XVIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
XIV ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
AMBIENTE CONSTRUÍDO E USUÁRIO: PERSPECTIVAS LATINO-AMERICANAS

Transformações Urbanas e Acessibilidade Solar: Um Estudo sobre Florianópolis

Transformaciones urbanas y accesibilidad solar: un estudio sobre Florianópolis

Urban Transformations and Solar Accessibility: A Study on Florianópolis

Clima e Planejamento Urbano/ *Clima y Planeamiento Urbanístico/ Climate and Urban Planning*

Domingos, Renata Mansuelo Alves
Mestre, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, mansuelo.alves@gmail.com

Mariano, Pedro Oscar Pizzetti
Doutor, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, pedro.pm@hotmail.com

Pereira, Fernando Oscar Ruttkay
PhD, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, ruttkay.pereira@ufsc.br

Resumo

Este estudo analisa a evolução da acessibilidade à radiação solar em Florianópolis, considerando cenários passados, presente e um cenário futuro hipotético. Utilizando ferramentas de planejamento urbano, como o Spacemate, avalia-se o impacto da morfologia urbana na disponibilidade de radiação solar. A metodologia envolve o mapeamento da região, modelagem de cenários históricos e futuros, simulações dinâmicas anuais e análise dos resultados. Os principais resultados mostram uma redução significativa da radiação solar disponível por metro quadrado construído, especialmente em edifícios altos e de maior adensamento, chegando a 64% menos em relação a 2003. Isso evidencia a necessidade urgente de incorporar a acessibilidade à radiação solar no planejamento urbano, a fim de promover cidades mais sustentáveis e adaptadas ao clima, por meio de estratégias que mitiguem os impactos negativos do adensamento excessivo.

Palavras-chave: Morfologia Urbana. Radiação Solar. Planejamento Urbano. Adensamento Urbano.

Resumen

Este estudio analiza la evolución de la accesibilidad a la radiación solar en Florianópolis, considerando escenarios pasados, presentes y un escenario futuro hipotético. Utilizando herramientas de planificación urbana, como el Spacemate, se evalúa el impacto de la morfología urbana en la disponibilidad de radiación solar. La metodología implica el mapeo de la región, la modelización de escenarios históricos y futuros, simulaciones dinámicas anuales y el análisis de los resultados. Los principales resultados muestran una reducción significativa de la radiación solar disponible por metro cuadrado construido, especialmente en edificios altos y de mayor densidad, llegando a un 64% menos en comparación con 2003. Esto evidencia la necesidad urgente de incorporar la accesibilidad a la radiación solar en la planificación urbana, a fin de promover ciudades más sostenibles y adaptadas al clima, a través de estrategias que mitiguen los impactos negativos de la excesiva densificación.

Palabras clave: Morfología Urbana. Radiación Solar. Planificación Urbana. Densificación Urbana.

Abstract

This study analyzes the evolution of solar radiation accessibility in Florianópolis, considering past, present, and a hypothetical future scenario. Using urban planning tools, such as Spacemate, the impact of urban morphology on solar radiation availability is evaluated. The methodology involves mapping the region, modeling historical and future scenarios, annual dynamic simulations, and analyzing the results. The main findings show a significant reduction in solar radiation available per square meter of built-up area, especially in tall and higher-density buildings, reaching 64% less compared to 2003. This highlights the urgent need to incorporate solar radiation accessibility into urban planning, in order to promote more sustainable and climate-adapted cities, through strategies that mitigate the negative impacts of excessive densification.

Keywords: Urban Morphology. Solar Radiation. Urban Planning. Urban Densification.

Introdução

O crescimento urbano e a densificação das cidades têm imposto desafios significativos para o planejamento urbano sustentável, especialmente em relação ao acesso à radiação solar e ao aproveitamento de fontes renováveis de energia. A energia solar é uma das alternativas mais promissoras para mitigar os impactos ambientais do crescimento urbano, sendo uma solução viável tanto para a geração de energia quanto para a melhoria da qualidade ambiental urbana. No entanto, o desempenho de sistemas fotovoltaicos e a eficiência energética das edificações dependem diretamente da forma urbana, que pode restringir ou otimizar a captação de radiação solar (Zhao et al., 2023; Lan et al., 2022). Assim, compreender e integrar os efeitos da morfologia urbana no planejamento energético tem se tornado uma questão central para promover cidades mais resilientes e sustentáveis.

Pesquisas recentes exploram a relação entre morfologia urbana e energia solar, apontando que fatores como densidade, altura dos edifícios, orientação e espaçamento entre construções desempenham papéis fundamentais na captação de radiação solar. Zhao e Gou (2023) demonstraram que a compactação urbana afeta significativamente o potencial solar das fachadas, enquanto Lan et al. (2022) utilizaram modelos de aprendizado de máquina para prever o potencial solar em diferentes protótipos urbanos, destacando que bairros de baixa densidade e altura uniforme apresentam maior eficiência energética. No Brasil, Bastian (2023) analisou a influência da forma urbana na geração de energia solar em Salvador, concluindo que a verticalização e o adensamento, quando não planejados, comprometem a acessibilidade solar e a eficiência dos sistemas fotovoltaicos.

Para realizar análises precisas da interação entre morfologia urbana e radiação solar, ferramentas computacionais desempenham um papel crucial. Softwares como Rhinoceros, em conjunto com plug-ins como Ladybug e Grasshopper, têm sido amplamente utilizados para modelar cenários urbanos e simular a incidência de radiação solar (Zhao et al., 2023; Girotti et al., 2019). Essas ferramentas permitem integrar dados climáticos e geométricos, otimizando a análise de múltiplos cenários urbanos e identificando soluções que maximizem a eficiência energética das edificações. Além disso, estudos como os de Zhang et al. (2024) mostram que a aplicação de sistemas generativos nesses softwares possibilita a criação de formas urbanas otimizadas para o desempenho solar, tornando-os indispensáveis para o planejamento urbano orientado para a sustentabilidade.

Complementarmente, o diagrama Spacemate tem sido amplamente utilizado para avaliar a relação entre densidade urbana, forma e desempenho energético. Desenvolvido por Berghauser Pont e Haupt (2009), o Spacemate relaciona indicadores como o Coeficiente de Aproveitamento (FSI) e a Taxa de Ocupação (GSI) ao número de pavimentos, permitindo uma análise tridimensional da densidade e do impacto da forma urbana. Estudos recentes, como os de Godoy-Shimizu et al. (2021) e Lan et al. (2022), demonstraram a eficácia dessa ferramenta para explorar diferentes configurações urbanas e identificar soluções que maximizem o aproveitamento da radiação solar. No presente trabalho, o Spacemate será utilizado para analisar cenários urbanos e propor diretrizes morfológicas que promovam a integração de sistemas fotovoltaicos nas cidades.

Dessa forma, este artigo busca aprofundar a compreensão da influência da morfologia urbana na acessibilidade solar, utilizando ferramentas avançadas como Rhinoceros e Spacemate para propor estratégias que integrem o planejamento urbano e a geração de energia solar. Sendo assim, o artigo tem como objetivo analisar a evolução da acessibilidade à radiação solar em Florianópolis, considerando cenários passados, presente e um cenário futuro hipotético, utilizando ferramentas de planejamento urbano, como o SpaceMate, para avaliar o impacto da morfologia urbana e propor estratégias para um desenvolvimento urbano mais sustentável.

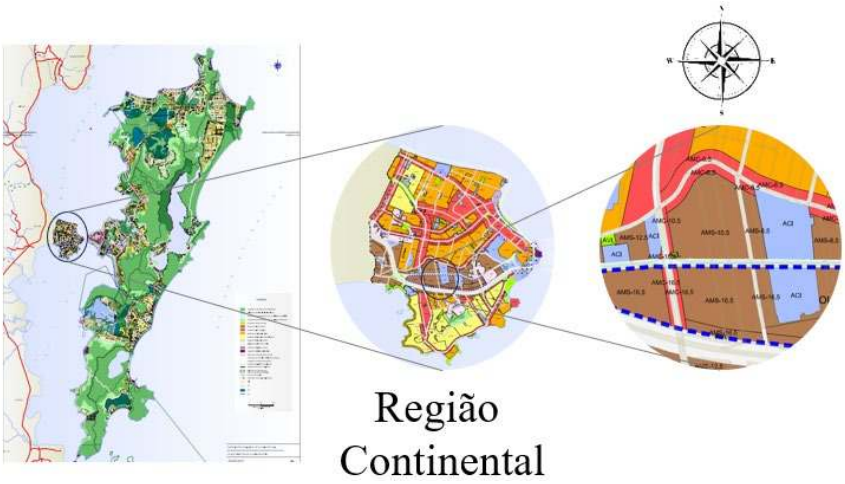
Metodologia

A metodologia está estruturada em quatro etapas principais: a primeira consiste no mapeamento do objeto de estudo, a segunda na modelagem das edificações, seguida pela realização das simulações e, por fim, a análise dos resultados obtidos.

Definição do Local

Optou-se por abordar um recorte urbano específico, localizado na região continental de Florianópolis, caracterizado por uma densidade média e classificado como Área Mista de Serviços (AMS 10,5), uma densidade liquida de 590 hab./ha no lote (Florianópolis, 2023), pelo macrozoneamento da Prefeitura de Florianópolis. A escolha fundamenta-se na representatividade dessa área em relação às dinâmicas de crescimento urbano da cidade e na capacidade de evidenciar problemáticas reais que frequentemente não são perceptíveis em cenários hipotéticos. A região escolhida está sinalizada na Figura 1.

Figura 1: Identificação da região escolhida



Fonte: Os autores (2025)

Modelagem dos Cenários

Para a análise, foram elaborados quatro cenários: os anos de 2003, 2013, 2023 e uma projeção para o futuro. Os cenários históricos e atuais foram modelados com base em levantamento de campo, imagens aéreas e tridimensionais obtidas do histórico do Google Earth, enquanto o cenário futuro foi desenvolvido com base em projeções de crescimento urbano, considerando os parâmetros do Plano Diretor Municipal, tendências de verticalização e densificação observadas nas últimas décadas.

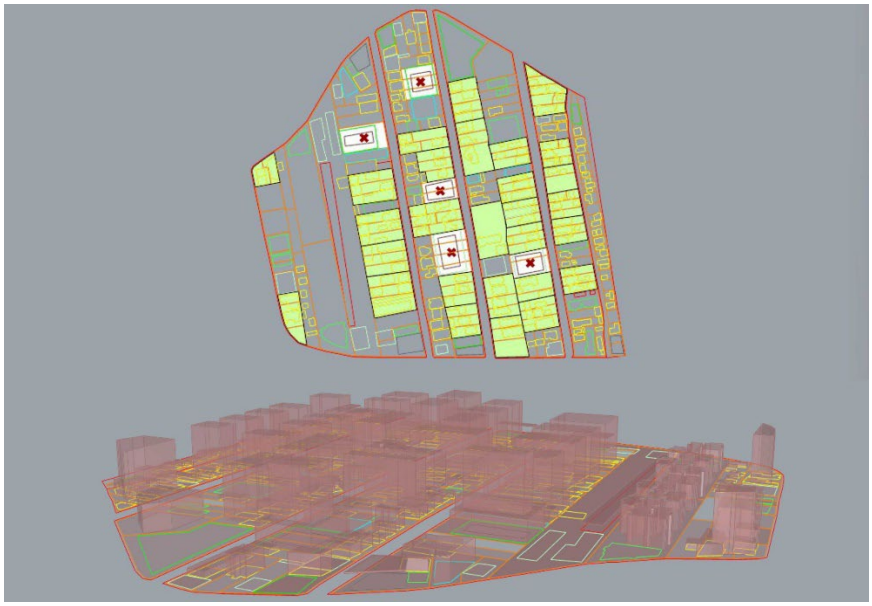
A simulação, realizada no Rhinoceros 3D com os plug-ins Grasshopper e Ladybug Tools, analisou a incidência anual de radiação solar na envoltória da edificação. Utilizando parâmetros como a orientação real em relação ao norte verdadeiro e a radiação solar global incidente, a avaliação foi baseada em uma malha pré-definida. Os resultados foram visualizados em mapas de calor, que mostram a distribuição da radiação acumulada (kWh/m²), permitindo identificar áreas de maior e menor exposição solar na fachada. Para os cenários históricos e atuais, a altura das edificações foi definida com base em dados históricos, enquanto para o cenário futuro considerou-se o potencial construtivo permitido pelo plano diretor e a tendência de ocupação vertical. Essa abordagem permite avaliar a evolução da ocupação urbana e seu impacto na disponibilidade de radiação solar.

Para a escolha dos lotes para a expansão urbana, foi criado um método para que fossem considerados os padrões já existentes na área analisada, como a metragem dos terrenos já usados para construções existentes e a escolha de propriedades que fossem mais fáceis de

serem remembradas. Os espaços selecionados para serem agrupados se concentraram nos que: (1) tivessem a mesma forma de construção; (2) possuíssem até dois andares construídos; e (3) fossem de uso exclusivo residencial — visando facilitar a desapropriação e a manutenção do uso.

Essa ação provocou o remembramento fictício em diversas situações, variando de 2 a 6 terrenos, mas mantendo uma média de 3 lotas, que, em média, apresentavam 1472,12 m², área próxima à média dos terrenos que apresentam edifícios em altura, sendo 1403,35 m². Esses remembramentos permitiram que os novos terrenos pudessem ser ajustados segundo as prerrogativas urbanas já usadas no trabalho, com base na (Florianópolis, 2023). A Figura 02 apresenta os lotes remembrados para esta etapa da pesquisa, na cor verde, e aqueles com edificações com mais de sete pavimentos, na cor branca, e apresenta a projeção dessa futura urbanidade juntamente com o conjunto existente.

Figura 2: lotes remembrados para os novos edifícios que usam os elementos máximos do plano diretor de Florianópolis (2023), representados pela cor verde, e sua representação tridimensional.



Fonte: Os Autores (2025).

A programação visual para a construção dos edifícios no novo remembramento foi ajustada segundo as especificações do zoneamento local, o AMS 10. Para criar a perimetral que delimitará o bloco do edifício, foi estabelecido um recuo que corresponde à altura provável da construção. Dessa forma, utilizou-se a superfície do lote remembrado para executar o componente off-set, com uma distância correspondente à altura dividida por 5 (H/5). Dada a

altura padrão adotada para as outras construções, de 3 m, e considerando que o número máximo de pavimentos permitidos para o zoneamento é de 10 andares, considerou-se um recuo de 33/5, equivalendo a 6 m.

Simulação dos Modelos

Nessa etapa, a avaliação da exposição à radiação solar na envoltória foi realizada por meio de simulações dinâmicas anuais, utilizando o plug-in Ladybug e um arquivo climático do tipo SWERA. O plug-in foi integrado ao Grasshopper 3D, permitindo a criação de modelos tridimensionais que representam a geometria urbana detalhadamente. Esse procedimento abrange todos os componentes da radiação solar, incluindo os elementos diretos, difusos, do céu e os reflexos provenientes de superfícies externas, garantindo uma análise abrangente e precisa da disponibilidade de radiação solar.

Resultados e discussão

O adensamento na região escolhida apresenta um crescimento constante ao longo dos anos. Entre 2003 e 2013, houve um aumento de aproximadamente 20% na área construída; de 2013 para 2023, esse aumento foi em torno de 30%. Quando se compara 2003 com 2023, observa-se um crescimento acumulado de 55% na área construída. No cenário futuro projetado, espera-se um aumento ainda mais expressivo. Em comparação com 2023, a área construída apresentaria um crescimento de aproximadamente 120%. Quando comparado a 2013, esse aumento seria de 190%, e, em relação a 2003, o crescimento acumulado alcançaria 250%. Esses dados reforçam a tendência de adensamento urbano contínuo e destacam a importância de planejar o uso do solo.

No cenário de 2003, as edificações de um pavimento representavam mais de um quarto da área construída. Como era esperado, isso resultava em uma maior captação de radiação solar na cobertura, garantindo uma maior incidência de radiação por metro quadrado em comparação com os cenários posteriores. Nesse ano, os maiores prédios tinham somente 5 andares. No cenário de 2013, as edificações de um pavimento continuavam representando uma parcela significativa, correspondendo a quase um quinto da área construída. Nesse período, surge o primeiro edifício com mais de 5 andares, alcançando 13 pavimentos.

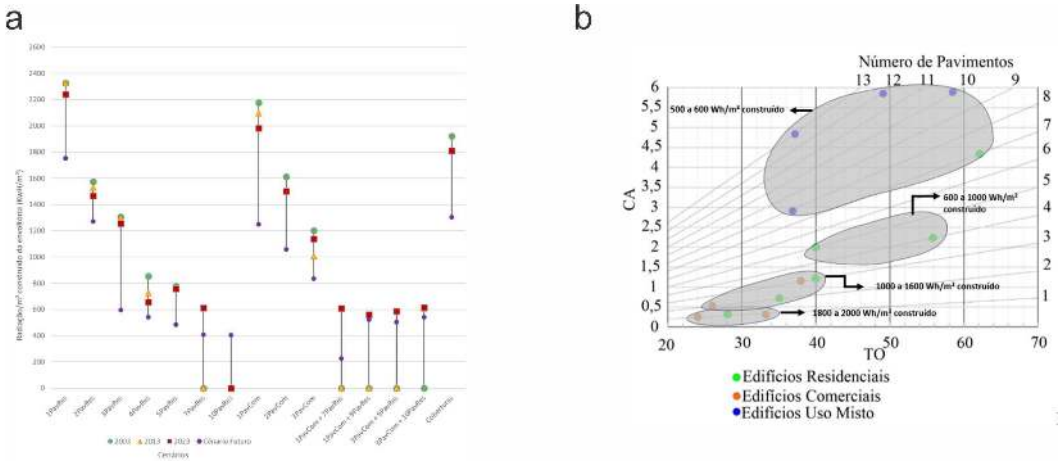
Já no cenário de 2023, as edificações de um pavimento passam a representar somente um sexto da área construída, mesmo sem um adensamento muito expressivo. Nesse ano,

observa-se a presença de somente 5 edifícios com maior densidade, ou seja, com mais de 7 pavimentos. No cenário futuro projetado, as edificações de um pavimento representarão apenas 2% da área construída, evidenciando uma significativa redução em relação aos cenários anteriores. Por outro lado, os edifícios com mais de 7 pavimentos terão um papel predominante, correspondendo a aproximadamente 80% da área construída, refletindo um adensamento urbano muito mais expressivo e verticalizado.

A radiação geral disponível por metro quadrado construído (Rad/m²) na envoltória total em 2013 foi 7% menor do que a registrada em 2003. Comparando 2023 com 2013, observa-se uma redução de aproximadamente 15%, e, ao comparar 2023 com 2003, a diminuição chega a 20% na disponibilidade de radiação por metro quadrado, conforme ilustrado no gráfico da Figura 3 a. No cenário atual, percebe-se uma tendência de estabilização da quantidade de Rad/m² a partir das edificações com 4 pavimentos. No cenário futuro projetado, a disponibilidade de radiação geral por metro quadrado apresenta uma redução ainda mais significativa, sendo aproximadamente 64% menor em relação a 2003, 60% menor em relação a 2013 e 55% menor em comparação a 2023.

A redução mais significativa na disponibilidade de radiação por metro quadrado (Rad/m²) ocorre entre edifícios com 1 pavimento e 2 pavimentos, com uma média de redução de 50%. Entre 2 e 3 pavimentos, a redução é mais moderada, cerca de 15%, enquanto a comparação entre 3 e 4 pavimentos apresenta novamente uma queda acentuada, de aproximadamente 40%. A partir de 5 pavimentos, incluindo 7, 8 e 10 pavimentos, as reduções médias se estabilizam em torno de 50%, com variações menores entre essas alturas (cerca de 5 a 10%).

Figura 3: (a) Radiação/m² construída da envoltória (b) Spacemate com a Radiação/m² construída da envoltória.



Fonte: Os autores (2025).

Essa estabilização pode ser explicada pela influência crescente da radiação incidente nas paredes, que será discutida em detalhes posteriormente. No caso do edifício mais alto analisado (13 pavimentos), sua disponibilidade de radiação corresponde a somente 27% da radiação registrada em um edifício térreo (1 pavimento), evidenciando o impacto cumulativo do sombreamento e da redução de exposição solar em edificações mais altas.

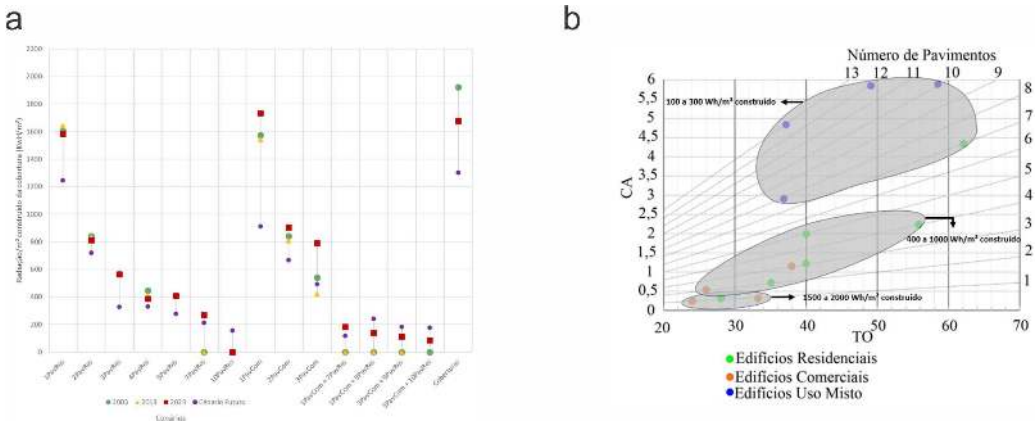
No cenário futuro, observa-se uma redução significativa da radiação solar disponível por metro quadrado construído, especialmente em edifícios altos e de maior adensamento, como 10PavRes e 3PavCom + 10PavRes, onde os valores caem para menos de 400 kWh/m², contrastando com os cenários de 2003, 2013 e 2023, que apresentam valores superiores a 1400 kWh/m² em edificações de menor altura. Essa redução é atribuída ao aumento do sombreamento e à obstrução causada pelo adensamento urbano projetado, afetando negativamente a eficiência energética de tipologias verticais. Em contrapartida, as coberturas mantêm altos índices de radiação (próximos a 2000 kWh/m²), destacando seu potencial para aproveitamento solar. Esses dados reforçam a necessidade de estratégias urbanísticas que mitiguem os impactos do adensamento sobre a radiação solar, como maior espaçamento entre edificações e controle de alturas, e destacando a necessidade de estratégias urbanas que mitiguem os efeitos negativos do adensamento excessivo.

Conforme analisado no diagrama do Spacemate (Figura 04b), o impacto do adensamento na disponibilidade de radiação segue uma tendência de diminuição nos valores médios à medida que aumentam o CA e o TO. Edifícios mais baixos e largos apresentam valores médios de radiação por metro quadrado construído entre 1800 e 2000 Wh/m², os intermediários entre 1000 e 1600 Wh/m², enquanto os mais altos e finos registram valores médios entre 500 e 600 Wh/m². Essa relação evidencia que a tipologia das edificações influencia diretamente os valores médios de radiação solar disponível, com perdas significativas em edificações mais altas e compactas. Assim, como as edificações são projetadas atualmente, resulta em uma perda gradual de radiação em edifícios mais altos, reforçando que o desafio está em manter níveis adequados de radiação mesmo com o processo de adensamento urbano.

Ao analisar a radiação disponível na cobertura, os valores da comparação entre os cenários são similares à análise geral. Em termos de valores médios, o ano de 2013 apresentou uma redução de aproximadamente 8% na disponibilidade de radiação em relação a 2003. Comparando 2023 com 2013, a redução foi de 15%, enquanto, ao comparar 2023 com 2003,

a diminuição foi de aproximadamente 22%, conforme ilustrado na Figura 05a. No cenário futuro, observa-se uma redução significativa na disponibilidade de radiação solar, evidenciando os impactos do adensamento urbano e do aumento da altura das edificações. Edificações de 1 pavimento apresentam uma diminuição de aproximadamente 22% em relação a 2023 e de 35% em relação a 2003, enquanto edifícios de 2 pavimentos têm uma redução menor, em torno de 11% em relação a 2023 e de 15% em relação a 2013. Para edifícios de 3 pavimentos, a redução é mais expressiva, atingindo cerca de 41% em relação a 2023 e 42% em relação a 2013, tendência que se repete em edifícios de 4 e 5 pavimentos, com quedas de até 32% em comparação a 2023. Em edificações mais altas, como as de 7 e 10 pavimentos, a disponibilidade de radiação é drasticamente reduzida, com perdas que chegam a 21% e 22% em relação a 2023, respectivamente. Nas coberturas, a redução também é significativa, alcançando 22% em relação a 2023 e 32% em relação a 2003. Já em edificações mistas, os edifícios comerciais de 1 pavimento apresentam a maior queda percentual, com uma redução de 47% em relação a 2023, enquanto edifícios comerciais de 3 pavimentos têm uma redução de 38%. Nas combinações de usos comerciais e residenciais, as perdas são igualmente expressivas, reforçando o impacto da densidade e da altura das construções na disponibilidade de radiação solar.

Figura 5: (a) Radiação/m² construído da cobertura (b) Spacemate com a Radiação/m² construído da cobertura.



Fonte: Autor (2025).

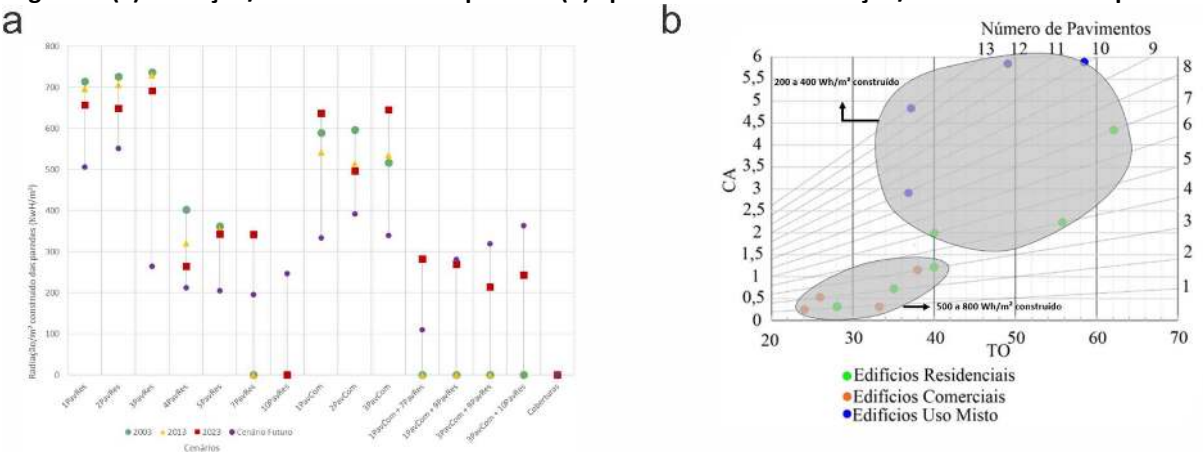
Ao observar os edifícios com diferentes níveis de altura, verifica-se uma redução significativa na radiação disponível. Por exemplo, há uma redução de aproximadamente 50% na radiação disponível por metro quadrado construído ao comparar edifícios de 2 pavimentos com os de 1 pavimento. Comparando edifícios de 3 pavimentos com os de 2 pavimentos, a redução é de cerca de 30%. Essa tendência de redução continua nos edifícios mais altos: um edifício de 13

pavimentos representa somente 5% da radiação disponível por metro quadrado em comparação com edifícios de 1 pavimento. A diferença na disponibilidade de radiação por metro quadrado construído nas coberturas entre os tipos de edificações é mais expressiva, como mostrado na Figura 05b.

É relevante ressaltar que a área total de cobertura permanece constante, mesmo com o aumento da área construída, ou seja, com o crescimento do número de pavimentos. Dessa forma, as análises de radiação nas envoltórias verticais tornam-se fundamentais no contexto de verticalização e densificação urbana.

A radiação média disponível por metro quadrado nas paredes em 2013 foi 8% menor que em 2003, enquanto a redução de 2023 em relação a 2013 foi de aproximadamente 11%, e em relação a 2003 foi de 9%, conforme mostrado na Figura 06a. Nos edifícios de 1, 2 e 3 pavimentos, as variações foram menores, entre 2% e 7%, enquanto nos edifícios mais altos as perdas foram mais expressivas, chegando a 22% devido ao sombreamento no cenário de 2023. Comparando edifícios mais altos com os mais baixos, a radiação disponível por metro quadrado representa uma diferença de cerca de 37%. No cenário futuro, observa-se uma redução ainda mais acentuada, com quedas significativas na radiação em todos os edifícios, especialmente nos de 3 pavimentos (-62%) e nos de 7 pavimentos (-43%) em relação a 2023, reforçando os impactos do adensamento e da verticalização sobre a disponibilidade de radiação solar.

Figura 6: (a) Radiação/m² construído das paredes (b) Spacemate com a Radiação/m² construído das paredes



Fonte: Os autores (2025)

A diferença de disponibilidade de radiação por metro quadrado construído nas paredes entre os tipos de edificações é menor, justamente porque quanto mais alto o edifício, maior a superfície de captação das paredes (Figura 06b).

A crescente urbanização e verticalização em Florianópolis ao longo dos anos resultou em uma diminuição significativa da acessibilidade à radiação solar, tanto em coberturas quanto em paredes dos edifícios. Estes resultados destacam a necessidade urgente de incorporar a acessibilidade à radiação solar no planejamento urbano para promover cidades mais sustentáveis e adaptadas ao clima. Edifícios com maior número de pavimentos são mais afetados pela redução da radiação solar, enfatizando a importância de estratégias de design que considerem a altura das construções para maximizar a captação solar.

Problemas de redução da acessibilidade solar devido ao adensamento urbano e verticalização, como os observados em Florianópolis, também ocorrem em outras cidades brasileiras. Em Salvador, Bastian (2023) mostrou que a verticalização desordenada prejudica a captação de radiação solar em fachadas, afetando sistemas fotovoltaicos e a qualidade ambiental. De forma similar, em São Paulo, Girotti et al. (2019) destacaram que a morfologia urbana influencia o potencial solar, especialmente em áreas com edifícios altos e adensados. Esses casos evidenciam que a perda de acessibilidade solar em cidades densas é um desafio nacional, exigindo políticas públicas que integrem a radiação solar como critério no planejamento urbano.

Considerações Finais

O presente estudo buscou analisar a evolução da acessibilidade à radiação solar em Florianópolis, considerando cenários passados, presente e um cenário futuro hipotético. Para tanto, foram utilizadas ferramentas de planejamento urbano, como o diagrama Spacemate, a fim de avaliar o impacto da morfologia urbana nesse fenômeno. Os principais resultados evidenciam uma redução significativa da radiação solar disponível por metro quadrado construído, especialmente em edificações de maior altura e adensamento. Observou-se que, em comparação ao cenário de 2003, o cenário futuro projetado apresenta uma diminuição de aproximadamente 64% na disponibilidade de radiação solar por área construída. Esses dados reforçam a necessidade urgente de incorporar a acessibilidade à radiação solar no planejamento urbano, visando promover o desenvolvimento de cidades mais sustentáveis e adaptadas ao clima local. Nesse contexto, destaca-se a importância de instrumentos de política urbana, como o Plano Diretor, que contemplem não somente parâmetros

morfológicos, mas também o desempenho energético das edificações. Tais estratégias são essenciais para orientar políticas públicas e ações de urbanização que mitiguem os impactos negativos do adensamento excessivo, garantindo um desenvolvimento urbano mais sustentável.

Referências

Bastian, A. V. **Morfologia Urbana e a Geração de Energia Solar Fotovoltaica em Salvador**. Tese de Doutorado, Universidade Federal da Bahia, Faculdade de Arquitetura, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Salvador, 2023.

Berghauser Pont, M. Y.; Haupt, P. A. **Space, density and urban form**. 2009.

Florianópolis. **Lei Complementar nº 739, de 2023. Altera a Lei Complementar nº 482, de 2014 (Plano Diretor de Florianópolis) e consolida seu processo de revisão**. Florianópolis, 2023.

Girotti, C.; Marins, K. R. de C.; Lara, A. H. Análise da morfologia urbana para maximização de geração de energia fotovoltaica no Belenzinho, em São Paulo. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 19, n. 4, p. 7-22, out./dez. 2019. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. doi:10.1590/s1678-86212019000400340

Godoy-Shimizu, D., Steadman, P., & Evans, S. Density and morphology: from the building scale to the city scale. **Buildings and Cities**, 2(1), pp. 92–113. 2021. DOI: 10.5334/bc.83

Lan, H.; Gou, Z.; Hou, C. Understanding the relationship between urban morphology and solar potential in mixed-use neighborhoods using machine learning algorithms, **Sustainable Cities and Society**, v. 87, 104225, 2022, doi:10.1016/j.scs.2022.104225.

Zhao, H.; Yang, R. J.; Liu, C.; Chayn Sun, Solar building envelope potential in urban environments: A state-of-the-art review of assessment methods and framework. **Building and Environment**, V. 244, 110831, 2023. Doi:10.1016/j.buildenv.2023.110831.

Zhao, K.; Gou, Z. Influence of urban morphology on facade solar potential in mixed-use neighborhoods: Block prototypes and design benchmark. **Energy and Buildings**, V. 297, 113446, 2023. doi:10.1016/j.enbuild.2023.113446

Zhang, X.; Wang, X.; Sihong Du, Tian, S.; Ariel Jia,; Yu Ye,; Naiping Gao, Kuang, X.; Xing Shi. A systematic review of urban form generation and optimization for performance-driven urban design. **Building and Environment**, V. 253, 111269, 2024. doi:10.1016/j.buildenv.2024.111269.