XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

ENERGIA NA CIDADE ATRAVÉS DO ENVELOPE SOLAR: UMA REVISÃO DA LITERATURA

Jacqueline Alves Vilela (1); Eleonora Sad de Assis (2)
(1) Arquiteta, Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável (UFMG), arqjacvilela@gmail.com
(2) Arquiteta, D. Sc., Professora do Dep. de Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo (UFMG), eleonorasad@yahoo.com.br
Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura (EA-UFMG), Rua Paraíba, 697, 30130-141 - Belo Horizonte - MG, Tel. (31)3409-8823

RESUMO
Diante da imensa população mundial que se abriga nas cidades e da demanda crescente por energia renovável, o uso dos envelopes solares, que pode garantir o acesso a energia solar, coloca-se como um conceito fundamental e indispensável para as cidades no século XXI. Assim, o objetivo deste artigo é realizar uma revisão da literatura que aborde o envelope solar e sua aplicação dentro do tecido urbano. A revisão abrangerá os estudos de conceituação e aplicação disponíveis. Como metodologia de pesquisa, adotou-se o método qualitativo-descritivo e como procedimento técnico a pesquisa documental e bibliográfica em bases de portais eletrônicos disponíveis. Foram triados e analisados 16 estudos publicados, além de textos clássicos e conceituais. Os resultados foram contextualizados e comparados evidenciando-se convergências e divergências entre os estudos. Apesar de alguns autores evidenciarem a importância do uso da técnica do envelope solar e disponibilizarem metodologias e software para geração dos mesmos, na fase de concepção de projetos, a grande lacuna é evidenciada quando se coloca que não existe ainda, nas cidades brasileiras, nenhuma legislação que proponha e assegure o acesso ao sol em edifícios para uma efetiva mudança da matriz energética brasileira.
Palavras-chave: Envelope Solar, Energia solar.

ABSTRACT
Faced with the immense world population that is sheltered in cities and the growing demand for renewable energy, the use of solar envelopes, which can guarantee access to solar energy, is a fundamental and indispensable concept for cities in the 21st century. Thus, the objective of this article is to carry out a literature review that addresses the solar envelope and its application within the urban fabric. The review will cover the available conceptualization and application studies. As a research methodology, the qualitative-descriptive method was adopted, and as a technical procedure, the documentary and bibliographic research was carried out on the basis of available electronic portals. Sixteen published studies and classical texts were screened and analyzed. The results were contextualized and compared, revealing convergences and divergences between the studies. Although some authors highlight the importance of the use of the solar envelope technique and provide methodologies and software to generate them, in the project design phase, the great gap is evidenced when it is stated that there is no legislation in Brazilian cities which proposes and ensures access to the sun in buildings for an effective change in the Brazilian energy matrix
Keywords: Solar envelope, Solar energy.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos dois séculos, assistiu-se no mundo ocidental, a um grande impulso no desenvolvimento das cidades, de tal forma que, as áreas urbanas abrigam hoje aproximadamente 54 % população mundial, uma proporção que se espera, venha a aumentar para 66% em 2050, segundo dados do Relatório de Prospecção da População Urbana das Nações Unidas (2014). No Brasil a população urbana chegará a 88% do total, sendo que 1/6 deste número estará habitando favelas (BRASIL, 2007).

As cidades brasileiras cresceram sendo o reflexo da aplicação de Leis de Uso e Ocupação do Solo (LUOS) que as setorizam, de forma geral, com base em permissividade de usos, onde a orientação do edifício é geralmente determinada pelo layout do arruamento e conseqüentemente, um edifício pode facilmente projetar sombra sobre o outro. Neste contexto, poucos estudos e projetos consideram as vantagens de uma boa orientação solar, diretrizes bioclimáticas e ganhos energéticos através das envoltórias, que a implantação do edifício pode propiciar. Estas vantagens devem ser levantadas, principalmente, quando se considera que a produção de energia constitui-se em uma das principais questões a serem enfrentadas na cidade do século XXI (CALVILLO, SÁNCHEZ-MIRALLES, VILLAR, 2016).

Segundo Geller (2003), a energia permeia a vida humana e afeta diretamente todas as atividades deste ser, sejam elas, sociais, econômicas ou culturais. O autor mostra ainda, que as tendências mundiais de produção de energia, baseadas em combustíveis fósseis, não são sustentáveis, causando mudanças climáticas aceleradas, uma rápida depleção dos recursos naturais e um colapso urbano, quando se levam em consideração, a poluição do ar, as opções de transporte, além da oferta de serviços básicos, como o fornecimento de energia para uma população urbana sem precedentes.

Dentre os grupos setoriais estratificados pelo Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2015), o setor residencial brasileiro apresenta-se como o segundo maior consumidor de energia elétrica, atrás apenas do setor industrial. A participação relativa ao consumo de energia elétrica do setor residencial foi de 22,6% em 2004, evoluindo para 24,6% em 2014. Conforme as premissas do Plano Nacional de Energia 2030(PNE-2030), elaborado em 2007, a participação relativa do consumo de energia elétrica do setor residencial, para quatro diferentes cenários em 2030, foi projetada entre 24,3% e 28,7% (BRASIL, 2007). Percebe-se então, uma mudança de comportamento no padrão de consumo energético do setor residencial brasileiro, bem como a consolidação de uma situação de dependência. Pode-se inferir que se for mantida esta situação atual, poderá haver um comprometimento da segurança de fornecimento de energia, um aprofundamento nas questões ambientais e bem estar das gerações futuras.

A energia elétrica é a segunda maior fonte energética consumida no Brasil, atrás somente das fontes derivadas do petróleo, e seu consumo relativo no ano de 2014, dentre as demais fontes, foi de 17,2%. A principal fonte geradora de energia elétrica no Brasil ainda é a hidráulica. Todavia, o objetivo do governo brasileiro (BRASIL, 2015) é ter, até 2030, uma matriz com fontes renováveis variando entre 28% e 33%, sem contar com a fonte hídrica, ou seja, a partir de usinas eólicas, solares e a biomassa. Segundo dados do GreenPeace Brasil (2016) é possível chegar a 34% da eletricidade oriunda dessas fontes renováveis, isso porque existe um grande potencial para implementar medidas de eficiência energética e grandes áreas de captação de energia eólica e solar no Brasil. Entretanto, Pereira(2010) indica em sua tese, que envolve a compreensão das variáveis que interferem no consumo energético das edificações e os padrões de implantação das edificações, que o parque edificado brasileiro não foi dimensionado ou preparado para atingir este potencial, o que levanta um grande desafio para os planejadores urbanos.

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 ligado 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).

Para Calvillo, Sánchez-miralles e Villar (2016) a cidade inteligente do século XXI deve gradualmente migrar para um esquema completo de energia renovável, uma meta que pode ser facilitada pela Geração Distribuída (GD). Em 2012, a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, publicou a Resolução Normativa 482/12, que assegura que qualquer cidadão brasileiro que produzir a própria energia poderá

reivindicar sua integração à rede elétrica comum e terá o valor da conta de luz reduzido. Além de poder enviar energia para a rede elétrica. Com isso, será gerado um crédito onde, o valor pago na conta de energia será apenas a diferença entre a energia produzida e enviada à rede e a consumida. Caso haja excedente, a energia produzida a mais será usada como crédito nos 36 meses seguintes. Inúmeros são os exemplos de realizações recentes com princípios solares nos cinco continentes, tanto nos projetos de edificações isoladas, como em conjunto, utilizando o potencial para o aproveitamento da energia solar no aquecimento e resfriamento de água e ambientes, e na conversão de energia solar em energia elétrica.

Assim, frente ao desafio da diversificação da matriz energética brasileira e da assimilação da nova definição de cidade, que deve estar embasada na sustentabilidade, o conceito de Envelope Solar, que se busca explorar neste estudo, abrange alguns conceitos fundamentais e indispensáveis para as cidades no século XXI: a possibilidade de se garantir o acesso ao sol nas envoltórias e se trabalhar com energia solar renovável e a possibilidade de geração distribuída dentro do tecido urbano.

2. OBJETIVO

Tendo em vista a contextualização apresentada, o objetivo deste artigo é realizar uma revisão da literatura que aborde o envelope solar e sua aplicação dentro de cidades. A revisão abrangerá os estudos de conceituação e aplicação disponíveis.

3. MÉTODO

Como metodologia de pesquisa, adotou-se o método qualitativo-descritivo e como procedimento técnico a pesquisa documental e bibliográfica (LAKATOS; MARCONI, 2003). A fase de coleta de dados contou com múltiplas fontes de evidência, publicações clássicas, periódicos nacionais e internacionais, além de consulta em Anais de eventos nacionais e internacionais. As buscas foram feitas através de portais eletrônicos, nas bases *Scielo, Scopus(Elsevier), Web of Sciences, Google Scholar e Academic* e sem limite de data, utilizando-se o descritor "solar envelope". Os resultados foram armazenados e organizados no programa *Mendeley* para análise. Foram triados e analisados 16 estudos publicados, em Anais de eventos e revistas internacionais de alto impacto e textos clássicos e conceituais. Posteriormente, Os resultados foram contextualizados e comparados evidenciando-se convergências e divergências entre os estudos Além disso, ressaltaram-se os resultados mais relevantes acerca do uso dos envelopes solares e sua aplicação no tecido urbano.

4. O ENVELOPE SOLAR

4.1. Definição

O Envelope Solar tem seu conceito básico proposto pela Escola de Arquitetura da cidade de Los Angeles, na Califórnia, Estados Unidos, pelas equipes dos professores Ralph L. Knowles e Richard D. Berry (1980). Foi desenvolvido em resposta ao programa "*Solar City Program*", que quando anunciado em 1976, tinha como objetivo incentivar o uso da energia solar nas residências, em virtude dos problemas com a matriz energética naquela cidade. O método foi simulado em uma área selecionada, de densidade moderada, da cidade de Los Angeles em duas hipóteses: uma para edifícios comerciais e outra para casas residenciais.

O método propõe um novo conceito de zoneamento para as Leis de Uso e ocupação do Solo e tem como objetivo principal garantir aos edifícios e à parcela do solo, o acesso ao sol. O envelope solar é definido dentro de um espaço tridimensional, no qual o edifício pode se desenvolver. Através de uma larga possibilidade de combinações volumétricas, nos projetos dos edifícios, é possível trabalhar os volumes, de forma a não permitir o sombreamento dos edifícios e das parcelas de terrenos vizinhos em determinadas horas e locais. Pode ser utilizado para novas construções e para reconstruções dentro da malha urbana (KNOWLES, 2003).

O Envelope Solar foi desenvolvido para limitar e modular a volumetria dos edifícios em determinado contexto, em determinada localização, devendo ser desenvolvido especificamente para cada propriedade ou parcela de terra urbana, pois são derivados do movimento do sol, o qual proporcionará uma incidência específica, dependendo da localização do objeto de estudo no globo terrestre (KNOWLES, 2003). Em comparação com as práticas convencionais de zoneamento, o envelope solar produz uma geometria diferente: os limites do envelope derivam suas dimensões verticais dos movimentos diários e sazonais do sol. Assim, enquanto os envelopes de zoneamento convencionais, das LUOS, têm a forma de um paralelepípedo, o envelope solar tem espaços verticais e inclinados. Como resultado, os edifícios e blocos que preenchem esses envelopes solares imaginários são mais propensos a ter formas únicas. Ruas assumem um caráter direcional onde a orientação solar é claramente reconhecida.

O envelope solar não é definido apenas pelo caminho do sol, mas também por parâmetros fixos definidos pelo projetista. A escolha destes determinará o equilíbrio entre o acesso solar e o potencial de desenvolvimento do projeto. A escolha mais importante é a definição das horas durante as quais se quer evitar a projeção de sombras em terrenos adjacentes. Quanto mais longo for o período de acesso solar diário, menor será o volume desenvolvível sob o envelope. Obviamente, definir os tempos de corte como iguais ao período entre o nascer e o pôr-do-sol não funcionaria, porque, nesse caso, poucos ou quaisquer edifícios poderiam ser construídos. Para o projeto solar passivo, no mínimo 6 horas por dia no inverno é considerado ideal, dependendo do clima (KNOWLES, 2003)(Figura 1).

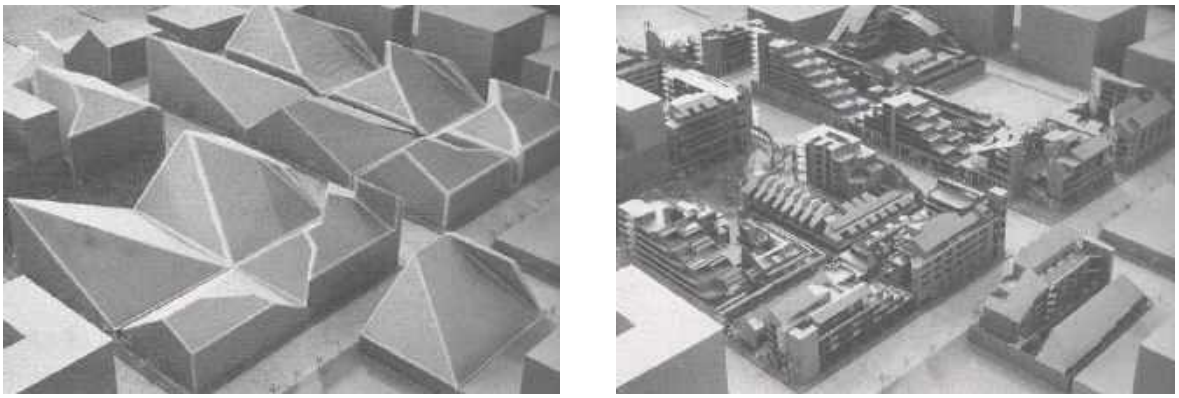


Figura 1- Estudo da implantação dos envelopes (esquerda) e desenho dos edifícios gerados através dos envelopes (direita) em Southpark, Los Angeles. (KNOWLES, 2003)

4.2. Ferramentas de geração do envelope solar

Muitos trabalhos já foram feitos ao longo dos anos para criar ferramentas computacionais para gerar envelopes solares. Henkhaus (2012) descreve alguns dos *softwares* de geração de envelope solar existentes:

-SolCAD®: Esta ferramenta foi desenvolvida por Manu Jayal e Karen Kensek na USC School of Architecture. Esta ferramenta pode gerar envelopes solares e é compatível com programas CAD, como o AutoCAD e o form_Z.

-CalcSolar®: Foi desenvolvido por Karen Kensek na USC School of Architecture, em 1995, usando o AutoLisp. Esta ferramenta foi conectada ao AutoCAD, e todas as entradas, cálculos e resultados do usuário podem ser visualizados no AutoCAD.

-*DIVA for Rhino*: O *DIVA for Rhino* é um componente do *plug-in* do *Grasshopper*® para o *Rhinoceros*®. Os recentes lançamentos do plug-in DIVA incluem um gerador de envelopes solares, que são gerados usando a técnica de interseção booleana. Há uma extrusão para cada um dos dois tempos de corte (manhã e noite) no solstício de verão e inverno.

-Ladybug: O ladybug é um plug-in que funciona conectado ao *software Grasshopper*® e que permite a parametrização de variáveis associando-as aos arquivos tridimensionais gerados no *Rhinoceros*® para identificar os envelopes solares, além de identificar a radiação solar global disponível nas superfícies das fachadas da envoltória das edificações, dada em kWh/m², considerando o entorno.

-Gerador de envelope solar para BIM usando o Revit® API. Desenvolvido por Alicyn Henkhaus, em 2012, juntamente com Karen Kensek, esta ferramenta trabalha com o plug-in para o Revit arquitetura. O método de geração seguido nesta ferramenta é o método dos sólidos cortados. O usuário é solicitado a inserir informações sobre o local e requisitos de acesso solar. O sólido do local extrudado é cortado pelos sólidos vazios, para gerar o envelope solar final.

-Cityzoom®: Turkienicz, Oliveira e Grazziotin (2008) criaram um software, que trabalha em interface com programas CAD e GIS e gera simulações do que seriam os envelopes em determinadas condições

4.3. Aplicações

Knowles(2003) desenvolveu em Los Angeles vários estudos (Figura 2) sobre o potencial de aplicação do envelope solar. Estes foram feitos em diferentes locais, topografias, orientações de rua e características de vizinhança, a fim de testar a eficácia do envelope em uma variedade de condições urbanas e ambientais. Além disso, os estudos abordaram diversas densidades demograficas, que podem ser medidas de duas formas basicamente: A primeira calcula a quantidade de unidades habitacionais por unidade de área e a segunda determina a quantidade de pessoas por unidade de área. Knowles e seus alunos atingiram densidades de até 100 unidades habitacionais(UH) por acre (4046,86 metros²), para projetos residenciais. Ao se contabilizar

uma média de duas pessoas por apartamento, tem-se 200 pessoas por acre, o que significa 1 pessoa para cada 20 m². Segundo Knowles, na maior parte dos estudos, as densidades demográficas das regiões são mantidas.



Figura 2- Edifícios projetados dentro do envelope solar em Los Angeles (KNOWLES, 2003)

Existem alguns trabalhos importantes que estudam a implantação das edificações dentro de um contexto urbano específico, que otimizem as relações entre o edifício e o meio ambiente.

Brown e Dekay (2004) ensinam a gerar envelopes solares em ambiente 3D Studio Max8® e Google SketchUp®, usando o comando de insolação dos dois softwares para a introdução dos dados de latitude, longitude, mês, dia e hora, obter os azimutes e alturas solares, que serviram para gerar os envelopes solares. Com a maquete eletrônica definida foi possível analisar as sombras em diversos horários a partir de dados pré-estabelecidos e os envelopes solares.

Shaviv e Capeluto (2001) desenvolveram um sistema de malhas urbanas com considerações de direito ao sol, em que o modelo permite a geração e avaliação das configurações do edifício, preservando os direitos ao sol para cada edifício vizinho e para os espaços abertos entre eles. É possível alcançar uma alta densidade urbana de cerca de 160% a 180%, mantendo os direitos solares de todos os edifícios, bem como alcançar calçadas insoladas. Densidades mais altas podem ser alcançadas ao longo da rua orientada para nordeste-sudoeste. Em segundo lugar, é a rua leste-oeste. A menor densidade é alcançado ao longo da rua noret-sul. Alturas diferentes dos edifícios são necessários, dependendo da orientação da rua ao longo da qual eles são localizados.

Vilela *et al*. (2010) desenvolveu um estudo gerando os envelopes solares na Praça da Liberdade, em Belo Horizonte, MG, utilizando o Cityzoom® e concluiu que o programa apresenta algumas limitações ao trabalhar com lotes irregulares e de topografia com grandes aclives ou declives. Os resultados dos envelopes gerados neste estudo são apresentados na Figura 3.

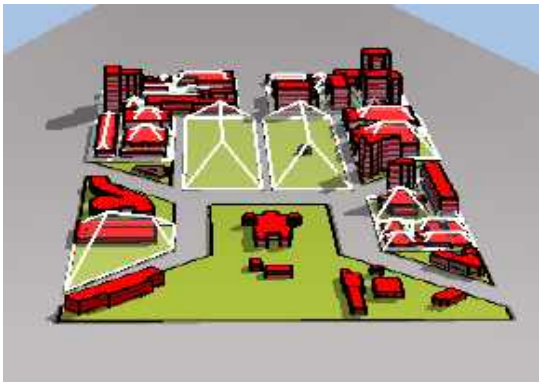


Figura 3- Envelopes solares gerados às 9 horas na Praça da Liberdade em Belo Horizonte, MG, através do software Cityzoom® (VILELA *et al*., 2010)

Pérez (2013) propôs verificar o potencial do envelope solar, como possível critério para criação de diretrizes urbanísticas aplicáveis no controle da ocupação do solo urbano, em estudos de caso na cidade de Campinas, SP. Iniciou seu trabalho utilizando o software Autocad® para o desenho dos quarteirões e perímetro das edificações, exportando as polilinhas para o Google SketchUp®, onde foi executada a modelagem dos quarteirões, a volumetria das edificações e dos envelopes solares. Posteriormente, utilizando os softwares Rhinoceros®, com os aplicativos Grasshopper® e Diva®, inseriu os dados de radiação solar, iluminação natural, energia e ofuscamento. Desta forma, foi possível averiguar o potencial construtivo máximo que os novos envelopes solares gerados poderiam fornecer. Foram criados módulos construtivos de 3,0m x 3,0m x 3,0m para que se pudesse extrair as áreas de construção por pavimento e o número de pavimentos que poderiam estar contidos nos envelopes solares, bem como definir as taxas de ocupação, áreas livres e CA (Coeficientes de Aproveitamento) Máximos, como se apresenta na Figura 4.

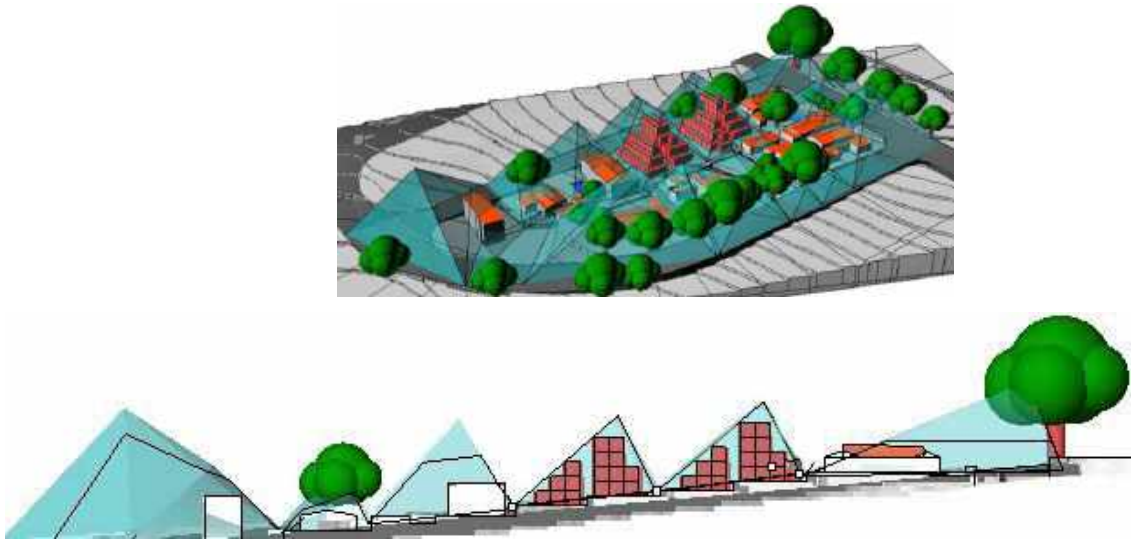


Figura 4- Envelopes solares gerados por Pérez, em Campinas, SP, para incidência solar de 10 às 14 hs. (PÉREZ, 2013)

Bhattacharjee (2016) estudou os efeitos de envelopes solares para locais com edifícios existentes. Para isso, uma ferramenta de geração de envelope solar foi desenvolvida usando a plataforma de scripts visuais do Dynamo, para trabalhar com o Revit. Duas geometrias de construção foram testadas. A primeira geometria é um edifício retangular. A segunda geometria considerada foi um edifício em forma de L, que fica no mesmo local que antes, e tem a mesma altura. Quatro geometrias de teste para o edifício em forma de L foram consideradas. Os mesmos parâmetros de latitude que antes eram considerados foram testados. Todas as quatro geometrias foram testadas em cinco latitudes diferentes, mas com o mesmo tempo de corte. O objetivo deste estudo foi calcular a área de piso adicional possível por causa da adição de envelopes solares aos edifícios. A área escolhida foi no centro de Los Angeles em uma área principalmente comercial. Os resultados indicam que é possível adicionar volume a um edifício existente sem lançar sombras extras.
A latitude do local está diretamente relacionada à quantidade de volume que possivelmente poderia ser adicionada. O valor da latitude é inversamente relacionado ao volume adicionado. Isto significa que quanto mais longe do equador, menos volume total poderá ser adicionado.

Nos Estados Unidos da América do Norte, *o U.S. Department of Energy*, pela *Office of Energy Effciency and Renewable Energy* – EERE, através de seu site, disponibiliza o *Consumer's Guide* (Manual para o consumidor) que define que o acesso solar é considerado como a disponibilidade de (ou o acesso à) luz solar desobstruída, direta. Trinta e quatro estados americanos têm algum tipo de proteção para o acesso a energia solar. No entanto, mesmo aqueles estados que têm Leis de acesso solar têm uma necessidade real de aplicação simplificada, pois estas questões de aplicação podem tornar as leis ineficazes ou sujeitas a litígio (KETTLES,2008). O Código Civil da Califórnia estabelece a criação de servidões para assegurar o direito de receber a luz solar para todo sistema de energia solar. O *Solar Access Regulations* (1991), no estado do Colorado, limita a quantidade de sombra permitida por nova construção e requer que todos os novos edifícios sejam situados para permitir um bom acesso solar, além da legislação, publica um manual de acesso ao sol, ou de análise de sombras solares para ajudar arquitetos, engenheiros, empreendedores e construtores em geral a trabalhar com o direito ao sol. A POLIS - Identificação e Mobilização do Potencial Solar via estratégias Locais (POLIS, 2010) é um projeto de cooperação europeia que visa programar estratégias e políticas locais de planejamento urbano que impulsionem o potencial solar de estruturas urbanas nas cidades desse continente.

5. CONCLUSÕES

O presente estudo teve como objetivo realizar uma revisão da literatura que abordasse o envelope solar e sua aplicação dentro das cidades, abrangendo os estudos de conceituação e aplicação disponíveis. Considera-se que o estudo atingiu o objetivo, pois levantou os principais grupos e estudos que utilizam o envelope solar como forma de garantir o acesso solar as edificações dentro do meio urbano.

Apesar de alguns autores já terem disponibilizado metodologias e *softwares* que podem intervir nas LUOS garantindo o acesso ao sol na fase de concepção de projetos, tal como fez Pérez (2013), não existe ainda, nas cidades brasileiras, nenhuma legislação que proponha e assegure o acesso ao sol em edifícios para uma efetiva mudança da matriz energética brasileira.

Com este trabalho, contribuiu-se para a confirmação de que existem imensas oportunidades de

melhoria das possibilidades de se garantir o acesso ao sol nas envoltórias, de se trabalhar com energia solar renovável e geração distribuída dentro do tecido urbano, uma vez que as principais tecnologias necessárias já se encontram disponíveis, abrangendo todas as etapas do ciclo de vida dos edifícios. Urge o estabelecimento políticas urbanas que incentivem o aumento da utilização da energia solar.

Espera-se que os resultados do presente estudo contribuam para a maior compreensão e adoção da técnica do envelope solar no meio urbano. Estudos futuros podem contemplar aplicações diversas no tecido urbano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA-ANEEL. **Resolução Normativa 482/12**. Disponível em: <www.aneel.gov.br>. Acesso em 28 out. 2018.

BHATTACHARJEE S. Pushing the solar envelope: determining solar envelope generating principles for sites with existing buildings. Tese(doutorado) Faculty of the School of Architecture University of Southern California, 2016.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia 2030**. Brasília: MME: EPE, 2007. Disponível em: < http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-165/topico-173/PNE%202030%20-%20Proje%C3%A7%C3%B5es.pdf. Acesso em: Acesso em 20 abr. 2018.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional 2015: Ano Base 2014**. Rio de Janeiro, 292 p., 2015.

BROWN G.; DEKAY M. **Sol, Vento e Luz: Estratégias para o Projeto de Arquitetura**. Bookman, 2004.

CALVILLO, C.F.; SÁNCHEZ-MIRALLES, A.; VILLAR, J. Energy management and planning in smart cities. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Elsevier, vol. 55(C), pages 273-287.2016.

Departamento de Energia dos Estados Unidos da América. **Consumer guide for solar**. Disponível em <www.energy.gov/eere/sunshot/downloads/Consumer-guide-solar>. Acesso em 20 out. 2018

GELLER, H.S. **Revolução Energética: Políticas para um futuro sustentável**. Rio de Janeiro: Relume Dumará: USAid, 2003.

GREENPEACE BRASIL. Alvorada**: Como o incentivo à energia solar fotovoltaica pode transformar o Brasil**. Mai. 2016. Disponível em:< https://storage.googleapis.com/planet4-brasil-stateless/2018/07/Relatorio_Alvorada Greenpeace_Brasil.pdf> Acesso em 16 set. 2018

HENKHAUS, A. E. **Computer-Generated Solar Envelopes and Building Information Modeling (BIM)**. Tese(doutorado) Faculty of the School of Architecture University of Southern California, 2012.

KETTLES, C.M. A Comprehensive Review of Solar Access Law in the United States - Suggested Standards for a Model Statute and Ordinance. In: **Solar America Board for Codes and Standards.** October 1, 2008. Disponível em http://www.solarabcs.org/about/publications/reports/solar-access/pdfs/Solaraccess-full.pdf.. Acesso em 28 set. 2018.

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

KNOWLES, R. The solar envelope: its meaning for energy and buildings. In: **Energy & Buildings**, Vol.35 (1), p.15-25 35, 2003. p. 15–25

LAKATOS, E.M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

PEREIRA, I.M. **Desenvolvimento de metodologia para planejamento energético integrado ao espaço urbano: um estudo do setor residencial de Belo Horizonte.** Tese (doutorado). Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, 2010.

PÉREZ, D. **Diretrizes solares para o planejamento urbano: o envelope solar como critério para adensamento e verticalização**. Tese (Doutorado). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP, 2013.

POLIS - **Identification and Mobilization of Solar Potentials via Local Strategies**. Disponível em: https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/en/projects/polis. Acesso em 02 out. 2018.

SHAVIV, E.; CAPELUTO, G. Modeling the design of Urban fabric with Solar Rights considerations. In: **Solar Energy**. Israel Institute of Technology, Haifa, Israel, v. 70, Issue 3, p. 275-280, 2001.

TURKIENICZ, B.; OLIVEIRA, B. B.; GRAZZIOTIN, P. C. CityZoom:A VisualizationTool for the Assessmentf Planning Regulations. In: **International Journal of Architectural Computing**, v. 6, p. 79-95, 2008.

UNITED NATION, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World Urbanization - 2014 revision of the World Urbanization Prospects. 10 July 2014, New York. Disponível em: < https://www.un.org/development/desa/publications/2014-revision-world-urbanization-prospects.html. Acesso em 20 out. 2018.

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

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

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio PROAP/CAPES-PACPS-UFMG.