

Digital Tools to Analyze Sunlight Availability for Vertical Farming in Buildings Facades

Lídia Pereira Silva, Pedro Gomes Januário, Paulo Manuel dos Santos Pereira de Almeida

OBATI – Observatório de Arquitetura, Tecnologia e Inovação, CIAUD Centro de Investigação, Faculdade de Arquitetura, Universidade de Lisboa

lidia.pereira.arq@gmail.com
arq.pedro.januario2@gmail.com
ppaarq@gmail.com

Abstract. This article aims to present the development of a tool to analyze sunlight availability for vertical farming in buildings facades. For the elaboration of this support system, a resource-based visual programming language was used, where indicators of solar radiation, Photosynthetic Photon Flux Density (PPFD) and Daily Light Integral (DLI) make up the inputs and outputs. To validate the developed system, an analysis of a residential area, located in the city of João Pessoa - Paraíba, was proposed. After the simulation, it was possible to observe the usability and effectiveness of the tool for analyzing of sunlight availability in urban contexts. Moreover, the achieving results can be used to provide planners with guidelines that encourage the development of public policies and legislative instruments aimed at vertical agriculture in facades.

Keywords: Vertical farming, Facades, Solar radiation, Photosynthetic Photon Flux Density, Daily Light Integral

1 Introdução

Embora o surgimento das primeiras cidades representasse a emancipação do ser humano, sem a agricultura as cidades não existiriam. Separados, mas juntos, a cidade e o campo sempre mantiveram uma estreita relação de dependência, e dessa combinação surgiu a civilização urbana. De acordo com Mougeot (1994), em diferentes sociedades, ao longo da história, as populações urbanas produziram alguns dos alimentos que necessitavam, em suas próprias residências ou próximo delas.

Com o intuito de facilitar a identificação e a comparação entre os diferentes sistemas de agricultura urbana, Goldstein *et al.* (2016) propuseram uma classificação tipológica tendo como base a integração dentro do ambiente construído (baseada no uso do solo ou integrada em edifícios) e o grau de interação entre os sistemas de agricultura urbana e o meio ambiente (condicionada ou não condicionada).

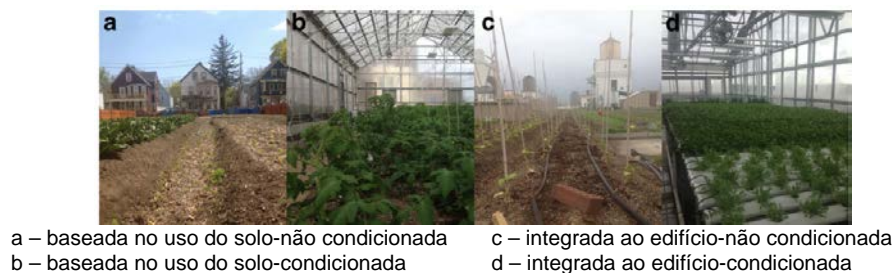


Figura 1. Formas de agricultura urbana. Fonte: Adaptado de Goldstein *et al.* (2016).

No caso específico da agricultura integrada em edifícios, segundo Sanyé-Mengual (2015), essa tipologia foi conceituada na literatura como agricultura vertical ou agricultura de área zero (ZFarming), e abrange, entre outros, fazendas verticais, paredes comestíveis, agricultura no telhado a céu aberto e em estufas.



Figura 2. Tipologias e nomenclaturas para agricultura urbana em edifícios e telhados. Fonte: Adaptado de Sanyé-Mengual (2015).

Por se tratar de um termo polissêmico, os conceitos de agricultura vertical variam desde um discurso simplista, onde o seu significado resume-se a produção agrícola em camadas empilhadas, até definições mais complexas, como um sistema de agricultura comercial em que são cultivados diversos produtos em estruturas altas, no interior de uma edificação, em um ambiente controlado com avançada tecnologia em estufa e diodo emissor de luz (LED) ou diodo orgânico emissor de luz (OLED) como iluminação.

Contudo, para os fins deste estudo, adotou-se o entendimento de agricultura vertical como sendo àquela produção agrícola em camadas, que não se restringe apenas ao cultivo *indoor*.

Embora a incorporação da vegetação nos edifícios seja uma longa tradição vernacular, apenas recentemente as fachadas verdes aumentaram a sua popularidade. Entre os fatores que devem ser levados em consideração em relação ao cultivo em fachadas estão: a orientação do sol e a própria luz. Pois, a radiação solar é um dos elementos essenciais para realização do processo de fotossíntese.

Nesse sentido, este artigo tem por objetivo apresentar o desenvolvimento de uma ferramenta que permita analisar a disponibilidade de luz natural para o cultivo em fachadas, a partir do uso de uma linguagem de programação baseada em recursos visuais (*Visual Programming Language*) para o cálculo da luz diária integral (DLI). Segundo Runkle (2019, p.50, tradução nossa), o *“DLI é essencialmente a quantidade de energia fornecida a uma planta, que pode ser usada para desenvolver e manter folhas, caules, raízes, flores e frutos”*.

Para tanto, foi desenvolvida uma breve revisão sobre agricultura vertical e temas correlatos, e identificados estudos similares, onde os autores utilizaram a simulação digital para mensurar a disponibilidade de luz solar para a produção agrícola em contextos urbanos.

2 A agricultura vertical nas cidades

De acordo com Al-Kodmany (2018), a literatura distingue três tipos de agricultura vertical. O primeiro tipo refere-se às estruturas altas, com canteiros empilhados, construídas no interior de edifícios, onde são utilizadas luzes artificiais. O segundo tipo remete-se às práticas de cultivo nos telhados de edifícios e o terceiro tipo é representado pelas fazendas verticais, que combinam diferentes tecnologias de cultivo agrícola e modernos edifícios em torre.

Embora possa assumir diferentes formas, como apresentado por Al-Kodmany (2018), percebe-se que na teoria, o termo agricultura vertical é constantemente relacionado ao conceito de uma produção de alimentos em grande escala em edifícios altos, onde é possível exercer um controle rigoroso das condições ambientais, e ao uso de métodos e tecnologias de última geração.

Nesse sentido, para Benke e Tomkins (2017, p. 15, tradução nossa), o *“(...) modelo de agricultura vertical é essencialmente uma fazenda interna baseada em um projeto de fábrica de vários andares”* e inclui, entre outras características, o controle automático de temperatura, de irrigação e de entrega de nutrientes ao longo das 24 horas do dia.



Figura 3. Exemplos de cultivo vertical no interior de edifícios. Fonte: <https://www.aerofarms.com/>

Essa estrutura construída no interior de edifícios, com canteiros empilhados em um ambiente controlado, surge como uma solução que busca aumentar a produção por área cultivada quando comparada com a agricultura convencional e tem um caráter exclusivamente comercial.

Assim, a agricultura vertical no interior dos edifícios relaciona-se a um tipo de produção independente de condições externas, na qual as safras crescem sem ser afetadas pela sazonalidade climática e estendem-se na dimensão vertical para a melhoria do rendimento em direção às necessidades do mercado.

Além dos interiores, os topos dos edifícios também são utilizados para a prática da agricultura vertical. Segundo Sanyé-Mengual (2015), as atividades agrícolas em cima de edifícios aproveitam espaços disponíveis em telhados ou terraços e podem ser desenvolvidas a céu aberto ou com o uso de tecnologias de proteção e podem ter diferentes objetivos.

Porém, diferentemente das práticas agrícolas no interior dos edifícios, a agricultura vertical no topo pode assumir uma perspectiva para além da questão comercial. Dessa maneira, a esse tipo de cultivo podem ser relacionados objetivos socioeducativos e conformados espaços de inclusão social, destinados à uma determinada comunidade, como jardins comunitários e jardins terapêuticos no telhado de hospitais.

| | Estufas de telhado | Cultivo em céu-aberto |
|-----------|--|--|
| Comercial |  Lufa farms (Montreal) |  Brooklyn Grange (New York) |
| Social |  Manhattan school (New York) |  Community rooftop (Bologna) |
| | |  Wiegmann-Klinik (Berlin) |

Figura 4. Tipologias de cultivo vertical em telhados. Fonte: Adaptado de Sanyé-Mengual (2015).

Entre as diferentes formas de agricultura vertical, as fazendas verticais estão relacionadas a uma imagem futurista e a discursos que as consideram como uma solução utópica. Embora descrente da exequibilidade desses projetos, Despommier (2016) acredita que eles servem a um grande propósito, o de inspirar indivíduos a se tornarem parte do movimento e do futuro da agricultura.



Figura 5. Exemplos de projetos conceituais de fazendas verticais. Fonte: <http://vincent.callebaut.org/category/projects>.

Assim como os sistemas em telhados, as práticas agrícolas verticais podem assumir outras abordagens em espaços abertos, como o plantio em fachadas e varandas. Nesse sentido, na busca por uma maior qualidade de vida e um estilo mais sustentável, é possível observar as paredes de edifícios sendo comumente utilizadas pelos seus moradores como suporte para o cultivo de pequenas hortas, assim como projetos conceituais que propõem a combinação em uma única edificação de partes destinadas à habitação e outras ao cultivo agrícola.

Entre os exemplos de projetos conceituais que propõem essa combinação estão a Agro-Housing, proposta vencedora do Living Steel – Competition for Sustainable Housing (2007) para a China do Knafo Klimor Architects, e a The farmhouse (2017), projeto do escritório austríaco Studio Precht.



Figura 6. Agro-Housing, Knafo Klimor Architects (2007). Fonte: <https://www.kkarc.com/landing-2/07-housing/agro-housing/>.



Figura 7. The farmhouse, Studio Precht (2017). Fonte: <https://www.precht.at/the-farmhouse>.

Embora, geralmente, menos automatizadas e mais suscetíveis a pragas e a alterações climática que o cultivo em ambientes fechados, a agricultura vertical em ambientes externos soma à produção de alimentos todos os benefícios das paredes verdes, como a redução do consumo de energia, o fornecimento de serviços ecossistêmicos, a mitigação do efeito de ilha de calor, melhoria da qualidade do ar e o aumento do bem-estar físico e psicológico humano.

3 Simulações computacionais e a integração da agricultura nas fachadas de edifícios em contextos urbanos

Ching (2010) define simulações computacionais como uma modelagem computacional que permite prever e avaliar o desempenho comportamental, especialmente em situações complexas. Em simulações de arquitetura, ainda de acordo com Ching, *“os programas empregam algoritmos para visualizar e analisar o desempenho de um edifício existente ou uma proposta de projeto no contexto de seu ambiente, com base nos parâmetros iniciais e nas variáveis assumidas para o ambiente”* (p. 38).

No caso específico do cultivo agrícola em fachadas, foi possível identificar uma série de publicações relacionadas a um projeto de pesquisa desenvolvido na Universidade Nacional de Singapura, que envolveu essa temática.

O projeto, denominado 'Productive facade systems: assessment of BIPV panels and Building Integrated Agriculture (BIA)', tinha como ênfase a integração de painéis solares e sistemas agrícolas em fachadas de edifícios modulares e foi desenvolvido entre janeiro de 2017 e janeiro de 2019. Entre as publicações que foram originadas deste projeto, seis apresentam em suas discussões aspectos que envolvem a mensuração da disponibilidade de luz solar: [1] Tablada e Zhao (2014); [2] Tablada (2015); [3] Tablada e Shashwat (2016); [4] Tablada e Zhao (2016); [5] Tablada et al. (2017); e [6] Tablada et al. (2018).

Entretanto, observa-se que para a mesma variável, os autores desses estudos atribuem diferentes denominações (autonomia da luz do dia, luz solar necessária, potencial agrícola) e valores (10 Klux das 8:00 às 18:00; $DLI > 8 \text{ mol/m}^2 = 10.000 \text{ lux}$ quando a duração do dia é de 12 horas), o que torna um pouco confuso o entendimento, principalmente ao se consultar as fontes primárias que os autores utilizam como referência para os valores adotados. E apenas em três dos trabalhos – Tablada e Zhao (2014), Tablada (2015) e Tablada e Shashwat (2016) – são apresentados detalhes sobre como foi calculada a disponibilidade de luz solar e as ferramentas digitais utilizadas. Nos trabalhos divulgados nos anos de 2014 e 2016 são feitas referências aos programas Daysim, um mecanismo de simulação que modela a quantidade anual de luz do dia no interior e ao redor de edifícios, e Autodesk Ecotect, uma ferramenta de análise ambiental que foi descontinuada no ano de 2015. Já no artigo publicado ano de 2015, é citado apenas o Daysim.

Além das publicações relacionadas ao projeto 'Productive facade systems: assessment of BIPV panels and Building Integrated Agriculture (BIA)', foram identificados outros três artigos que abordam a questão da disponibilidade da luz para o crescimento de plantas em áreas urbanas, entretanto, sem ter como foco a agricultura vertical: [1] Tan e Ismail (2014); [2] Tan e Ismail (2015); e [3] Subramaniam, Kyropoulou e Hoffmann (2020).

Em seus estudos, Tan e Ismail (2014; 2015) utilizaram o Autodesk Ecotect para verificar a disponibilidade de luz em diferentes planos horizontais. Já

Subramaniam *et al.* (2020), adotaram o Radiance, que é um conjunto de ferramentas para realizar simulações de iluminação, como suporte para o cálculo da iluminância e, em seguida, aplicaram uma série de fórmulas matemáticas para conversão dos dados obtidos em DLI.

4 A análise da disponibilidade de luz solar para o cultivo em fachadas por meio de ferramentas digitais

Diferentemente da forma de como é denominada a luz percebida pelo olho humano, a energia da luz para as plantas é definida como radiação fotossintética ativa (PAR). A PAR é a porção do espectro de luz utilizada no processo de fotossíntese (400-700 nm) e a sua intensidade durante um determinado período têm impacto decisivo no crescimento e desenvolvimento das plantas. A quantidade total de luz que é produzida por uma fonte a cada segundo, nessa faixa espectral, é denominada de fluxo de fótons fotossintéticos (PPF) e a sua incidência sobre uma superfície é chamada de densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (PPFD).

De acordo com Kitaya *et al.* (1998), em modelos de crescimento e desenvolvimento de plantas, frequentemente é utilizado o DLI (o produto do fluxo de fótons fotossintéticos (PPF) e fotoperíodo) como uma variável de luz. E sobre os valores de DLI, Runkle (2019, p.50, tradução nossa) afirma que, “[...] não existe um requisito de DLI porque, com algumas exceções notáveis, a maioria das plantas pode crescer sob uma ampla gama de condições ambientais, incluindo diferentes DLIs”.

Nesse sentido, ao identificar a disponibilidade de luz solar, pode-se optar por diferentes tipos de cultura, as quais apresentam como DLI mínimo recomendado o valor encontrado ou número inferior a ele. Para a construção da ferramenta proposta, foram desenvolvidas experimentações utilizando o programa de modelagem 3D Rhinoceros, em sua versão 7.0, junto com seu editor de algoritmo gráfico, o Grasshopper e o plug-in de análise ambiental Ladybug.

Dessa forma, inicialmente foram definidas as principais variáveis relacionadas à disponibilidade de luz solar para o cultivo de plantas e configuradas as rotinas de conversão de unidades.

Tabela 1. Variáveis relacionadas à disponibilidade de luz solar para o cultivo de plantas.

| Variável | Unidade | Definição |
|---|--------------|--|
| Radiação solar | kWh.m-2 | Energia radiante emitida pelo Sol. |
| Densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (PPFD) | μmol.m-2.s-1 | Refere-se ao número de fótons na PAR incidentes numa superfície plana por unidade de área por unidade de tempo |
| Luz diária integral (DLI) | mol.m-2.d-1 | Descreve o número de fótons fotossinteticamente ativos que são entregues a uma área específica durante um período de 24 horas. |

Fonte: Os autores, 2021.

Para a conversão da radiação solar em PPFD, assumiu-se uma aproximação de 2.02, valor descrito em Mavi e Tupper (2004), uma vez que, segundo Reis e Ribeiro (2020), esse seria o melhor fator. Além disso, foram inseridas outras fórmulas matemáticas para o ajuste dos valores do PPFD de $\mu\text{mol.m-2.s-1}$ para DLI em mol.m-2.d-1 .

Por se tratar de uma ferramenta pensada para ser utilizada na análise da disponibilidade de luz solar para o cultivo em fachadas em qualquer cidade, fez-se necessário a utilização de um componente que permitisse a leitura de dados meteorológicos de diferentes localidades.

Assim, o primeiro recurso do Ladybug utilizado na elaboração do código foi o 'download EPW Weather File'. Este componente permite o download de dados climáticos de diferentes cidades do mundo. Tal escolha deve-se ao fato que, geralmente, esse conjunto de dados são disponibilizados no formato EPW (*EnergyPlus Weather File*), formato padrão usado pelo software de simulação de energia EnergyPlus.

Em seguida foi adicionado ao algoritmo o componente 'Open Weather file' para leitura do arquivo climático. Esses dados são essenciais, uma vez que a partir deles é calculada a radiação do céu para cada hora do ano, por meio do componente 'genCumulativeSkyMtx', sendo este considerado um pré-passo necessário antes de se fazer a análise de radiação solar.

Além desses recursos, foi acrescido no código o componente 'analysisPeriod', para que fosse possível a definição de um período de análise. No caso específico de estudos que envolvem o cálculo do DLI, observa-se que, os valores diários obtidos são agregados em médias mensais. Dessa forma, ao componente 'analysisPeriod' foram associados parâmetros numéricos para facilitar a escolha do mês a ser analisado.

Por fim, foi inserido o componente 'radiationAnalysis' e proposto um cluster, denominado de 'sunlight availability for farming', no qual foram agrupados os componentes necessários para a transformação da radiação solar em PPFD e DLI. Nesse cluster são feitas as conversões de unidade e estabelecidas relações de tempo, uma vez que o resultado apresentado no *output* 'radiationResult' do recurso 'radiationAnalysis' representa a soma da

quantidade total de radiação em kWh.m-2 recebida para todo o período analisado, sendo necessária assim a definição de uma média mensal.

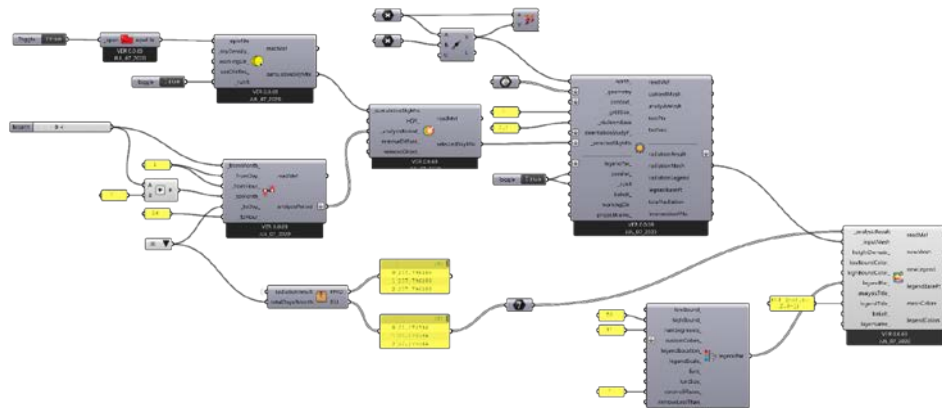


Figura 9. Algoritmo elaborado para análise da disponibilidade de luz solar em fachadas. Fonte: Os autores, 2021.

Como ponto de partida para aplicação prévia do algoritmo, foi definido o Residencial Amália Gurgel, conjunto de edifícios residenciais situado na cidade de João Pessoa, Nordeste do Brasil, como estudo caso. E assim como nos estudos de Tablada, buscou-se como exemplo edificações projetadas e executadas pelo poder público, por meio de programa habitacional, de caráter social.

O Residencial Amália Gurgel é formado por quatro blocos de quatro andares, dispostos linearmente, que apresentam quatro apartamentos por pavimento, totalizando um conjunto de 64 unidades habitacionais. Os blocos configuram-se como edificações de altura mediana e o conjunto apresenta uma baixa cobertura do terreno. Além disso, os prédios estão implantados soltos no lote e em seu entorno não há outras edificações que possam causar o efeito de sombra nas fachadas.

Como resultado, foi possível verificar que ao longo do ano, a fachada principal dos edifícios recebem um DLI acima de 15 mol.m-2.d-1, o que, segundo, Runkle (2019), permitiria o cultivo de diferentes tipos de culturas, como vegetais frutíferos, folhas verdes e ervas.

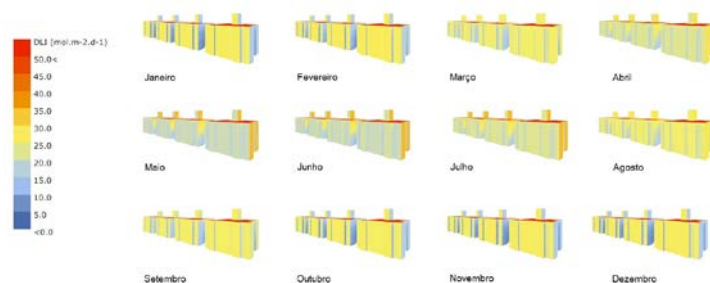


Figura 10. O mapa de DLI médio mensal para o ano meteorológico típico das fachadas principais do Residencial Amália Gurgel. Fonte: Os autores, 2021.

5 Conclusões

Após simulação, foi possível observar a usabilidade da ferramenta e a eficácia para o alcance de resultados que podem ser utilizados para fornecer aos planejadores, arquitetos e projetistas orientações que estimulem a incorporação da agricultura vertical nas fachadas dos edifícios na cidade de João Pessoa.

Cabe destacar que, a ferramenta desenvolvida pode ser utilizada para a análise da disponibilidade de luz solar para o cultivo em fachadas em qualquer cidade, desde que, os dados meteorológicos estejam disponibilizados no formato EPW.

Porém, além da disponibilidade de luz, também é necessário verificar como o cultivo vertical nas fachadas pode influenciar na iluminação natural dos ambientes, visto que a instalação de sistemas verticais de vegetação pode obstruir a incidência direta de radiação solar nos interiores dos edifícios. Assim como, estender o estudo para edifícios públicos, dada a facilidade de acesso desses equipamentos à maiores verbas para cobrir os custos de operação e de manutenção do cultivo em fachadas. Sendo estes aspectos, pontos a serem abordados em etapas posteriores da pesquisa em andamento.

Por fim, ressalta-se a importância de avançar em relação aos resultados obtidos, principalmente no que diz respeito à relação entre a integração da agricultura vertical nas fachadas e a interação do microclima externo com a temperatura interna dos edifícios, sendo essa uma sugestão para trabalhos futuros.

Referências

- Al-Kodmany, K. (2018). The vertical farm: A review of developments and implications for the vertical city. *Buildings*, 8(2), 24.
- Benke, K. & Tomkins, B. (2017). Future food-production systems: vertical farming and controlled-environment agriculture. *Sustainability: Science, Practice and Policy*, 13(1), 13-26.
- Ching, F. DK. (2010). *Dicionário Visual de Arquitetura* (2nd ed.). São Paulo: Martins Fontes.
- Despommier, D. (2016). *Vertical Farming*. Retrieved July 17, 2021, from https://www.reddit.com/r/Futurology/comments/4cc2bb/7pm_est_tonight_ama_with_dickson_despommier_and_
- Goldstein, B., Hauschild, M., Fernández, J., & Birkved, M. (2016). Urban versus conventional agriculture, taxonomy of resource profiles: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(1), 9.
- Kitaya, Y., Niu, G., Kozai, T., & Ohashi, M. (1998). Photosynthetic photon flux, photoperiod, and CO₂ concentration affect growth and morphology of lettuce plug transplants. *HortScience*, 33(6), 988-991.
- Mavi, H. S., & Tupper, G. J. (2004). *Agrometeorology: principles and applications of climate studies in agriculture*. CRC Press.
- Mougeot, L. J. A. (1994). Urban Food Production: Evolution, Official Support and Significance. *Cities Feeding People Series*. Report 8. International Development Research Centre.
- Reis, M. G., & Ribeiro, A. (2020). Conversion factors and general equations applied in agricultural and forest meteorology. *Agrometeoros*, 27(2), 227-258.
- Runkle, E. (2019). *DLI 'Requirements'*. Retrieved July 17, 2021, from https://gpnmag.com/wp-content/uploads/2019/05/TechSpeak_GPN_0519.pdf.
- Sanyé-Mengual, E. (2015). *Sustainability Assessment of Urban Rooftop Farming Using an Interdisciplinary Approach*. Tese de Doutorado (Environmental Science and Technology) – Univeristat Autònoma de Barcelona, Bellaterra, Spain.
- Subramaniam, S., Kyropoulou, M., & Hoffmann, S. (2020). *Radiation Modeling Strategy for Incorporating Vegetation in Urban Microclimate Simulations*. In *Proceedings of the Symposium on simulation architecture + urban design (SimAUD)*. Online.
- Tablada, A (2015). Impact of urban form on sunlight availability for urban farming in Asian cities at different latitudes. In *Proceedings of the 9th International Conference on Urban Climate jointly with 12th Symposium on the Urban Environment*. Toulouse, France.
- Tablada, A., Chaplin, I., Huang, H., Lau, S. K., Yuan, C., & Lau, S. S. Y. (2018). Simulation algorithm for the integration of solar and farming systems on tropical

- façades. In *Proceedings of the 23rd International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA)*. Beijing, China.
- Tablada, A., & Shashwat, S. (2016). Potential use of building facades for food and energy harvesting in Singapore. In *Proceedings of the 32th Passive Low Energy Architecture Conference (PLEA)*. Los Angeles, USA.
- Tablada, A., & Zhao, X. (2014). Sunlight availability for food and energy harvesting in tropical generic residential districts. In *30th Passive Low Energy Architecture Conference (PLEA)*. Ahmedabad, India.
- Tablada, A., & Zhao, X. (2016). Sunlight availability and potential food and energy self-sufficiency in tropical generic residential districts. *Solar Energy*, 139, 757-769.
- Tan, P. Y., & Ismail, M. R. B. (2014). Building shade affects light environment and urban greenery in high-density residential estates in Singapore. *Urban Forestry & Urban Greening*, 13(4), 771-784.
- Tan, P. Y., & Ismail, M. R. B. (2015). The effects of urban forms on photosynthetically active radiation and urban greenery in a compact city. *Urban ecosystems*, 18(3), 937-961.