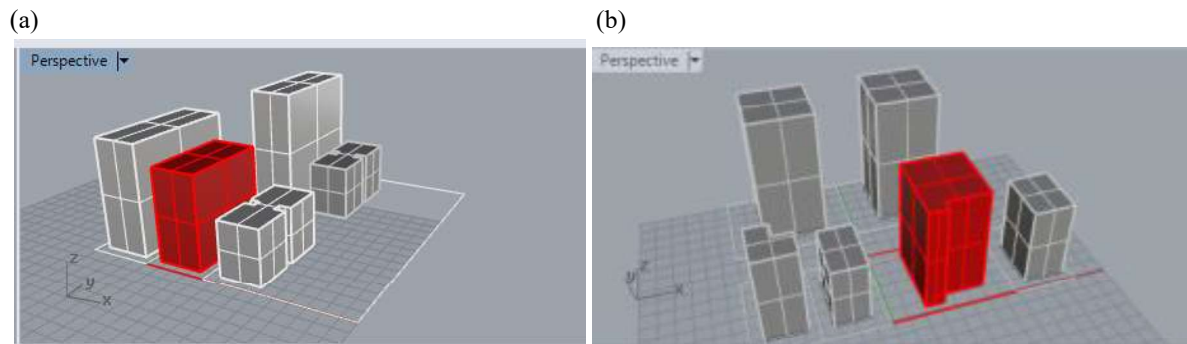
4. RESULTADOS

Os resultados deste estudo serão apresentados em três grandes grupos. O primeiro apresentará a montagem dos volumes dos edifícios e entorno desenvolvidos no *software Rhinoceros®*, o segundo grupo apresentará o algoritmo para geração da área e quantidade de radiação solar média incidente (kWh/ano), ao longo de um ano, em cada fachada do edifício desenvolvido com os *plug-ins Grasshopper® e Ladybug®*. No terceiro grupo serão apresentados os resultados das simulações que contêm as áreas e quantidade de radiação solar média, incidente nas fachadas.

Assim, a figura 3 apresenta os resultados da volumetria gerada no *software Rhinoceros®*. Os edifícios objeto de estudo estão apresentados em vermelho e o norte está colocado no sentido do eixo Y para as duas situações. Pode-se notar que apesar do coeficiente de aproveitamento ser muito próximo, 1,7 (Buritis) e 1,8 (Belvedere), o que diferencia as duas áreas é a volumetria e a morfologia urbana gerada pelo padrão econômico que o mercado imobiliário pretendia atender em cada uma das áreas. Percebe-se que, no bairro Estoril, os edifícios estudados têm aproximadamente 10 andares, com afastamentos variando entre 2,30 e 4,20 metros, o que gera uma morfologia adensada, com dois apartamentos por andar e atendendo à classe média. Já no bairro Belvedere, os edifícios estudados têm

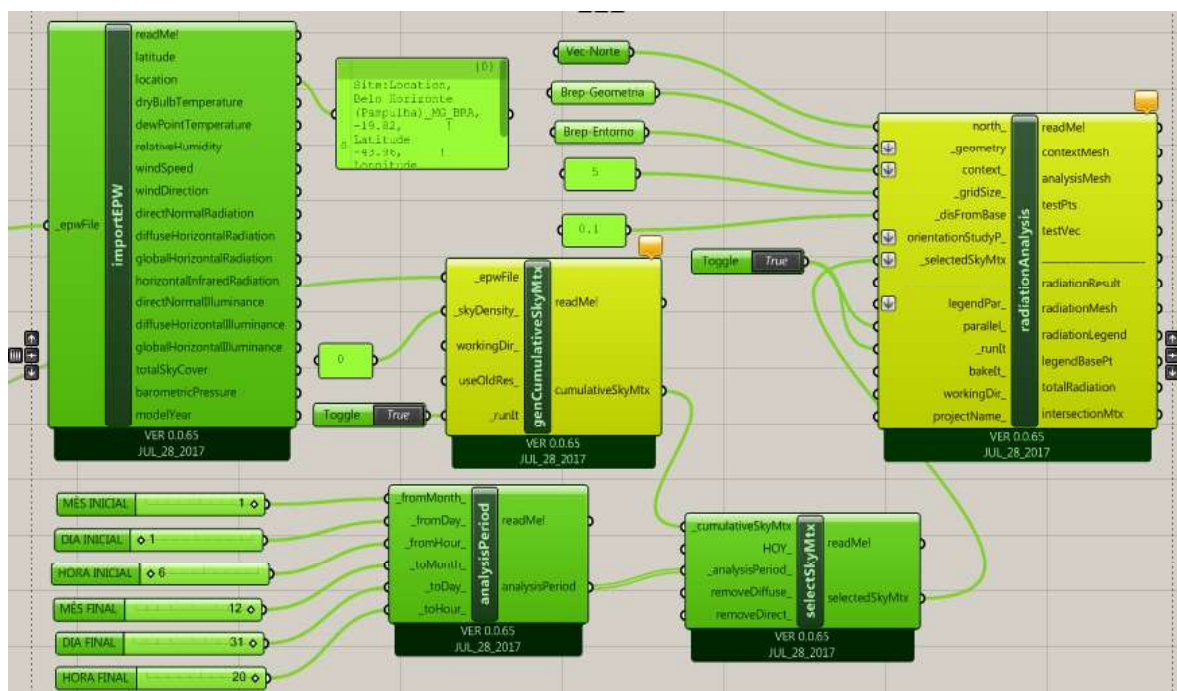
aproximadamente 15 andares e os afastamentos variam entre 4,8 e 6,30 metros, o que gera uma verticalização maior com liberação dos espaços nos andares no nível da rua, com um apartamento por andar e atendendo à classe média alta. Este tipo de implantação gera um maior acesso às variáveis ambientais - incidência solar e ventos, conforme detectaram também, Vilela et al (2010) em seu estudo.

Figura 3 –(a) Área de estudo do bairro Estoril e (b) Área de estudo do bairro Belvedere. Edifícios e entorno modelados no *software* Rhinoceros®



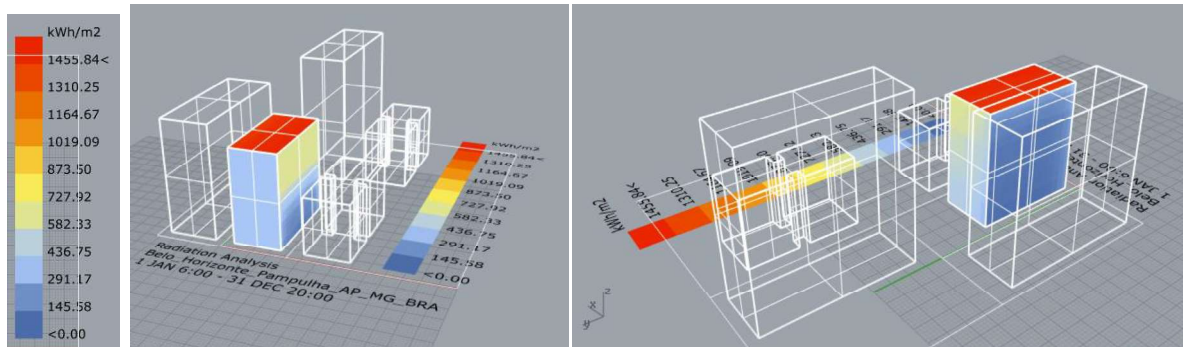
A Figura 4 apresenta o algoritmo com as variáveis parametrizadas pelos *plug-ins* *Grasshopper*® e *Ladybug*®. Os estudos de caso envolveram parâmetros de entrada fixos (iguais para todos os dois estudos) e variáveis de acordo com a situação do estudo. Foi utilizado como parâmetro de entrada fixa, o arquivo climático EPW para Belo Horizonte, estação climatológica da Pampulha, com o período de estudo de um ano completo. Como parâmetros de entrada que variaram de acordo com o estudo, tem-se a orientação norte, a geometria do edifício analisado e a geometria do entorno.

Figura 4 – Algoritmo e parâmetros aplicados aos estudos de caso para geração da análise de radiação incidente nas fachadas



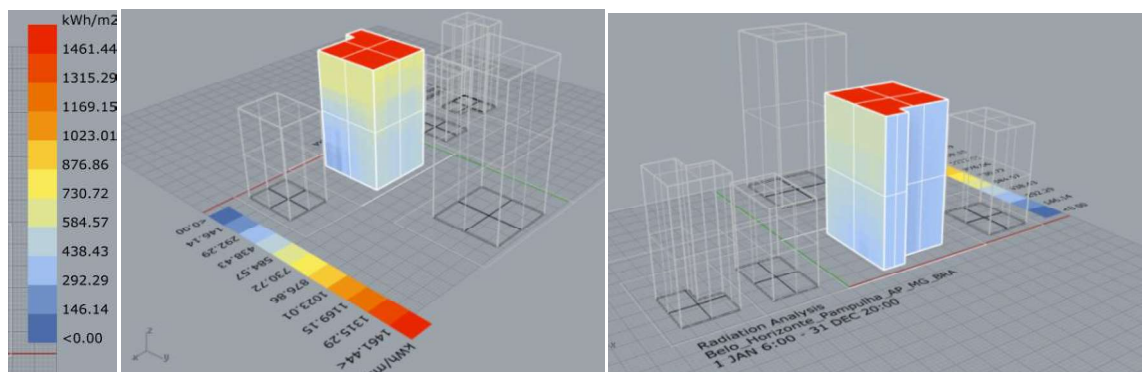
As figuras 5 à 8 apresentam a radiação incidente em cada fachada e na cobertura nas duas situações. De acordo com o Quadro 1, pode-se inferir que nos dois casos, a maior incidência se dá na cobertura, com uma radiação média anual de 1.455,84 kWh/m².

Figuras 5 e 6 – Radiação solar incidentes nas fachadas bairro Estoril em kWh/m².



Percebe-se nas Figuras 5 e 6, que correspondem ao bairro Estoril, que a fachada sul tem uma incidência de radiação solar média anual baixa (436,75 kWh/m²) e não atinge o limite mínimo necessário para geração de energia fotovoltaica. A fachada leste tem média incidência de radiação solar na porção média superior, atingindo a faixa mínima necessária (582,13 kWh/m²). A porção média inferior não atinge o mínimo necessário. A fachada oeste tem uma alta obstrução do entorno, que determina uma incidência de baixa radiação solar média anual (145,58 kWh/m²) e não atinge o mínimo necessário para geração de energia fotovoltaica. A fachada Norte tem média incidência de radiação solar na porção média superior, atingindo a faixa mínima necessária (582,13 kWh/m²). A porção média inferior não atinge o mínimo necessário para geração de energia fotovoltaica em fachadas.

Figura 7 e 8 – Radiação solar incidentes nas fachadas bairro Belvedere em kWh/m².



Pode-se constatar nas Figuras 7 e 8, que correspondem ao bairro Belvedere, que a fachada leste e a norte têm média incidência de radiação solar anual na porção média superior, atingindo a faixa mínima necessária (582,13 kWh/m²). A porção média inferior não atinge o mínimo de radiação solar necessária. A fachada sul tem uma baixa incidência de radiação solar média anual (436,75 kWh/m²) e não atinge o mínimo necessário. A fachada oeste tem média incidência de radiação solar na porção média superior, atingindo a faixa mínima necessária (582,13 kWh/m²). A porção média inferior não atinge o mínimo necessário para geração de energia fotovoltaica.

Com relação aos dois tipos de morfologias urbanas estudadas (Estoril e Belvedere), identifica-se que em nenhum dos dois a porção inferior da fachada é capaz de atingir a faixa mínima necessária para geração de energia fotovoltaica, bem como a fachada sul. Entre os dois tipos de morfologia estudados, a diferença em relação à maior ou menor incidência de radiação para geração de energia fotovoltaica acontecerá quando o vizinho muito próximo causar a obstrução total da fachada em determinada orientação, como é o caso da fachada oeste do bairro Estoril.

5. CONCLUSÕES

Esta pesquisa teve como objetivo realizar um estudo de caso, utilizando a simulação paramétrica, para avaliar a disponibilidade de área para incidência de energia solar e o potencial de ganho energético, através da radiação em fachadas de dois edifícios, considerando a volumetria já existente no entorno para verificar a viabilidade da instalação das placas fotovoltaicas e comparar os resultados obtidos. Foram utilizados os *softwares* *Rhinoceros*® com plug-ins *Grasshopper*® e *Ladybug*®.

Os *softwares* utilizados, com a possibilidade de parametrização, responderam bem às análises sugeridas e ainda permitem que se promovam inserções de novas variáveis e dados. Estes *softwares* trazem uma possibilidade importante de exploração para o planejamento urbano e de implantação dos edifícios, a partir da possibilidade de estudos rápidos e variados, de opções de implantação volumétrica de um edifício, em um lote específico no contexto urbano, visando um melhor posicionamento em relação à incidência de radiação solar nas fachadas que estão sendo projetadas. Pode-se inferir também, após desenvolvimento deste estudo, que a correta orientação do arruamento urbano, considerando as condições naturais, tais como a trajetória solar e intensidade de luz, podem, de forma simples, proporcionar melhores condições de acesso solar a todos os edifícios.

A pesquisa apresentou algumas limitações como a simplificação das fachadas e a descon sideração do terreno, que podem ser objeto de estudo no futuro. Entretanto, os resultados foram considerados bastante consistentes.

Este estudo de caso contribuiu para a compreensão da elaboração de algoritmo para análises paramétricas que podem gerar de forma clara e ilustrativa, a disponibilidade de área e quantificação da radiação solar incidente em fachadas. Além disso, discute-se a importância de se pensar a implantação de projetos dentro do tecido urbano, relacionando-o com o entorno existente. Os autores acreditam que a simulação paramétrica, apesar do alto grau de dificuldade é um processo válido por gerar diferentes resultados numéricos, que podem auxiliar nos processos de tomadas de decisões, principalmente no que se refere à incorporação de estratégias que promovam um melhor aproveitamento do potencial de energia solar no Brasil e que se proponham alterações nas Leis de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo dos centros urbanos.

REFERÊNCIAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa 482/12**. Disponível em: www.aneel.gov.br. Acesso em 28 set. 2017

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia 2030**. Brasília: EPE, p.408, 2007.



DOE - Department of Energy. **Weather Data**. Disponível em: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data3.cfm/region=3_south_america_wmo_region_3/country=BRA/cname=Brazil>. Acesso em 11 nov. 2017

CRONEMBERGER, J.; CAAMAÑO-MARTÍN, E.; SÁNCHEZ, S. V. **Assessing the Solar Irradiation Potential For Solar Photovoltaic Applications in Buildings at Low Latitudes: making the case for Brazil**. *Energy and Buildings*, v. 55, 2012, p. 264-272.

DOGAN, T.; REINHART, C. Atmosphères: proof of concept for web-based 3D energy modeling for designers with webgl/html5 and modern event-driven, as chronous server systems. In: 13th CONFERENCE OF INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION (IBPSA), 2013, França. **Anais...Chambéry: IBPSA**, 26-28 ago. p. 1039-1044. Disponível em: <http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2013/p_1440.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2017.

FRANCO R. A. P.; CORRÊA H. P.; VIEIRA F. H. T.; CASTRO M. S. C. Redução da injeção de harmônicos por sistemas fotovoltaicos na rede de energia utilizando algoritmo Fuzzy In: VII Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2018, **Anais...Gramado**: 17-20 abr. Disponível em: <<http://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens>>. Acesso em: 15 out 2018.

GAVIRIA, L. R.; PEREIRA, F. O. R.; MIZGIER, M. O. Influência da configuração urbana na geração fotovoltaica com sistemas integrados às fachadas. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v. 13, n. 4, out./dez. 2013, p. 7-23.

KNOLES, R; BERRY, R. **Envelope Concepts; Moderate Density Building**. Los Angeles-CA: School of Architecture, University of Southern California, 1980.

PBH- Prefeitura Municipal de Belo Horizonte-Secretaria Municipal Adjunta de Regulação Urbana. **Lei de Parcelamento, Ocupação e Uso do Solo. Belo Horizonte: PROBADEL**, 2012.

Robert McNeel& Associates. **Rhinoceros**. Disponível em <http://www.rhino3d.com>. <http://www.rhino3d.com>. V.5., 2017. Acesso em 25 Set. 2017.

RÜTHER, R; KLEISS. **Advantages of Thin Film Solar Modules in Façade, Sound Barrier and Roof-Mounted PV Systems**. Conference: Proc. 1st EuroSun. Freiburg, 1996.

RÜTHER, R.; **Edifícios Solares Fotovoltaicos: O Potencial da Geração Solar Fotovoltaica Integrada a Edificações Urbanas e Interligada à Rede Elétrica Pública no Brasil**. Editora UFSC / LABSOLAR, 2004.

SWERA. **Solar and Wind Energy Research Assessment**. Disponível em: <http://maps.nrel.gov/SWERA>. Acesso em 11 nov. 2017.

UNITED NATION, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. **World Urbanization - Prospects The 2014 Revision**. New York, 2015.

VILELA, J; ASSIS, E.; SOUZA, R. **The use of Solar Envelopes as an alternative to grant the access to solar energy and daylighting at urban spaces: study using the software Cityzoom®**. Escola de Arquitetura da UFMG-LABCON, 2010