



ENTAC 2024

XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024



Impacto do Crescimento Urbano na Acessibilidade Solar: Um Estudo em Florianópolis

Impact of Urban Growth on Solar Accessibility: A Study in Florianópolis

Renata Mansuelo Alves Domingos

Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil |
mansuelo.alves@gmail.com

Pedro Oscar Pizzetti Mariano

Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil |
pedro.pm@hotmail.com

Fernando Oscar Ruttkay Pereira

Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil |
ruttkay.pereira@ufsc.br

Resumo

A ausência de consideração adequada da acessibilidade à radiação solar nos planos diretores brasileiros reflete uma lacuna significativa no planejamento urbano. Este estudo propõe caracterizar a influência do crescimento urbano nesse aspecto. A metodologia adotada consiste na modelagem de um cenário real, focalizando a densidade média em Florianópolis, nos anos de 2003, 2013 e 2023. A altura das edificações é determinada por levantamento de campo e análise de imagens aéreas. Os resultados revelam uma queda de 8% na disponibilidade de radiação por metro quadrado na cobertura de 2003 para 2013 e 15% de 2013 para 2023. Para as paredes, observa-se uma diminuição de aproximadamente 9% de 2003 para 2013 e 12% de 2013 para 2023. Planejar a morfologia urbana do ambiente construído é uma questão fundamental para mudar para um ambiente urbano adaptado ao clima e que usa o clima como uma ferramenta para produção de energia de forma ativa ou passiva. Essas descobertas destacam a necessidade premente de incorporar a acessibilidade à radiação solar no planejamento urbano, visando promover cidades mais sustentáveis e saudáveis.

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

Abstract

The lack of adequate consideration of solar radiation accessibility in Brazilian urban plans reflects a significant gap in urban planning. This study aims to characterize the influence of urban growth in this aspect. The adopted methodology involves modeling a real scenario, focusing on the average density in Florianópolis for the years 2003, 2013, and 2023. Building heights are determined through field surveys and aerial image analysis. Results show an 8% decrease in radiation availability per square meter on rooftops from 2003 to 2013 and 15% from



Como citar:

DOMINGOS, R. M. A.; MARIANO, P. O. P.; PEREIRA, F. O. R. Impacto do Crescimento Urbano na Acessibilidade Solar: Um Estudo em Florianópolis. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais...** Maceió: ANTAC, 2024.

2023 to 2013. For walls, there's an approximately 9% decrease from 2003 to 2013 and 12% from 2013 to 2023. Planning the urban morphology of the built environment is crucial for transitioning to a climate-adapted urban setting that utilizes climate as a tool for energy production, either actively or passively. These findings underscore the urgent need to incorporate solar radiation accessibility in urban planning to promote healthier and more sustainable cities.

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

INTRODUÇÃO

No Brasil, mais de dois terços da população é urbana, e esse número tende a aumentar nos próximos anos. Na maioria das cidades brasileiras, esse processo de urbanização ainda não atingiu um controle efetivo do desenvolvimento urbano, e esse processo não controlado levou progressivamente a uma explosão da demanda de energia. À medida que as cidades continuam a crescer e a tornar-se mais densamente povoadas, a relação entre a morfologia urbana e a infraestrutura energética urbana tornou-se cada vez mais importante [1].

O crescimento acelerado da urbanização tem se tornado uma característica marcante das sociedades contemporâneas, com um impacto substancial na configuração das cidades. Um aspecto preocupante desse processo é o aumento do adensamento urbano, que pode trazer consequências negativas para a qualidade de vida, o meio ambiente e a infraestrutura das áreas urbanas. Nesse processo novos edifícios são construídos em áreas consolidadas sem considerar o ambiente ao redor. Um dos principais problemas decorrentes do adensamento é a sobrecarga das infraestruturas existentes. O aumento da densidade populacional pode sobrecarregar sistemas de transporte, abastecimento de água, saneamento básico e energia elétrica. A análise cuidadosa dos impactos do adensamento é um passo importante em direção a um desenvolvimento urbano mais sustentável e harmonioso [2].

Os planos diretores no Brasil, que definem parâmetros espaciais em vez de se concentrarem no desempenho urbano, enfrentam críticas significativas devido às suas limitações e inadequações [3]. Esses planos, geralmente voltados para aspectos físicos e de zoneamento, deixam de abordar questões essenciais para o bem-estar e a qualidade de vida dos cidadãos, incluindo a acessibilidade ao sol e outros fatores ambientais.

A falta de consideração adequada da acessibilidade à radiação solar nos planos diretores no Brasil representa uma falha significativa no planejamento urbano e merece crítica específica. A exposição adequada à radiação solar é fundamental para a saúde física e mental das pessoas. A luz solar desencadeia a produção de vitamina D, que é essencial para a saúde óssea e imunológica. Além disso, a luz solar natural melhora o humor e reduz o risco de depressão. [5] A falta de consideração desse aspecto pode levar a áreas urbanas onde os moradores têm acesso limitado à luz solar, contribuindo para problemas de saúde. A falta de acesso à luz solar não afeta todos os habitantes de uma cidade da mesma maneira. Geralmente, áreas de baixa renda ou densamente povoadas podem sofrer mais com a falta de luz solar devido à má concepção urbana. Isso pode agravar desigualdades socioeconômicas, já que os moradores dessas áreas têm menos oportunidades de desfrutar dos benefícios da luz solar.

A acessibilidade solar, definida como a irradiação solar recebida em um domínio espacial e temporal, está se tornando cada vez mais uma demanda prática em uma variedade de aplicações, especialmente em áreas urbanas densas e altas, onde as pessoas preferem acomodações e escritórios com iluminação natural e as empresas

desejam telhados com alta exposição ao sol para células fotovoltaicas. No entanto, novos edifícios podem alterar substancialmente a distribuição solar espaço-temporal e obstruir significativamente a exposição à energia solar [5]. A radiação em função da morfologia urbana já foi analisada anteriormente no cenário brasileiro para um bairro em São Paulo [6]. A confiabilidade do conjunto de bancos de dados utilizados nesta pesquisa é destacada pela qualidade e precisão das fontes envolvidas. Google Earth oferece uma vasta e detalhada cobertura de imagens de satélite, permitindo uma análise espacial precisa e atualizada. O software tridimensional Rhinoceros, amplamente reconhecido por sua robustez em modelagem, foi utilizado em conjunto com os plug-ins Grasshopper e Diva, como relatado pelos autores [6], para modelar a variação isolada dos parâmetros urbanísticos e identificar quais parâmetros maximizam ou minimizam a incidência de radiação solar nas coberturas das edificações. Além disso, o Ladybug, um plug-in que integra dados ambientais com modelagem paramétrica, e o SWERA (Solar and Wind Energy Resource Assessment), que fornece dados meteorológicos e recursos de energia renovável, complementam esse conjunto de ferramentas, proporcionando uma base sólida para análises urbanísticas e energéticas como atestado pelos autores [6].

Nesse contexto, esse artigo tem como objetivo caracterizar a evolução da perda de exposição da radiação na envoltória em Florianópolis – SC nos últimos 20 anos, destacando a redução significativa na disponibilidade de radiação solar devido ao aumento da densidade urbana e altura das edificações.

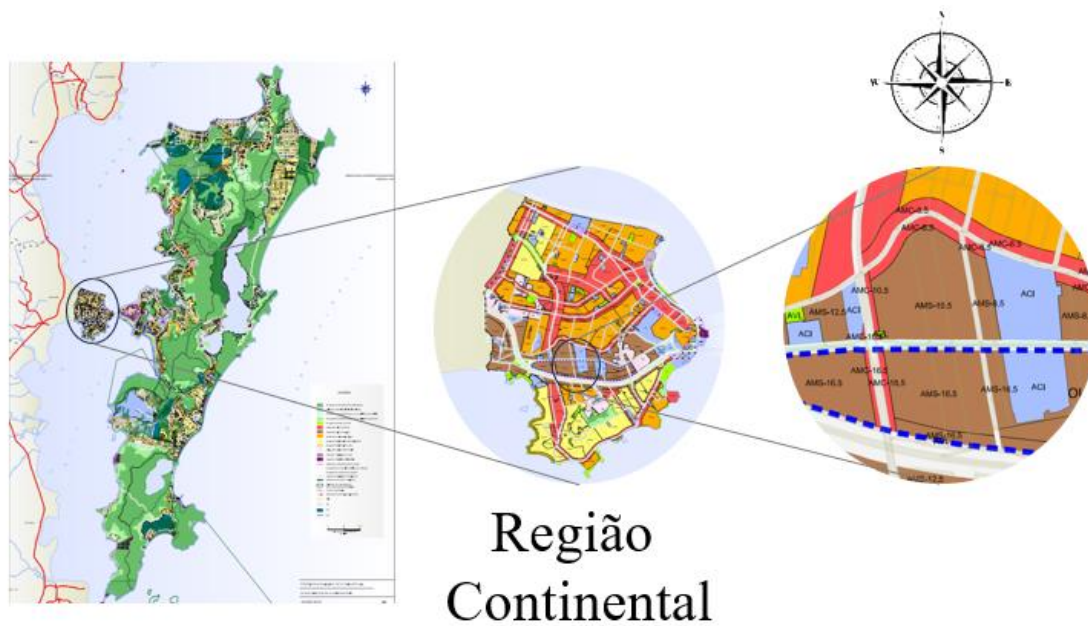
METODOLOGIA

A metodologia é dividida em quatro partes, sendo a primeira o mapeamento do objeto de estudo, a segunda a modelagem das edificações, e por último as simulações e suas análises.

DEFINIÇÃO DO LOCAL

Optou-se por abordar um recorte urbano, ou seja, fragmento específico da área urbana, em virtude de situações concretas. Essa decisão fundamenta-se, principalmente, na capacidade dos modelos baseados em situações reais em evidenciar problemáticas que frequentemente permanecem ocultas em cenários hipotéticos. A cidade escolhida para a representação da realização da pesquisa é a cidade de Florianópolis em Santa Catarina. Para esse recorte foi escolhida a densidade média que fica na parte continental. A região está sinalizada na Figura 1.

Figura 1: Região escolhida para modelagem



Fonte: o autor.

De acordo com o macrozoneamento e a tabela de limites da Prefeitura de Florianópolis [7] a área escolhida da região continental é denominada Área Mista de Serviços (AMS – 10,5) e tem uma densidade líquida de 590 hab/ha no lote.

MODELAGEM DOS CENÁRIOS

São apresentados os cenários dos anos 2003, 2013 e 2023 para mostrar a evolução da ocupação urbana no recorte e o impacto na disponibilidade de radiação por m² nas coberturas e fachadas. Para a elaboração dos cenários, a altura das edificações é estabelecida por meio de levantamento de campo e a utilização de imagens aéreas e tridimensionais obtidas a partir do histórico do Google Earth.

O programa escolhido para a modelagem dos cenários urbanos é o Rhinoceros, um software tridimensional. A modelagem foi feita de forma manual e a seleção foi motivada, principalmente, pela sua integração com os plug-ins Ladybug, e Grasshopper que são empregados nas fases de simulação.

SIMULAÇÃO DOS MODELOS

Nessa etapa é conduzida a avaliação da exposição à radiação solar na envoltória por meio de simulações dinâmicas anuais, empregando o plug-in Ladybug e utilizando um arquivo climático do tipo SWERA. Ele se conecta ao Grasshopper3D por mecanismos de simulação validados, incluindo EnergyPlus/OpenStudio (para energia predial, dimensionamento de HVAC, conforto térmico, etc.) e Radiance (para simulação de iluminação natural e ofuscamento). O plug-in permite a criação de modelos EnergyPlus e Radiance em escala urbana, capitalizando uma representação 2D abstrata da geometria do edifício, onde todas as salas são consideradas extrusões de placas de piso. Este procedimento abrange todos os elementos da radiação solar, abrangendo tanto os componentes diretos quanto difusos, além dos elementos do céu e reflexos provenientes de superfícies externas.

RESULTADOS E ANALISES

ADENSAMENTO

O adensamento na região escolhida tem sido constante, de 2003 para 2013 houve um aumento de aproximadamente 20% na área construída; de 2013 para 2023 houve em torno de 30%; quando comparando 2003 com 2023 houve 55% de aumento da área construída. No entanto poucas edificações usam todo o potencial construtivo permitido pelo plano diretor, como as alturas máximas, além de se ter muitas casas unifamiliares que com o tempo podem virar grandes edifícios conforme nota-se na Figura 2.

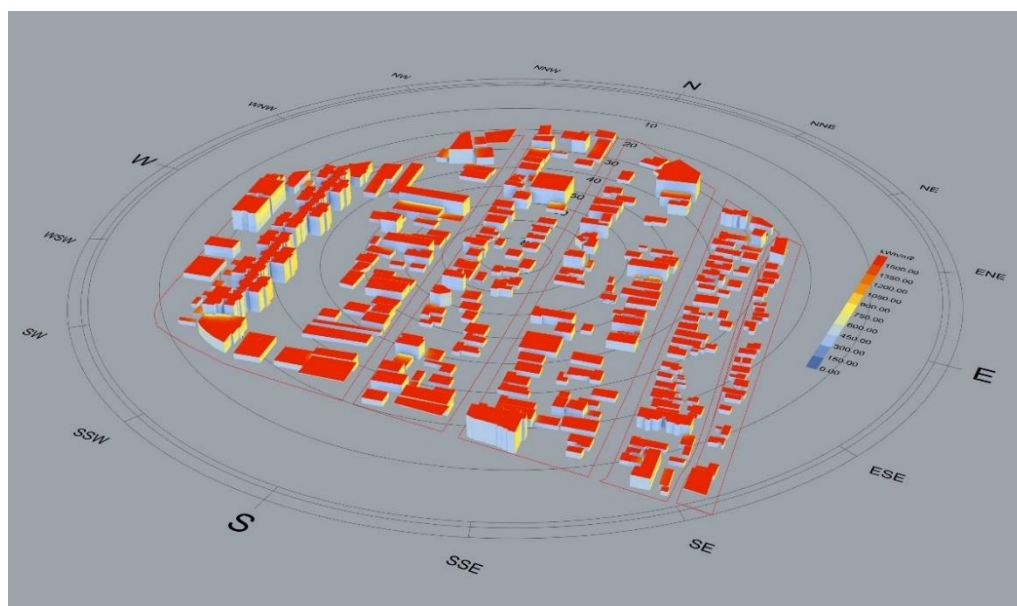
Figura 2: Evolução do espaço ao longo do tempo.



Nota: Ano de 2003 (à esquerda), ano de 2013 (ao centro) e ano de 2023 (à direita). Fonte: o autor.

No cenário de 2003 as edificações de um pavimento representavam mais de um quarto da área construída. Isso significa como já esperado uma maior captação de radiação na cobertura e conseqüentemente uma maior radiação/m² em relação aos outros cenários. Nesse ano os maiores prédios tinham apenas 5 andares. A simulação da radiação está representada na Figura 3.

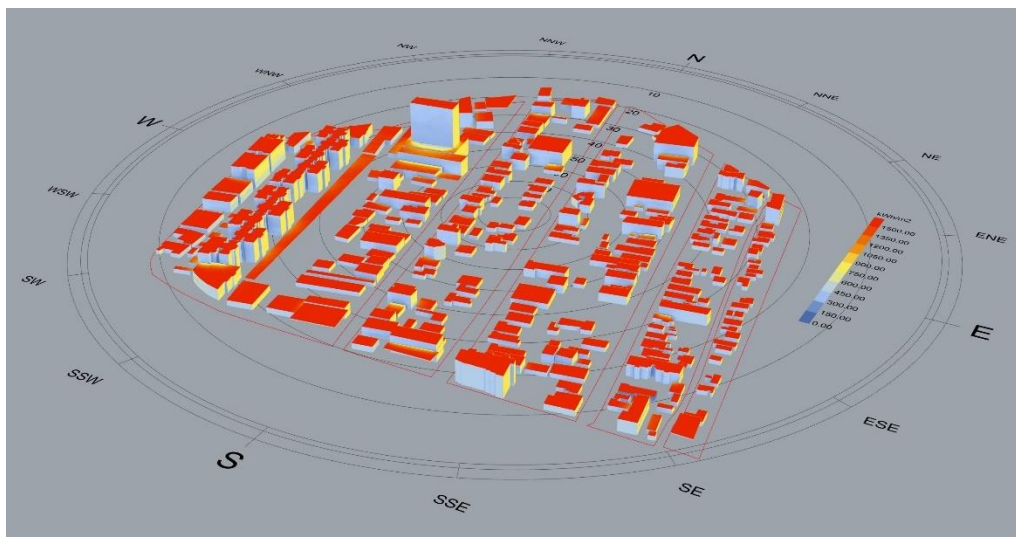
Figura 3: Mapa de radiação de 2003



Fonte: o autor.

No cenário de 2013 as edificações de um pavimento continuam representando uma parte significativa, sendo quase um quinto da área construída. Nesse cenário aparece o primeiro prédio com mais de 5 andares, tendo 13 pavimentos. A simulação da radiação está representada na Figura 4.

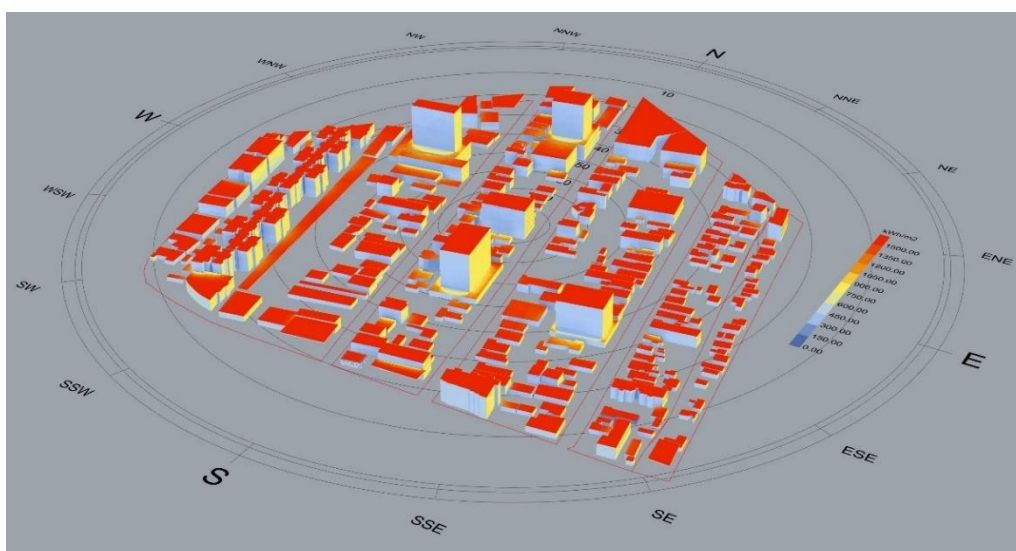
Figura 4: Mapa de radiação de 2013



Fonte: o autor.

No ano de 2023 as edificações de um pavimento passam a representar um sexto da área construída, mesmo sem um adensamento muito expressivo e contendo apenas 5 edifícios com uma densidade maior (acima de 7 pavimentos). A simulação da radiação está representada na Figura 5.

Figura 5: Mapa de radiação de 2023



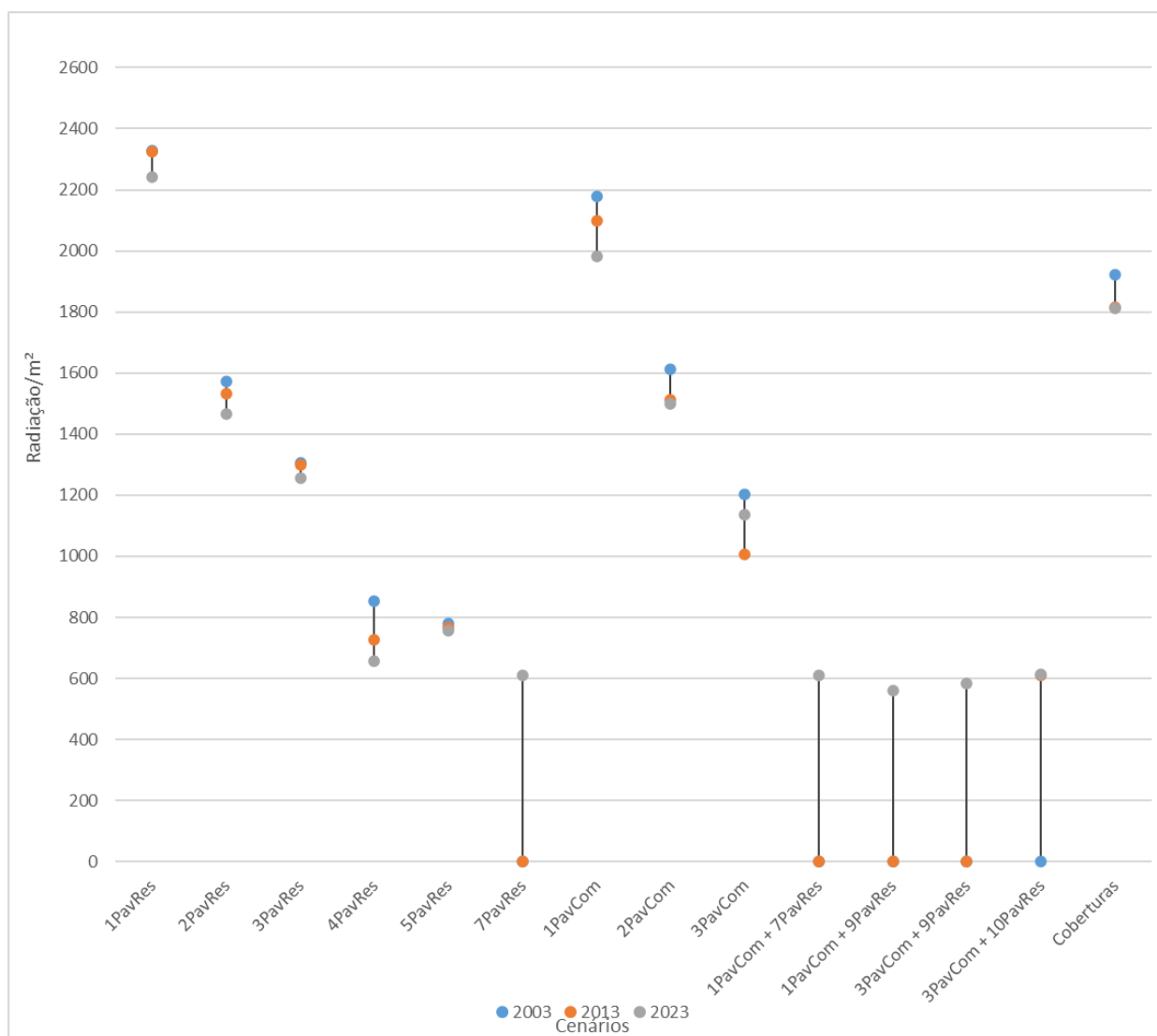
Fonte: o autor.

EVOLUÇÃO DA RADIAÇÃO

A radiação geral da envoltória disponível por metro quadrado em 2013 foi 7% menor do que a existente em 2003. Quando comparado o ano de 2023 com 2013 tem-se uma

redução de aproximadamente 15% e se for comparado 2023 com 2003 tem-se 20% a menos de radiação disponível/m² construído (Rad/m²), ou seja, a quantidade de radiação disponível por metro quadrado construído em casa piso, conforme apresentado no gráfico da Figura 6. No cenário atual nota-se uma tendência a estabilização da quantidade de Rad/m² a partir das edificações com 4 pavimentos. A redução mais drástica entre as diferenças de números de pavimentos acontece entre edifícios com 1 pavimento e 2 pavimentos (média de 50%), de 2 pavimentos para 3 pavimentos a redução é baixa (15%) e ao comparar os valores de 3 pavimentos com 4 pavimentos (40%), 5, 7, 8, 10 pavimentos os valores são na média de 50% de redução, mas com menor variação ao serem comparados entre si (de 5 a 10%). O edifício mais alto (13 pavimentos) tem 27% da disponibilidade de rad/m² de um edifício com 1 pavimento.

Figura 6: Radiação por metro quadrado média da envoltória

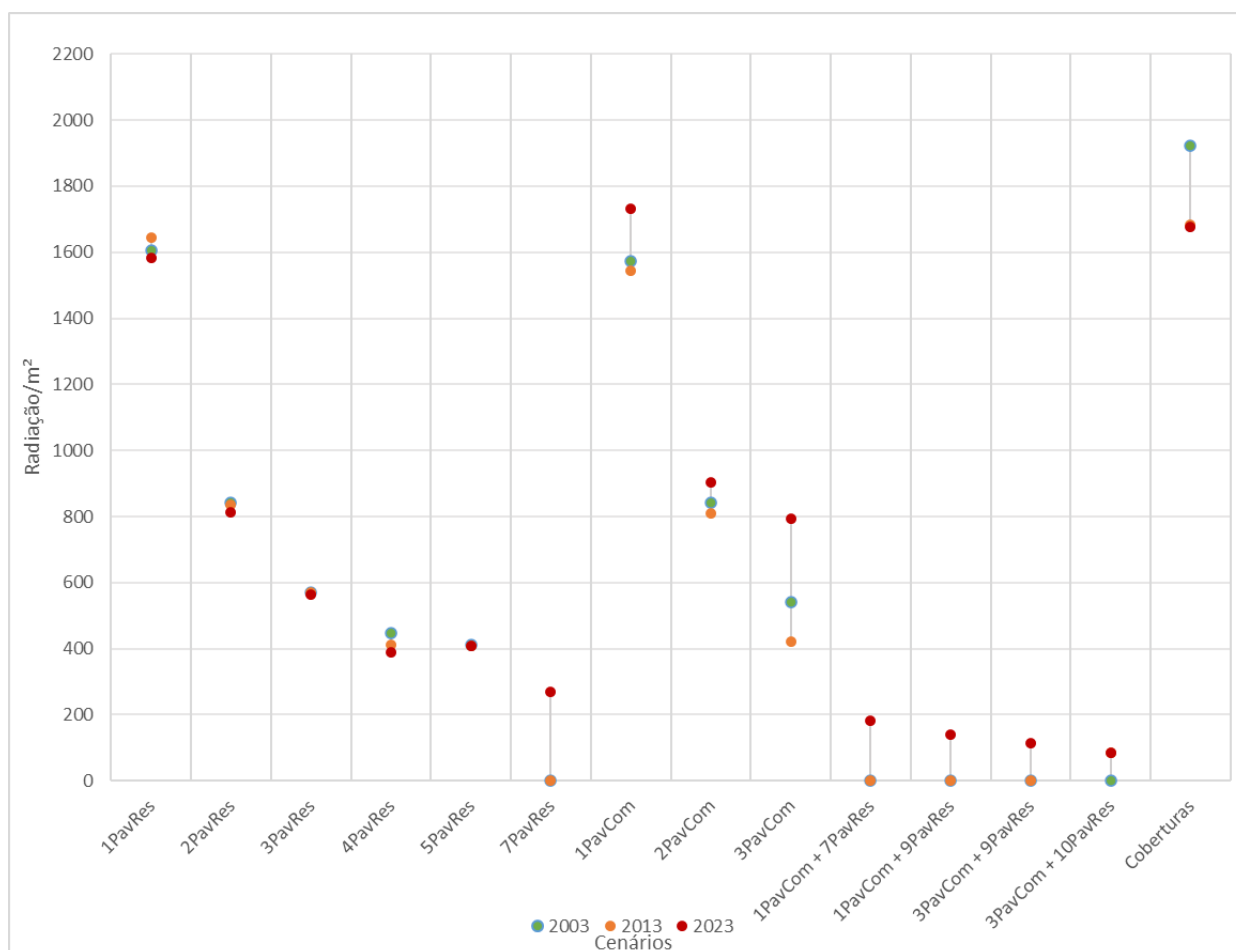


Fonte: o autor.

Ao analisar a radiação disponível na cobertura os valores da comparação entre os cenários são similares a análise geral. Em termos de valores médios o ano de 2013

perdeu aproximadamente 8% de disponibilidade de radiação em relação a 2003. Ao comparar 2023 com 2013 a redução foi de 15% e 2023 com 2003 foi aproximadamente 22% conforme Figura 7. Ao comparar os edifícios com diferentes níveis de altura tem-se a mesma redução de aproximadamente 50% das edificações de 2 pavimentos para 1 pavimento. Ao contrapor os valores dos edifícios com 3 pavimentos com 2 pavimentos a redução é de 30%, essa redução continua acontecendo ao comparar os próximos edifícios, nesse caso o edifício com 13 pavimentos representa 5% da radiação por metro quadrado disponível dos edifícios com 1 pavimento. É importante destacar que a área de cobertura total não aumenta à medida que a área construída cresce, ou seja, à medida que o número de pavimentos aumenta. Portanto, as análises de radiação para envoltórias verticais desempenham um papel crucial no processo de verticalização e densificação.

Figura 7: Radiação por metro quadrado média da cobertura

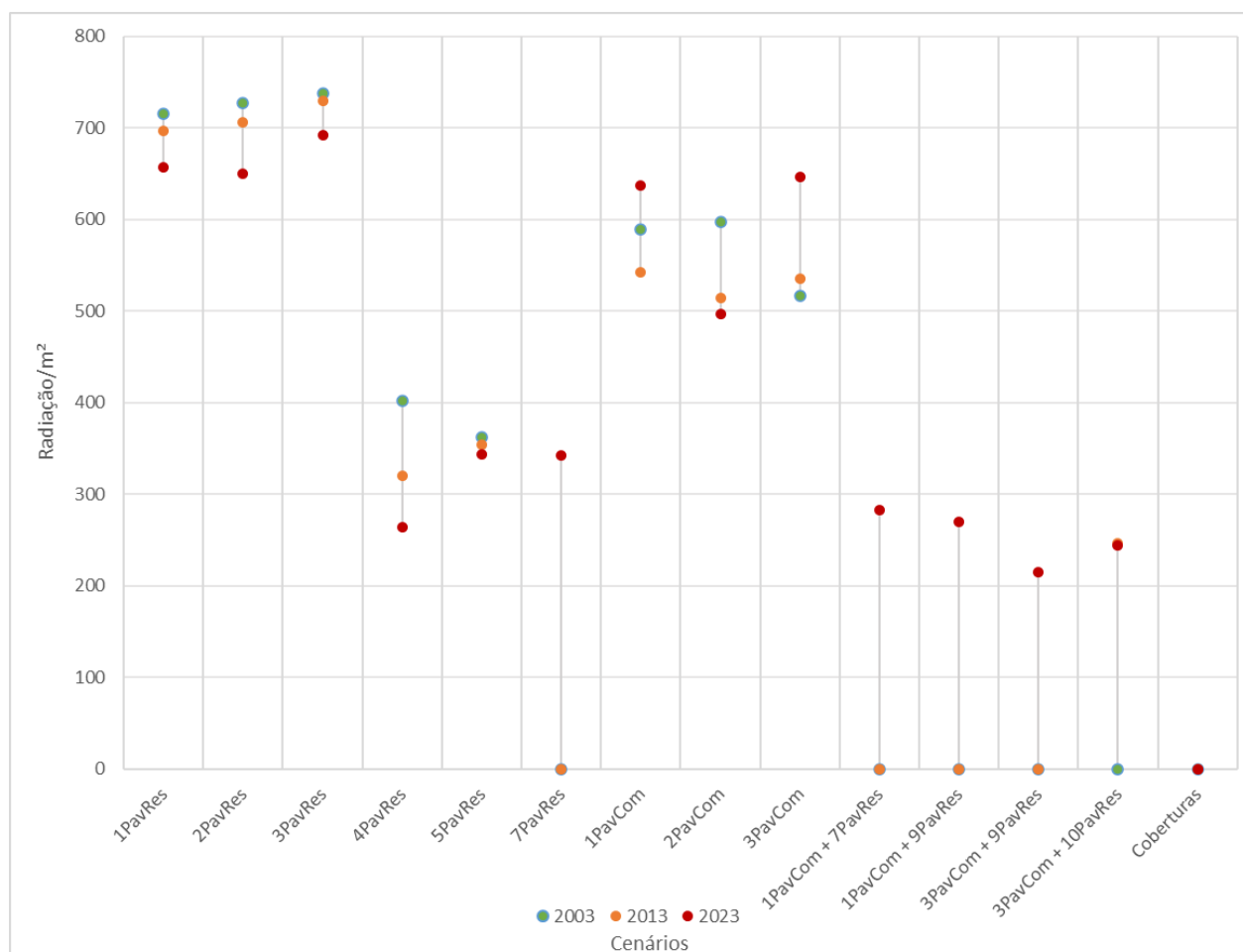


Fonte: o autor.

A radiação por metro quadrado média disponível nas paredes em 2013 é 8% menor que em 2003. Ao comparar 2023 com 2013 a diminuição foi de aproximadamente 11% e com 2003 de 9% como mostrado na Figura 8. Nesse contexto a variação entre os edifícios de 1, 2 e 3 pavimentos foram bem menores que nos outros casos, sendo de 2% a 7% na média. Os valores destoantes foram devidos ao sombreamento que o cenário de 2023 estava exposto, chegando a perder 22% de radiação. As variações

entre os edifícios mais altos foram de 1% a 10%, ao comparar o mais alto com o mais baixo a radiação disponível por metro quadrado representa aproximadamente 37%.

Figura 8: Radiação por metro quadrado média das paredes



Fonte: o autor.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

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. Nesse contexto um plano diretor que considere o desempenho da edificação e não apenas os parâmetros morfológicos é essencial.

Essas análises são fundamentais para orientar políticas públicas e estratégias de urbanização que possam mitigar os impactos negativos do crescimento urbano sobre a acessibilidade à radiação solar, garantindo um desenvolvimento urbano mais sustentável e saudável.

REFERÊNCIAS

- [1] MARTINS, T. A. L. et al. Sensitivity analysis of urban morphology factors regarding solar energy potential of buildings in a Brazilian tropical context. **Solar Energy**, v. 137, p. 11–24, 2016.
- [2] JAVANROODI, K.; PERERA, A.T.D.; HONG, T.; NIK, V. M. Designing climate resilient energy systems in complex urban areas considering urban morphology: A technical review. **Advances in Applied Energy**. v. 12, p. 100155, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.adapen.2023.100155>.
- [3] ZANDAVALI, B., TURKIENICZ, B. Cellular Automata: A bridge between building variability and urban form control. **SIMAUD**, 9, 2018, Delft, Proceedings. p.239-246.
- [4] FONSECA, R. W. ; PEREIRA, F. O. R.. Uma reflexão acerca da qualidade luminosa das habitações e a saúde de seus ocupantes. *Arquitextos*, São Paulo, ano 22, n. 259.12, **Vitruvius**, dez. 2021 <<https://vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/22.259/8489>>.
- [5] ZHU R. Solar accessibility in developing cities: A case study in Kowloon East, Hong Kong, **Sustainable Cities and Society**, v. 51, 2019.
- [6] 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.
- [7] PREFEITURA DE FLORIANÓPOLIS, **Plano Diretor Municipal**, Florianópolis, 2022.