



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
DEPARTAMENTO DE ARQUITETURA E URBANISMO

CLARICE MENDES CAVALCANTE BARROS

**A INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS URBANOS DE ARACAJU/SE NA
GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA DAS EDIFICAÇÕES:**
Estudo de Caso da Zona de Adensamento Preferencial 4

Laranjeiras/SE

2026

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
DEPARTAMENTO DE ARQUITETURA E URBANISMO

CLARICE MENDES CAVALCANTE BARROS

**A INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS URBANOS DE ARACAJU/SE NA
GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA DAS EDIFICAÇÕES:**
Estudo de Caso da Zona de Adensamento Preferencial 4

Trabalho de conclusão de curso encaminhado ao Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Sergipe, Campus de Laranjeiras, como condição necessária à obtenção do título de bacharel em Arquitetura e Urbanismo. Orientador: Prof. Dr. Italo César Montalvão Guedes. Coorientador: Prof. Dr. Pedro Vítor Sousa Ribeiro

Laranjeiras/SE
2026

RESUMO

A verticalização das cidades e a definição dos parâmetros urbanísticos influenciam diretamente o acesso à radiação solar nas edificações, impactando aspectos relacionados ao conforto ambiental e ao aproveitamento da energia solar. Nesse contexto, este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo geral avaliar a influência de parâmetros urbanísticos da cidade de Aracaju/SE na eficiência de sistemas solares fotovoltaicos. A pesquisa foi desenvolvida por meio de revisão bibliográfica, análise da legislação urbanística vigente, modelagem tridimensional de diferentes cenários urbanos e simulações computacionais de iluminância global anual, sazonal e incidência de radiação solar direta. Dentre os cenários analisados, o modelo com taxa de ocupação de 50% e coeficiente de aproveitamento de 1, o Controle, apresentou melhor desempenho, enquanto o aumento do coeficiente de aproveitamento reduziu significativamente os níveis de iluminância. A sua duplicação reduziu a iluminância em cerca de 10%, enquanto sua quadruplicação resultou em uma redução de aproximadamente 30%. Em contrapartida, o aumento da taxa de ocupação provocou variações pouco expressivas, em torno de 2%. Os resultados indicam que a limitação do coeficiente de aproveitamento, associada a maiores taxas de ocupação, favorece o acesso solar nas edificações. Conclui-se que a interação entre os parâmetros urbanísticos influencia o desempenho solar das edificações, evidenciando a importância de incorporar critérios de acesso solar na definição dos índices urbanísticos, contribuindo para o planejamento de cidades mais sustentáveis.

Palavras-chave: Painéis Fotovoltaicos; Acesso Solar; Parâmetros Urbanísticos; Envelope Solar.

ABSTRACT

The vertical development of cities and the definition of urban planning parameters directly influence the amount of solar radiation reaching buildings, affecting aspects relating to environmental comfort and the utilisation of solar energy. In this context, the overall objective of this final-year project is to assess the influence of urban planning parameters in the city of Aracaju, Sergipe, on the efficiency of solar photovoltaic systems. The research was carried out through a literature review, an analysis of current urban planning legislation, three-dimensional modelling of different urban scenarios, and computer simulations of annual and seasonal global illuminance and the incidence of direct solar radiation. Among the scenarios analysed, the model with an occupancy rate of 50% and a utilisation coefficient of 1 (the Control scenario) performed best, whilst an increase in the utilisation coefficient significantly reduced illuminance levels. Doubling the utilisation coefficient reduced illuminance by around 10%, whilst quadrupling it resulted in a reduction of approximately 30%. In contrast, increasing the occupancy rate caused only minor variations, of around 2%. The results indicate that limiting the utilisation coefficient, combined with higher occupancy rates, promotes solar access in buildings. The results indicate that limiting the utilization coefficient, combined with higher occupancy rates, promotes solar access in buildings. It is concluded that the interaction between urban planning parameters influences the solar performance of buildings, as evidenced

Keywords: Photovoltaic Panels; Solar Access; Urban Planning Parameters; Solar Cover.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	6
1.1. Justificativa.....	9
1.2. Objetivos.....	9
1.3. Estrutura do Trabalho.....	10
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	11
2.1. Energia Solar e o Panorama Brasileiro.....	11
2.2. Energia Solar: Logística.....	15
2.3. Desenho Urbano e Geração de Energia Solar Fotovoltaica.....	17
2.4. Programas de Incentivo a Geração de Energia Solar Fotovoltaica.....	22
2.5. Energia Solar Fotovoltaica em Sergipe.....	24
2.6. Aracaju e Suas Normas Urbanísticas - Breve Histórico.....	27
2.7. Processo de Verticalização e de Especulação Imobiliária em Aracaju/SE.....	31
2.8. Índices Urbanísticos e Zoneamento de Aracaju/SE.....	36
3. METODOLOGIA.....	39
3.1. Escolha do Objeto de Estudo Específico.....	40
3.2. Análise dos Padrões Construtivos da ZAP 4.....	40
3.3. Elaboração de Modelos.....	44
3.4. Escolha do Software de modelagem e simulação.....	54
3.5. Modelagem Computacional.....	56
3.6. Análise dos Resultados.....	57
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	58
5. CONCLUSÃO.....	75
REFERÊNCIAS.....	78

1. INTRODUÇÃO

Em 2024, uma das temáticas mais comentadas no relatório da ONU-Habitat, publicado durante a 12ª Sessão do Fórum Urbano Mundial no Cairo, foi o papel central das cidades na promoção do desenvolvimento sustentável. Isso se deve aos diversos problemas enfrentados nas grandes cidades pelo crescimento desenfreado, somatizados às consequências das mudanças climáticas globais. O relatório, portanto, atribui os desafios para o planejamento urbano atual, como sendo premeditados pelos âmbitos econômicos, legislativos, sociais e ambientais.

Paralelo a esse pensamento, diante da dependência significativa do Brasil de fontes energéticas hídricas e fósseis, a Agenda 2030 (Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas, 2016) prevê um estímulo a fontes energéticas mais sustentáveis como a energia solar. Essa seria uma forma de mitigar as problemáticas causadas pela emissão de gases poluentes e aproveitar o potencial desse mercado, já que é um país com grande abundância de irradiação solar.

Nesse sentido, a energia solar pode ser vista como um dos caminhos para uma transição energética mais sustentável e com capacidade de suprir grande parte da demanda energética mundial, porém ainda se trata de uma tecnologia de alto custo e que demanda cuidados específicos com o armazenamento (Silva, 2011).

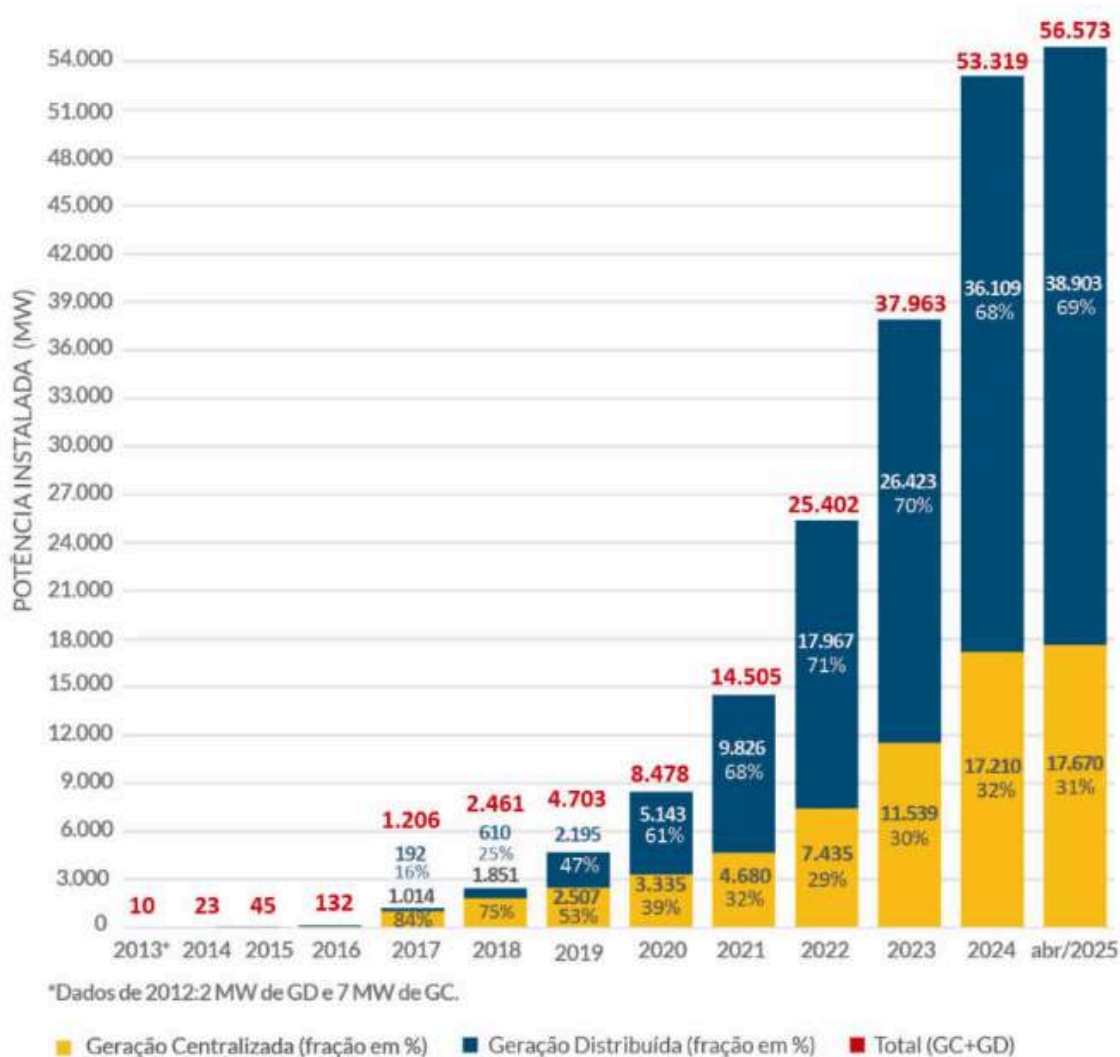
Em uma tentativa de popularizar essa forma de energia, no ano de 2012, a Aneel (Agência Nacional de Energia Elétrica) promoveu a regulamentação do *net metering*¹ (Resolução 482) (Brasil, 2012), levando a um avanço na quantidade de sistemas fotovoltaicos conectados à rede. Esse sistema fundamentou a micro e minigeração de energia elétrica por meio de fontes renováveis de energia, passando a funcionar como sistemas de geração distribuída conectados à rede convencional (Mauad *et al.*, 2017).

Com a nova regulamentação, já foi possível notar o aumento de geração de energia solar no Brasil de cerca de 25,6 GWh de 2013 para 2022 (MME, 2023). Em relatórios recentes da ANEEL em parceria com a Absolar (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica) fica evidente o crescimento de 69% da demanda por geração de energia solar distribuída e de 31% de geração concentrada em relação ao ano anterior, totalizando em 56.573 MW de potência instalada (Figura 1). O ano de 2020 se destaca como sendo o ano em que a produção de energia solar no Brasil duplicou em

¹ Sistema que permite aos consumidores que geram a própria energia, como energia solar, compensar o consumo com o excedente injetado na rede elétrica, recebendo créditos pelo excesso.

relação ao anterior, comprovando eficiência na disseminação dessa tecnologia em território nacional (Figura 1).

Figura 1 - Evolução da Fonte Solar Fotovoltaica no Brasil



Fonte: Absolar, 2025.

Além disso, apesar do contexto internacional de sobreoferta e de forte competição, a estrutura industrial mundial ainda não está consolidada, sendo um momento ideal para o Brasil realizar esforços em todas as suas esferas de concepção política para articulação de políticas públicas de fomento à energia solar (Esposito, 2013).

Nesse campo, uma problemática presente é a da redução do acesso solar das edificações devido a tendência de verticalização dos grandes centros como consequência da especulação imobiliária. Assim, os novos edifícios, com gabaritos cada vez mais altos, passam a obstruir o acesso solar e geram

sombras nas edificações próximas, formando um obstáculo que as impedem de receber iluminação natural adequada e as priva dos benefícios bactericidas do sol e da possibilidade de utilizá-lo como fonte de energia (Perez, 2013). Esse processo é fomentado por Leis de Uso e Ocupação do Solo que definem regras de zoneamento da cidade, com base, por exemplo, na tipologia de usos, e que de acordo com Vilela (2017), sem levar em conta os impactos da morfologia urbana para o acesso solar e seus ganhos energéticos.

Quando se tem como propósito fomentar o crescimento de cidades mais sustentáveis, caberia ao plano urbano e regional tecer limites que colaborassem para o melhor aproveitamento da iluminação natural e o uso de fontes renováveis de energia, como a solar, para minimizar os impactos ambientais e promover e diversificação da matriz energética.

O entendimento de como os parâmetros urbanísticos podem auxiliar a resguardar esse direito e incentivar a disseminação da energia solar é de imensa importância para o Brasil e para o mundo. Sabe-se que no caso brasileiro não há medidas urbanísticas em nenhum plano de macrozoneamento que tenham em seu cerne esse pensamento, somente existindo em planos municipais e políticas de incentivo monetário (Perez, 2007).

Estudos na escala de cidade, como em Maceió (Martins *et al.*, 2014), Salvador (Bastian, 2024) e em bairros como Chapecó/SC (Fontana, 2019) e Belenzinho/SP (Girotti, 2019), apontam que a taxa de ocupação, o coeficiente de aproveitamento e o gabarito de altura consistem nos principais parâmetros urbanísticos que interferem na geração de energia fotovoltaica e no acesso ao sol.

Os estudos permitem compreender que quanto maior o número de pavimentos da edificação, maior será a radiação solar recebida pela edificação isoladamente, mas em uma malha, as sombras geradas podem interferir no potencial do grupo. Além disso, revelam que o ideal seria reduzir a taxa de ocupação e aumentar os recuos para afastar as edificações no tecido urbano.

Na cidade de Aracaju/SE, a quantidade de unidades consumidoras que utilizam energia fotovoltaica passou de uma em 2012 para mais de 1500 em 2021, comprovando que a cidade vem acompanhando a tendência nacional de crescimento pela demanda de painéis fotovoltaicos (Sergipetec, 2025).

A problemática do acesso solar, nesse sentido, necessita ser levada em conta no processo de elaboração de futuras políticas de planejamento urbano, já que a cidade continua a crescer e o plano diretor datado dos anos de 2000 está em fase de revisão .

1.1. Justificativa

Mediante a necessidade de se estimular a diversificação da matriz energética brasileira, principalmente voltada para fontes renováveis, a energia solar surge como uma alternativa com grande potencial de crescimento e lucratividade, já que o Brasil possui abundância de radiação solar e o mercado internacional ainda não está consolidado.

Associado a esse processo, legislações urbanísticas que considerem o acesso solar como fator relevante ainda são escassas em escala nacional e mundial. Portanto, a verticalização impensada dos centros urbanos acaba gerando sombreamento nas áreas adjacentes, reduzindo tanto o potencial higienista proporcionado pela incidência solar quanto a energia solar a ser gerada *in loco*.

Diante desse cenário, é fundamental a realização de estudos que entendam o impacto dos parâmetros urbanísticos para o acesso solar, e consequentemente, para a geração de energia solar fotovoltaica. O caso da Aracaju/SE, em sua especificidade, por ser uma capital localizada no Nordeste brasileiro, o estímulo dessa tecnologia seria assertivo, já que a região possui radiação solar em abundância. Além disso, o plano diretor ainda está em fase de revisão e poderia abordar estratégias voltadas para potencializar o acesso solar.

Portanto, a temática em questão vem a ser justificada, sendo este um tema atual e importante para o futuro de Aracaju/SE, bem como para a ampliação das discussões em prol de um acesso solar para todos.

1.2. Objetivos

Com a proposta de promover o acesso solar para toda a cidade de Aracaju/SE e estimular o uso de energia solar, este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo geral avaliar a influência de parâmetros urbanísticos da cidade na eficiência de sistemas solares fotovoltaicos.

Vale ressaltar que o estudo foi realizado com enfoque na escala de unidade de quarteirão em um contexto urbano fictício, voltada para a zona de adensamento preferencial 4, na cidade de Aracaju/SE. A definição dessa zona urbana ocorreu por se tratar de uma zona tida pelo plano diretor como prioritária para o adensamento, ainda em crescimento (margem para mudanças) e por se tratar de uma região da cidade com grande interesse dos empreendimentos imobiliários e consequente verticalização.

Como objetivos específicos, busca-se: a) Traçar um panorama sobre a energia solar no mundo e no Brasil e sobre estudos urbanísticos para potencializar o acesso ao sol e observar esse cenário para Aracaju/SE; b) Propor os cenários de adensamento baseados nos parâmetros urbanísticos; c) Investigar

como os parâmetros urbanísticos do PPDU (2000) da cidade de Aracaju interferem no potencial de irradiação solar e de geração de energia solar fotovoltaica das edificações.

1.3. Estrutura do Trabalho

O trabalho foi desenvolvido em cinco capítulos. No Capítulo 1 encontra-se a introdução sobre o tema proposto, a justificativa e relevância do trabalho e a descrição do objetivo geral e dos objetivos específicos que direcionaram o desenvolvimento desta monografia.

No Capítulo 2, sendo esse o primeiro capítulo de desenvolvimento, apresenta-se a metodologia do trabalho seguido de uma revisão de literatura para servir de embasamento teórico. Este capítulo discorre sobre o panorama da energia solar no Brasil e no mundo, com relação a sua disseminação e logística, bem como sobre desenho urbano e geração de energia solar fotovoltaica e programas de incentivo a essa forma de energia. Ainda dentro do Capítulo 2, em subtópicos, discorre-se sobre a análise do objeto de estudo, trazendo as pontuações mais relevantes do plano diretor de Aracaju/SE para o caso e do panorama da cidade em relação à energia solar fotovoltaica. Nesse processo, foram analisadas as zonas da cidade de Aracaju/SE e foram tecidos critérios de elegibilidade para limitar o objeto a um recorte, sendo este uma zona da cidade de Aracaju.

No Capítulo 3, tem-se a descrição da metodologia deste trabalho, no qual por meio do estudo dos parâmetros urbanísticos de Aracaju/SE, foi realizada a escolha do objeto de estudo específico, sendo este a Zona de Adensamento Preferencial 4. Dentro dessa zona foi analisado o parcelamento do solo padrão, tipologias de quarteirões e de loteamentos. Em seguida, foi desenvolvida a etapa de experimentação, baseada nos procedimentos de Girotti (2019) e Bastian (2024), na qual foram criados modelos de quarteirão e variações de parâmetros urbanísticos. Esses modelos foram simulados no *software* Rhinoceros®, para análise qualitativa e no Troplux® para análise quantitativa, como uma modelagem dos parâmetros máximos indicados em cada uma dessas variações. Assim, os dados de radiação solar incidente sobre as superfícies horizontais dos edifícios foram gerados por meio de mapas de isocurvas, permitindo observar a porcentagem de áreas sombreadas nos lotes.

O Capítulo 4 faz referência ao processo de análise de dados obtidos e o apontamento dos principais resultados encontrados. O Capítulo 5 consiste na conclusão com o fechamento da discussão, retomando as ideias mais latentes do trabalho.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A revisão de literatura, em seu cerne, aborda temas que ajudam ao leitor a entender a problemática central dos trabalhos acadêmicos, sendo o tópico dentro do desenvolvimento responsável pela contextualização do trabalho. Desse modo, nos subtópicos a seguir, serão abordados assuntos valiosos para o entendimento da problemática deste trabalho, sendo estes a energia solar e seu funcionamento e como se deu a implementação dessa forma de energia no território nacional, chegando a Aracaju/SE como um recorte.

Além disso, faz-se essencial apresentar como as legislações urbanísticas internacionais e nacionais se referem ao acesso ao sol, bem como quais seriam os principais parâmetros que influenciam a forma urbana para ampliar o acesso solar. A compreensão das normativas urbanísticas e do processo de adensamento da cidade de Aracaju também se trata de assunto importante, já que se direciona ao objeto de estudo.

2.1. Energia Solar e o Panorama Brasileiro

Em meio ao cenário de mudanças climáticas, a urgência pela busca de fontes de energia mais sustentáveis alcançou um outro patamar. Nesse sentido, a Organização das Nações Unidas (ONU) instituiu 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) com 169 metas associadas que são integradas e indivisíveis, a serem atendidas pelos países assinantes até 2030. Com destaque para o ODS 7 (Energia limpa e acessível) e ODS 13 (Ação contra a mudança global do clima), a promessa brasileira é reduzir em 53% suas emissões de gases de efeito estufa, por meio do fomento ao uso de fontes renováveis na matriz energética, incluindo a solar, para alcançar as metas de redução de emissões e neutralidade de carbono (Painel de Mudanças Climáticas, 2016).

Com tal objetivo, foi criado em 2002 o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) pela Lei 10.438 de abril de 2002, por meio do qual o governo passou a apoiar o desenvolvimento das fontes alternativas garantindo a compra desta energia por 20 anos. O enfoque, no entanto, deu-se sobre a implantação de energia eólica, hidroelétrica e biomassa, limitando a somente três fontes de energia limpa, ficando de fora a energia solar (Brasil, 2002).

A energia solar pode ser vista como um dos caminhos para uma transição energética mais sustentável e tem capacidade de suprir grande parte da demanda energética mundial, sem falar que o

Brasil, sendo um país com abundância de radiação solar, o uso dessa energia se mostra como uma alternativa interessante e poderia ser um mercado de grande potencial de crescimento (Esposito, 2013).

Por esse princípio, em 2012 foi regulamentada no Brasil a Resolução Normativa 482, implementando regras para a geração distribuída de energia solar e pode ser considerada como marco piloto para a expansão desse tipo de energia em território nacional. Desde então, qualquer brasileiro tem o direito de aderir a esse tipo de energia e implantar painéis solares em sua propriedade. Como um incentivo para a aderência da população, o proprietário poderia ainda conectar o sistema à rede de distribuição e gerar créditos solares a partir do excedente de energia, reduzindo o valor das tarifas de energia elétrica em até 90% (Brasil, 2012) (Figura 2).

Com relação à geração centralizada de energia, somente em 2014 passou a ser implementada, com o primeiro leilão, que incluiu usinas de energia solar. Dado o tempo para a construção das usinas, a geração centralizada começou a operar em 2017 (Absolar, 2025).

Figura 2 - Esquema de geração de créditos energéticos



Fonte: Comerc Energia (2021).

Em 2015, foi aprovada a Resolução Normativa 687 (Brasil, 2015), que criou três novas modalidades de geração distribuída para se adequar às novas demandas do mercado e ampliar o público alvo:

a) Geração compartilhada: quando mais de um consumidor utiliza da energia solar dentro de uma mesma área de concessão (Absolar, 2025);

b) Múltiplas unidades consumidoras: a energia elétrica é utilizada de maneira individualizada pelas unidades consumidoras, mas administrada por um grupo externo como o condomínio, o qual utilizaria de painéis fotovoltaicos (Absolar, 2025);

c) Autoconsumo remoto: quando a localização da unidade consumidora e da geradora são diferentes, possível desde que estejam em uma mesma área de distribuição (Absolar, 2015). Essas informações foram sintetizadas na Figura 3.

Figura 3 - Quadro síntese das modalidades de geração distribuída



Fonte: Gerada por (IA) - NotebookLM a partir do prompt "tipologias de geração de energia solar".

Em 2022, foi aprovada a Lei 14.300, conhecida como Marco Legal da Geração Distribuída (Brasil, 2022), que promoveu uma mudança no sistema de compensação de crédito de energia. A partir da aprovação da lei, o excedente de energia solar gerado na rede distribuída seria injetado na rede da distribuidora, retornando para o cliente em forma de desconto na conta de luz (Absolar, 2025).

Essa mudança pode ser justificada pelo aumento da inflação energética, devido a ações governamentais e crises hídricas. Assim, o governo passaria a realizar empréstimos para as distribuidoras, como ocorrido no ano de 2020 com a Conta-Covid, para o pagamento de energia das geradoras pela redução drástica do consumo de energia durante a pandemia. Valores estes que recaem sobre os consumidores de maneira indireta pelo aumento da fatura (Absolar, 2025).

Ainda em 2022, diante da aprovação da Lei nº 14.300/2022, foi feita a incorporação de tecnologias sinérgicas no estatuto social da ABSOLAR, incluindo armazenamento de energia elétrica e hidrogênio verde. Além disso, o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) publicou o regulamento técnico nº 140/2022 (Brasil, 2022) para equipamentos de geração, acondicionamento e armazenamento de energia elétrica, atualizada em 2023 com a Resolução nº 513/2024. Esse processo pode ser visualizado no quadro síntese da Figura 4.

Figura 4 - Panorama da energia solar no Brasil ao longo do tempo



Fonte: Elaborado pela autora.

Todas essas políticas atuaram como estímulos para o crescimento e disseminação da energia solar no Brasil, atualmente compondo 22,7% da matriz energética brasileira, beneficiando mais de 5 milhões de consumidores. Apesar disso, o total de telhados solares instalados ainda é menos do que 2% das unidades consumidoras, o que abre margem para o mercado crescer cada vez mais (Portal Solar, 2025).

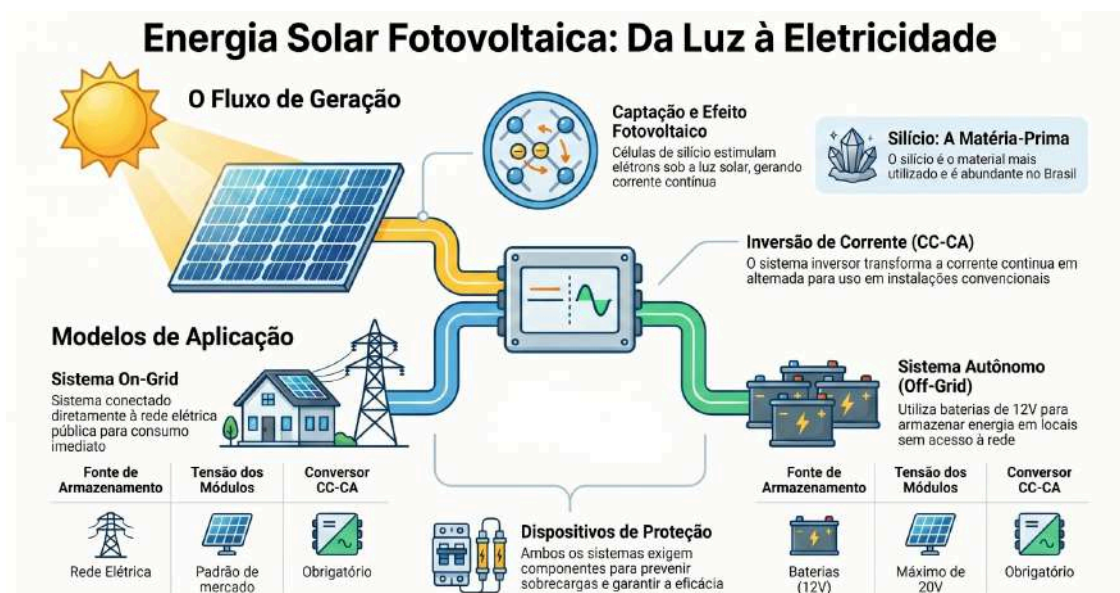
2.2. Energia Solar: Logística

A aplicabilidade de painéis fotovoltaicos consiste no posicionamento de dispositivos constituídos por materiais semicondutores, onde ficam alocadas um conjunto de células fotovoltaicas que convertem a luz do sol em eletricidade, utilizando o efeito fotovoltaico. Pela exposição dessas células a luz solar, os elétrons são estimulados e geram uma corrente elétrica contínua que é captada pelo dispositivo, transferida para um sistema inversor e transformada em corrente alternada, apta para ser utilizada em instalações elétricas convencionais (sistema *ongrid*) (Carvalho, 2019) ou armazenada em sistemas autônomos, abastecendo baterias (Villalva, 2015) (Figura 5).

Em instalações ligadas à rede elétrica normalmente o sistema é formado pelos painéis solares, fiação, sistema conversor CC-CA², proteções e conexões. No caso de sistemas autônomos, além das peças tradicionais, os módulos são vinculados a baterias, de 12V. O sistema abrange para sua eficácia associações em série e em paralelo e dispositivos de proteção para prevenção de sobrecarga (Santos, 2013) (Figura 5).

As células fotovoltaicas, aptas a produzir o efeito fotovoltaico, são fabricadas por diferentes materiais semicondutores, sua junção dá origem aos módulos fotovoltaicos, na forma de pequenas lâminas de blocos sólidos ou derivados de processos de plasma sobre superfícies rígidas ou flexíveis (Ruther, 2000).

Figura 5 - Geração e aplicação de energia solar



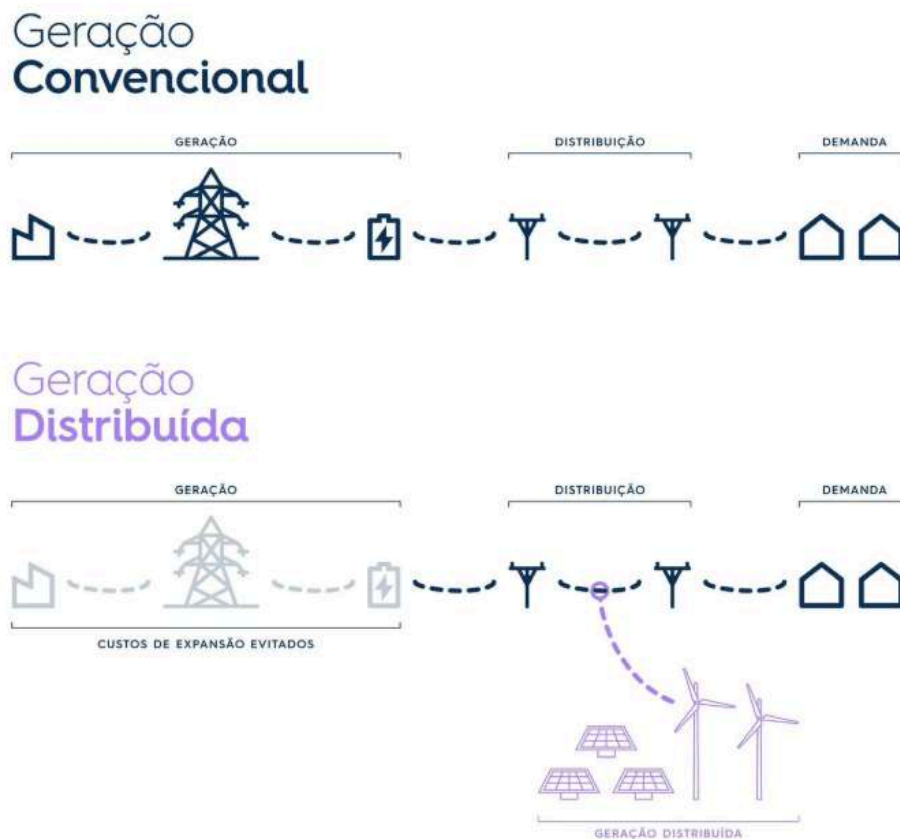
Fonte: Gerada por (IA) - NotebookLM a partir do prompt "sistemas de energia solar".

² Sistema que converte corrente contínua em corrente alternada, apta a ser utilizada pelos sistemas convencionais.

Segundo Figueira (2014), os sistemas podem ser isolados, conectados à rede ou híbridos, cuja escolha depende do local de aplicação e da disponibilidade de recursos energéticos. Os sistemas isolados geralmente abastecem baterias para uso futuro da energia. Quando conectados a rede elétrica, tornam-se autônomos ou híbridos, entrando como sistemas complementares de energia (Figura 5).

Com relação a fonte de geração de energia solar, esta pode ser distribuída, quando os painéis solares são instalados na própria unidade consumidora ou em pontos próximos (Figura 6), ou centralizada, quando a unidade geradora (normalmente de grande porte, como uma usina) produz a energia e necessita de redes de transmissão para chegar aos centros urbanos, já que se encontra a longas distâncias das unidades consumidoras (Figura 6). Ao final, é entregue aos consumidores por meio das distribuidoras de energia.

Figura 6 - Sistema de geração de energia de modo convencional e distribuído



Fonte: ligy blog (2023)

No Brasil, o sistema comumente visto é o de painéis fixos, já que há abundância de irradiação solar e os custos para manutenção aumentam em caso de painéis móveis. Na maior parte das vezes são

posicionados ao norte, como sendo considerada a posição de maior incidência solar ao longo do ano. A inclinação de um módulo em ângulo igual à latitude local e orientado ao norte possibilita maior aproveitamento da energia solar, ocasionado pela inclinação do eixo terrestre em relação à órbita solar. No entanto, essa análise não leva em conta outros pormenores como obstruções externas, sendo um aspecto que necessita de verificação.

2.3. Desenho Urbano e Geração de Energia Solar Fotovoltaica

Diante das variadas intercorrências causadas pela falta de planejamento urbano nas grandes cidades mediante o crescimento urbano desenfreado, a atenção para a arquitetura bioclimática em conjunto com as leis urbanísticas podem ser um dos caminhos para mitigar os diversos impactos negativos dessa expansão urbana sem planejamento. A arquitetura bioclimática tem como base os dados climáticos para definição e concepção das intervenções urbanísticas e edículas, fomentando mecanismos para serem usados como garantia de um desenvolvimento sustentável e de uma melhor qualidade de vida (Pérez, 2007).

Uma das premissas seria o acesso a insolação e a iluminação natural entre as edificações e para suas fachadas, proporcionando boas condições de saúde mental e salubridade. Acerca desse processo, Assis (2000) comenta:

Os critérios de desejabilidade ou de indesejabilidade da radiação solar direta sobre as envoltórias da edificação estão diretamente ligados às condições de conforto térmico no interior dos ambientes e [...] definem períodos de obstrução e não-obstrução da trajetória local aparente do sol a partir da identificação dos períodos de desconforto térmico durante o ano” (Assis, 2000, p. 164).

O acesso ao sol, portanto, passa a ser um direito importante, de modo que o envelope solar deve ser trabalhado para não projetar sombras indesejáveis sobre os vizinhos, permitindo, assim, acesso ao sol e à iluminação natural.

Tal princípio voltado para a sustentabilidade, no entanto, é um pensamento recente, já que o conceito surgiu nos Estados Unidos como uma parte do direito de propriedade pelo *Office of Energy Efficiency and Renewable Energy* (EERE), um manual do consumidor que definia o acesso solar como a disponibilidade de (ou o acesso à) luz solar desobstruída. Logo, o acesso solar era visto como uma forma dos proprietários de terra assegurarem a integridade de suas propriedades a fim de evitar danos futuros.

Posteriormente, foi comprovado que o acesso solar seria imprescindível a toda a comunidade por conta da economia de energia e potencial bactericida. Assim, a maioria das províncias americanas desenvolveram regulamentos para o planejamento do acesso solar. A exemplo da Califórnia:

“O seu Código Civil estabelece a criação de servidões para assegurar o direito de receber a luz solar para todo sistema de energia solar, assim como a Ata de Controle Solar de Sombras fornece proteções para limitar a vegetação nas propriedades adjacentes. A cidade de San Diego fornece isenção de impostos sobre a propriedade para quem usa equipamentos de energia solar. A cidade de San Jose descreve o que constitui o acesso solar para uma unidade de moradia, e a quantidade de sombra sobre a unidade de moradia define seu nível de acesso solar e limita o sombreamento de uma estrutura ou vegetação vizinha que não deve exceder 20% das paredes viradas para o sul, ou 10% para janelas com face sul, ou então 1,86 m², tudo às 12:00 h do dia 21 de dezembro.” (Pérez, 2007, p.96)

Os envelopes solares vêm sendo adotados em várias versões por legislações urbanísticas, já que possuem, em seu cerne, a premissa de assegurar o direito de acesso ao sol em futuros parcelamentos do solo. Sempre privilegiando o bem comum da vizinhança sobre a propriedade individual (Knowles, 1981, p. 7). Evita, portanto, sombras inaceitáveis acima de um limite ao longo das divisas vizinhas da propriedade, sendo também uma forma de controlar densidades urbanas.

Os envelopes solares são calculados pela previsão de ângulos de obstrução verticais, medidos a partir de um determinado nível ou abertura, aplicados aos limites laterais, frontal, e de fundos do lote ou área, formando planos imaginários cuja interseção determina o volume do envelope solar, no qual a insolação e iluminação natural possam ser definidos e protegidos de obstruções (Pereira e Pereira, 1995).

A inserção da previsão de acesso solar para edificações dentro das normas urbanísticas aumentam a eficiência, reduzindo os custos de investimento, de equipamentos de aquecimento e refrigeração, bem como de manutenção. O acesso desobstruído ao sol é necessário para o melhor desempenho dos sistemas de energia solar ativos e passivos, e a sua proteção é claramente vantajosa para os sistemas em posições associadas: telhados, coletores solares para aquecimento de água, aquecimento de ambientes, e estruturas fotovoltaicas.

Os regulamentos de zoneamento podem criar problemas para o acesso solar, com questões de altura, de recuos, restrições externas ao projeto, exigências para ocupação do lote e projeção das áreas não ocupadas, orientação do lote, etc. A predominância da orientação da rua no sentido leste-oeste deve ser primordial para o desenvolvimento do parcelamento, pois promove uma ótima orientação do edifício para o acesso solar (Pérez, 2007).

Na Austrália, políticas com esse intuito foram implementadas pelo governo de *New South Wales*, pelo *Department of Energy, Utilities and Sustainability*, em 1998 com o *Solar Access for Lots – Guidelines for Residential Subdivision in NSW* (1998). Tal manual orienta como devem ser detalhadas, em planta, as zonas de acesso solar nos projetos de parcelamento do solo. Tal estratégia garante o acesso solar desde o projeto, ao limitar a implantação da edificação a uma orientação favorável, além de definir áreas não edificadas influenciadas pela orientação e pela altura da edificação vizinha (Pérez, 2007).

Um dos principais condicionantes para a definição da forma urbana de modo a proporcionar acesso satisfatório à radiação solar se trata da densidade urbana (Scalco; Pereira; Rigatti, 2010). Esta estabelece uma relação entre o número de pessoas por superfície ocupada e detém relação com a densidade construída, que se refere à área total construída pela área de solo considerada (Hargreaves *et al.*, 2017; Hui, 2001).

A densidade construída pode ser avaliada com base em parâmetros urbanísticos, como o coeficiente de aproveitamento (CA) e pela taxa de ocupação do solo (TO), bem como pelo gabarito de altura e pelos recuos para distribuição das edificações. Ao manter a área construída constante, a variação na taxa de ocupação influencia na variação dos afastamentos entre edificações e a altura dela (Di Vincenzo, Kesten e Infield, 2010).

O CA define a área construída total, pois é um multiplicador que, quando aplicado à área do lote e dividido pela área do pavimento-tipo (área computável), resulta na quantidade de pavimentos que terá o empreendimento (Girotti, 2019). A TO consiste na razão entre a área de projeção da edificação e a área do lote (Muniz-gäal *et al.*, 2018). O gabarito de altura se refere a altura máxima de uma edificação a ser definida pelo código de obras, já os recuos são os afastamentos obrigatórios sem cobertura entre a edificação e seus limites. Suas variações impactam os aspectos morfológicos urbanos que também influenciam a disponibilidade de radiação solar em coberturas e fachadas (Montalvon, 2010; Kanters *et al.*, 2012) (Figura 7).

Figura 7 - Parâmetros Urbanísticos com potencial de interferência no acesso solar; Descrição dos parâmetros urbanísticos (à esquerda) e Aplicação dos parâmetros urbanísticos (à direita).



Fonte: Gerada por (IA) - NotebookLM a partir do prompt "parâmetros urbanísticos e energia solar".

Dentre os estudos anteriores realizados sobre a forma urbana e o acesso solar, Galvira *et al.* (2013) destaca-se ao avaliar o potencial de geração de energia por meio de painéis solares em fachadas de diferentes conformações urbanas. Pelas suas conclusões, percebe-se que a diferença de altura das edificações vem a ser parâmetro fundamental para o acesso solar ao analisar o edifício isoladamente, mas no conjunto dentro da malha urbana esse parâmetro se torna menos influente. A taxa de ocupação (TO) foi tida como um dos parâmetros que mais influenciaram os resultados.

Quando os painéis solares são implantados em toda a envoltória do edifício, em fachadas e coberturas, quanto maior a ocupação do terreno, maior seria a captação de radiação solar. No entanto, quando se leva em conta a aplicação de painéis solares somente nas fachadas, o aumento da TO leva a obstrução de parte dessa região pelas edificações vizinhas, necessitando de recuos maiores. A orientação dos painéis também se destacou como outro parâmetro bastante influente para o cálculo da relação entre geração e consumo.

Sanaieian (2014), além de identificar a densidade urbana, a orientação da fachada, a forma dos edifícios e a relação entre a altura das edificações e a largura das ruas como principais fatores que afetam o potencial solar no contexto urbano, também mostrou que a aleatoriedade da forma urbana impacta diretamente na irradiação incidente no solo e nas fachadas. Por fim, sugere uma combinação otimizada de parâmetros para aumentar a irradiação solar em fachadas e coberturas em 9% e 45%, respectivamente.

No caso brasileiro, Martins *et al.* (2014) trazem um estudo na cidade de Maceió e chegam a conclusões interessantes sobre a proporcionalidade entre a área formada entre o gabarito de altura da edificação e o limite do lote, devendo se ater a perda de área de fachada para a aplicação dos painéis.

Os autores destacam que quanto maior o gabarito de altura da edificação maior a geração fotovoltaica, já que haveria uma área maior exposta a radiação direta. Concluem que a distância entre as edificações é o parâmetro morfológico urbano que melhor condiciona o acesso da radiação solar.

Em uma análise voltada para a escala de vizinhança, Girotti (2019) analisa os arranjos da forma urbana que condicionam a capacidade de geração de energia fotovoltaica na cobertura das edificações com enfoque no bairro Belenzinho, em São Paulo. Conclui que quanto maior o número de pavimentos da edificação, maior será a radiação solar recebida pela edificação isoladamente, mas em uma malha, as sombras geradas podem interferir no potencial do grupo. Além disso, revelam que o ideal seria reduzir a taxa de ocupação e aumentar os recuos para afastar as edificações no tecido urbano. O espaço vazio entre as edificações seria benéfico à maximização dos níveis de radiação solar incidente na cobertura, por meio da adequação da taxa de ocupação.

Bastian (2024) retoma a análise macro se voltando para outra instrumentação sobre a influência dos parâmetros urbanísticos da cidade de Salvador acerca da geração de energia fotovoltaica, concluindo que com o aumento do coeficiente de aproveitamento, logo, também do gabarito de altura da edificação, esta passa a captar mais energia solar por painéis localizados na cobertura. Porém, tende a obstruir o acesso solar de edificações vizinhas, pela incidência de sombras. O autora aponta sobre a necessidade de aleatoriedade da forma urbana, sendo os modelos com gabaritos diferentes que obtiveram melhores desempenhos. As principais contribuições dos autores citados podem ser visualizadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Principais contribuições dos autores analisados

AUTOR / ANO	ESCALA	PARÂMETROS PRINCIPAIS	PRINCIPAIS CONCLUSÕES	ÊNFASE
 Galvira et al. (2013)	Edifício e malha urbana	- Altura das edificações - Taxa de ocupação (TO) - Orientação dos painéis	- Altura é relevante isoladamente, mas menos na malha urbana. - Maior TO favorece coberturas; nas fachadas pode haver obstrução. - Orientação influencia geração/consumo.	 TO e orientação são determinantes para o desempenho solar.
 Sanaieian (2014)	Contexto urbano	- Densidade urbana - Orientação da fachada - Forma dos edifícios - Altura/largura das ruas - Aleatoriedade da forma	- Forma urbana impacta a irradiação. - Aleatoriedade melhora a incidência solar em fachadas e coberturas. - Combinação otimizada aumenta a irradiação: +9% (fachadas) e +45% (coberturas).	 Forma urbana e aleatoriedade elevam o potencial solar.
 Martins et al. (2014)	Contexto urbano em Maceió	- Gabarito de altura - Distância entre edificações - Área de fachada	- Maior gabarito = maior geração (mais área exposta). - Considerar perda de área de fachada. - Distância entre edificações é o parâmetro mais determinante.	 Distância entre edificações é fundamental.
 Girrotti (2019)	Escala de vizinhança	- Nº de pavimentos - Taxa de ocupação (TO) - Recuos - Vazios urbanos	- Mais pavimentos = mais radiação isoladamente. - Sombras reduzem desempenho no conjunto. - Reduzir TO e aumentar recuos/ vazios maximiza radiação nas coberturas.	 Vazios urbanos são benéficos para a radiação solar.
 Bastian (2024)	Escala macro urbana (Salvador)	- Coefficiente de aproveitamento - Gabarito de altura - Diversidade volumétrica	- Maior aproveitamento e gabarito aumentam geração na cobertura. - Tendem a sombrear vizinhos. - Modelos com alturas variadas têm melhor desempenho.	 Diversidade de alturas melhora o desempenho solar.

Fonte: Elaborado pela autora com auxílio da Inteligência Artificial (IA) - NotebookLM.

Considerar os parâmetros urbanísticos como condicionantes fundamentais para proporcionar o acesso solar no meio urbano, apesar de ser um pensamento fundamental, é algo recente, sendo aplicado em poucos locais, geralmente conduzidos por políticas municipais. No entanto, há predominância de políticas de incentivo, permitindo a disseminação dessa tecnologia e a diminuição do custo.

2.4. Programas de Incentivo a Geração de Energia Fotovoltaica

Diante da necessidade mundial de geração de energia e principalmente de fontes renováveis, a tendência após o Protocolo de Kyoto, em 1997, foi o surgimento de diversos programas nacionais de desenvolvimento da energia solar fotovoltaica.

Mesmo antes do tratado, já existiam programas governamentais no Japão voltados ao estímulo à energia solar. Em 1974, foi criado pelo governo japonês o *Sunshine Project*, de modo a combater as diversas quedas de energia, já que a produção se daria em cada unidade consumidora. A falta de outras possibilidades devido a característica específica do território japonês de escassez de recursos naturais,

áreas livres e com concentração populacional em regiões reduzidas fez da energia solar uma solução inteligente. Assim, foi disponibilizado um subsídio de 60% do valor por sistema. O projeto que se iniciou com uma escala pequena foi de grande aderência da população, tanto que em 2010 a energia fotovoltaica chegou a representar 5% do total, não sendo mais necessário o auxílio governamental para sua difusão (Parker, 2008).

Na Austrália, foi criado em 2000 o Programa Australiano de Incentivo Fotovoltaico (*Australian Photovoltaic Rebate Programme*), disponibilizando de um fundo para a instalação de 1000 sistemas fotovoltaicos isolados. Em 2005, com o *Solar Cities*, o governo australiano disponibilizou mais de 75 milhões de dólares para o incentivo ao sistema fotovoltaico conectado à rede (IEA, 2006). Em 2006, as instalações de sistemas conectados à rede cresceram 31%, representando agora 13% do total de sistemas fotovoltaicos (IEA, 2007).

A Alemanha se destaca atualmente como um dos países com maior desenvolvimento do mercado para instalação de painéis fotovoltaicos interligados à rede elétrica. Isso se deve tanto pela junção da oferta de silício no território alemão quanto pelo sucesso do programa alemão de *feedin-tarif*. Esse programa fazia com que toda a energia captada por painéis solares em propriedades privadas fosse vendida às concessionárias usuais, como uma tarifa prêmio. Em troca, o consumidor continuaria tendo o seu consumo suprido pela rede, mas com descontos ou gratuidade do serviço (Wenzel, 2007). O *net meeting* brasileiro foi criado como uma adequação dessa política.

No Brasil, apesar de não haver legislações específicas para a morfologia urbana, alguns municípios possuem regras dentro de seus códigos de obras com intenção sanitária, como em Porto Alegre e em algumas outras cidades do Rio Grande do Sul, além de Belo Horizonte/MG.

Outras cidades adotam complementarmente normas locais para legislar sobre o assunto, a exemplo de São Paulo e Campinas, que pelo código de obras classificam os compartimentos em “grupos”, determinando seu dimensionamento, aeração e insolação por meio de quadros nos quais constam proporções das aberturas. As leis de parcelamento do solo, federal e municipal, no entanto, dificilmente contemplam todos os pormenores relativos ao acesso solar.

Dentro do panorama de incentivo a fontes renováveis de energia, em especial a energia solar, muitos municípios apresentaram leis de fomento, como o caso de Porto Alegre. Por meio da Lei Complementar nº 730, de 2014, o município passou a incentivar o uso e desenvolvimento tecnológico de sistemas de aproveitamento de energia solar, para o aquecimento de água em imóveis, bem como

conscientizar a população sobre os benefícios da energia solar, além de outras providências (Pérez, 2007; Porto Alegre, 2014).

Outro exemplo se trata do projeto de lei nº 518/2005 aprovado pela Câmara Municipal de Belo Horizonte, referente a Política Municipal de incentivo a Energias alternativas. Para tanto, houve campanhas de educação e divulgação da energia solar e modificação no modo de cobrança do IPTU (Imposto Predial e Territorial Urbano) (Belo Horizonte, 2005).

2.5. Energia Solar Fotovoltaica em Sergipe

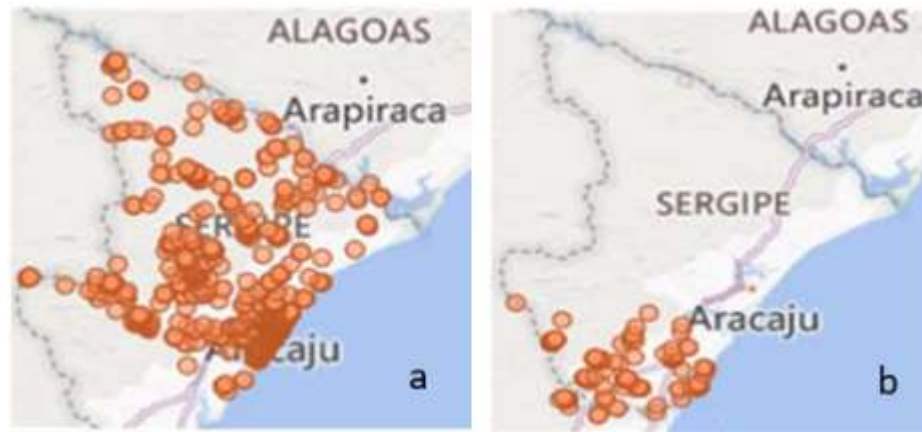
Em Sergipe, a energia solar tem um grande potencial de crescimento, impulsionada pela alta irradiação solar e políticas estaduais de incentivo. O estado já conta com o projeto de uma usina solar pioneira no Sergipe Parque Tecnológico (SergipeTec), que inaugurou em 2024 a primeira etapa de uma usina solar fotovoltaica, com capacidade para gerar 15.000 kWh/mês de energia limpa. Consiste de uma iniciativa da Energias do São Francisco (ENESF), consórcio formado por empresas e investidores que acreditam no potencial energético do estado, sendo o maior projeto de energia solar do país, apresentando um investimento estimado em torno de R\$5 bilhões para todos os 1.200 MW, onde será realizado por fases (GOV SE, 2024).

Além disso, foi aprovada em 2018 a lei estadual nº 8.467/2018, que incentiva a geração de energia solar em Sergipe, visando a racionalização do consumo de energia elétrica. Em 2021, o estado já apresentava 8 projetos de energia solar fotovoltaica cadastrados nos leilões de Energia Nova realizados pela ANEEL. Logo, o estado de Sergipe está buscando a ampliação desse campo.

Atualmente, existem duas empresas com concessão do fornecimento de energia elétrica em Sergipe, a Energisa Sergipe e a Companhia Sul Sergipana de Eletricidade (Sulgipec). A Energisa Sergipe, é a concessionária que tem a maior área de concessão do estado com 17.415 km² e, com isso, abrange 63 municípios, atendendo, aproximadamente, 708.000 consumidores cativos, totalizando 1.930.000 pessoas (Figura 8 a) (Sergipetec, 2021).

A Sulgipec, da família Prado Leite de Estância, é sediada na cidade de Estância (SE), atendendo a 156 mil unidades consumidoras, localizadas em 14 municípios, 12 na região Sul do estado de Sergipe (Figura 8 b) e 2 na região Nordeste do estado da Bahia (Sergipetec, 2021).

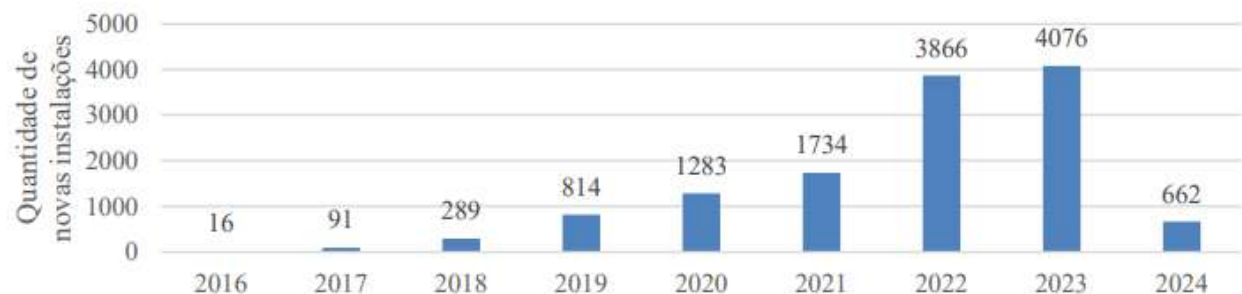
Figura 8 - Quantidade de unidades consumidoras; A(pela Energisa em Sergipe), B (pela Sulgipe em Sergipe)



Fonte: ANEEL (2024).

Ao observar o quadro de novas instalações no estado de Sergipe (Gráfico 1), percebe-se que desde 2019 a quantidade de novas unidades geradoras e consumidoras cresceu rapidamente, duplicando de 2019 para 2021. Esse fato pode ser explicado pelo contexto da pandemia, quando o uso de energia elétrica residencial veio a aumentar devido a quarentena. Além disso, em 2018 foi aprovada a lei estadual de incentivo a tal fonte de energia, sendo condizente com o aumento da busca por redução de gastos a longo prazo ao empregar painéis solares.

Gráfico 1 - Quantidade de novas instalações solares em Sergipe até 2024



Fonte: ANEEL (2024).

Esse cenário se manteve ascendente até 2024, quando a quantidade de novas instalações decaiu absurdamente. Isso se deve a aprovação da Lei 14.300 em 2022, que levou a uma transição gradual e a taxa progressiva dos créditos de energia. Em vez de abater integralmente a conta de luz, o excedente injetado na rede representaria descontos, de modo a remunerar o uso da infraestrutura de distribuição. Desse modo, para os sistemas instalados e protocolados até janeiro de 2023, seria garantida a isenção

total até o ano de 2045, já para os novos sistemas, o desconto sobre a conta de energia iniciaria baixo e aumentaria anualmente até atingir 100% em 2029. Esse processo justifica a queda na quantidade de novas instalações, observada em 2024 (Brasil, 2022).

Com relação a tipologia das instalações em Sergipe, destaca-se o uso residencial, enquanto a maior quantidade de potência instalada é direcionada para o consumo comercial. Sobre a modalidade de geração, a maior parte se concentra em geração na própria unidade consumidora, havendo ainda as modalidades de autoconsumo remoto, geração compartilhada e múltiplas unidades consumidoras (Quadro 2).

Quadro 2 - Modalidade de Geração de Energia Fotovoltaica em Sergipe

Modalidade de Geração	Quantidade de Usinas	Unidades Consumidoras que Recebem os Créditos	Potência Instalada (kW)
Geração na Própria Unidade Consumidora	2981	2981	34056,76
Autoconsumo Remoto	529	1496	8120,91
Geração Compartilhada	90	223	1250,26
Múltiplas Unidades Consumidoras	2	4	32,80

Fonte: adaptado de Sergipetec (2021).

Das dez maiores usinas de Sergipe, quatro estão localizadas em Aracaju, sendo de classe comercial e do grupo com tensão de fornecimento de 2,3 kV a 25 kV (A4) (Sergipetec, 2021). Apesar da potência instalada ser maior para o uso comercial, o uso industrial se equipara pelo número de usinas destinadas, geralmente localizadas nos demais municípios, mostrando que há diversidade nas destinações para a energia solar no estado de Sergipe e que tal tecnologia não está concentrada apenas na capital. Em todas as usinas, a modalidade utilizada é a de geração de energia na própria unidade consumidora (Quadro 3).

Quadro 3 - Dez maiores usinas de Sergipe

Concessionária	Município	Classe	Potência Instalada (kW)
Energisa	Nossa Senhora da Glória	Industrial	660
Energisa	Aracaju	Comercial	270
Energisa	Itaporanga D'Ajuda	Industrial	270
Energisa	Aracaju	Comercial	267
Sulgipe	Umbaúba	Comercial	243
Energisa	Salgado	Industrial	240
Energisa	Itabaiana	Industrial	180
Energisa	Aracaju	Comercial	170
Energisa	Aracaju	Comercial	156
Energisa	Itabaiana	Industrial	143

Fonte: adaptado de Sergipetec (2021).

Por fim, pode-se perceber que Sergipe tem acompanhado o cenário nacional de crescimento e investimento no mercado de energia solar. Logo, entender como os normativos urbanísticos podem auxiliar na ampliação da adesão a esta tecnologia é fundamental para a formação de um estado e de uma capital mais sustentável. Tal incumbência legislativa será abordada nos subtópicos a seguir.

2.6. Aracaju e Suas Normas Urbanísticas - Breve Histórico

As primeiras leis urbanísticas da cidade de Aracaju/SE datam da década de 1960, quando foi promulgada a Lei nº 13, o Código de Obras do Município de Aracaju, e a Lei nº 19, o Código de Urbanismo do Município de Aracaju, ambas seguindo o ideal higienista e sanitarista, com traços funcionalistas e ideias de embelezamento urbano, característicos do movimento modernista latente na época (França, 2022). O entendimento desse processo é fundamental para compreender a formação do município e a forma como os parâmetros urbanísticos influenciaram a morfologia urbana atual.

Apenas em 1990 foi promulgada a Lei Orgânica do Município de Aracaju³ (Aracaju, 1990),

³ Define o cumprimento da função social da cidade (artigos 177 a 179), a necessidade de elaboração do Plano Diretor Municipal (artigos 206 e 207), a previsão da gestão democrática (inciso I do artigo 180) e trata dos instrumentos urbanísticos, que mais tarde seriam previstos pelo Estatuto da Cidade, dentre eles, a Outorga Onerosa do Direito de

relacionada a Política de Desenvolvimento Urbano, apontando a necessidade da elaboração de um Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (França, 2019). Portanto, em 1995 iniciou-se a mobilização da equipe técnica da Prefeitura Municipal com apoio de uma consultoria especializada para a elaboração do Plano Diretor de Aracaju.

Sobre esse processo, França (2022) tece comentários que demonstram a problemática da legislação urbanística de Aracaju:

Aprovada somente no final de 2000, a lei sofreu inúmeras alterações na Câmara dos Vereadores, tornando-a semelhante a uma “colcha de retalhos”, conforme denomina Diniz (2005), em face dos conflitos e dualidades de interpretações, especialmente no licenciamento de projetos arquitetônicos e urbanísticos. (França, 2022, p. 143)

A adequação e revisão do plano diretor, conforme o Estatuto da Cidade, foi realizada em 2005, por meio de um convênio de cooperação técnica com a Fundação de Apoio à Pesquisa e Extensão (FAPESE/UFS). Nesse momento, houve ainda a participação de várias entidades da sociedade civil e da comunidade (França 2018; 2019):

O processo de revisão do Plano Diretor do Desenvolvimento Urbano Sustentável (PDDUS) se deu de forma coletiva e participativa, com a construção de propostas e ampla troca de conhecimentos entre todos os participantes, atendendo aos princípios do envolvimento da população nas discussões sobre a cidade, trazendo contribuições para solução dos entraves no âmbito do planejamento, de forma a retratar os anseios e interesses de todos. (França, 2022, p. 145).

O processo de revisão e atualização do plano, no entanto, segue em desenvolvimento desde 2000, passando por uma série de trâmites e deliberações, mas sem nenhuma aprovação efetiva.

Em 2008, o Projeto de Lei revisado foi encaminhado para o Conselho Municipal de Desenvolvimento Urbano e Ambiental (CONDURB) para discussões que se estenderam nos dois anos seguintes, com a participação de sete órgãos municipais e representantes de entidades da sociedade civil. Ao mesmo tempo, a Secretaria Municipal de Planejamento (SEPLAN) fez pequenos ajustes e compatibilizações na lei e seus referidos anexos. A Associação de Dirigentes de Empresas do Mercado Imobiliário de Sergipe (ADEMI/SE), por sua vez, também se organizou e desenvolveu outra proposta que foi entregue à prefeitura em julho de 2010.

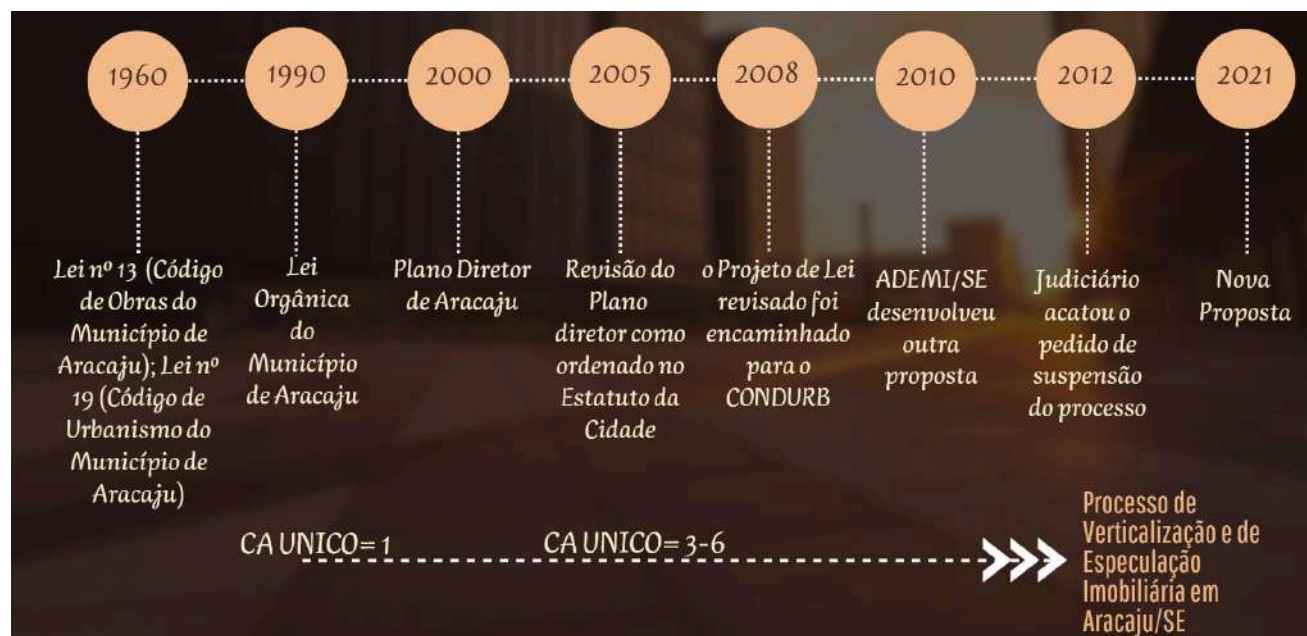
Em 2010, após deliberações e aprovações do anteprojeto no CONDURB, o Projeto de Lei Complementar nº 06/2010 (Aracaju, 2010), referente ao Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Sustentável, foi novamente encaminhado à Câmara Municipal. No entanto, as propostas desenvolvidas

pela sociedade civil foram desconsideradas, valendo o documento elaborado pela ADEMI/SE.

Nesse cenário, um grupo de vereadores realizou o pedido de suspensão do processo, alegando que essa seria uma ação que iria contra os interesses coletivos defendidos no projeto original, pactuado entre representantes da sociedade durante todo o processo em plenárias e audiências públicas com a comunidade. O pedido foi acatado pelo Judiciário através de um mandado de segurança expedido em dezembro de 2012, suspendendo totalmente as discussões e decisões.

Somente em 2021, a Prefeitura Municipal, através da Secretaria de Infraestrutura, anunciou a abertura do processo de revisão do Plano Diretor com uma consulta pública para a população⁴. No formulário *online* constavam a proposta do anteprojeto de lei completo com anexos (tabelas com índices, mapas de zoneamento e áreas especiais, etc.) e um campo aberto a sugestões para que a população pudesse contribuir. Essas informações levaram à construção dos anexos referentes aos critérios de ocupação do solo mais recentes, datados de 2021. Esse processo de revisão do Plano Diretor pode ser verificado de forma sintetizada na Figura 8, que apresenta uma cronologia dos principais fatos relacionados com a legislação urbanística de Aracaju/SE.

Figura 8 - Mudanças da legislação urbanística de Aracaju/SE



Fonte: Elaborado pela autora.

⁴ Consulta realizada através do site www.aracaju.se.gov.br/pddu/.

Em resumo, a experiência de Aracaju com o instrumento da Outorga Onerosa teve início antes da aprovação do Estatuto da Cidade, em 1990, através da Lei Orgânica, instituindo o solo criado e o coeficiente de aproveitamento (CA) único igual a 1,0 (um) e máximo de 6,0 (seis). Porém, a Emenda à Lei Orgânica nº 36/2000, em conformidade com o que, cerca de um mês após, seria estabelecido no Plano Diretor (Lei nº 42/2000), alterou o CA único para 3,0 (três), mantendo o máximo 6,0 (seis) (Tabela 1).

Tabela 1 - Coeficientes de Aproveitamento do PPDU e os Propostos pelas suas revisões

CA	BÁSICO				MÁXIMO			
Ano	2000	2005	2015	2021	2000	2005	2025	2021
ZAR	3	2	0,4	0,6-0,8	3-3,5	0,4	0,6	0,6-0,8
ZAC	-	-	-	2	-	-	-	2-2,5
ZAB	3	2	1	2	3-4	3	-	1,5-3
ZAP ⁵	3	2	1	2	4-6	6	-	3-3,5

Fonte: adaptado de França (2022).

A crítica a ser feita em relação a este processo de constantes tentativas de revisão do plano diretor de Aracaju vale-se do pensamento e interesse de que a cidade venha a ser regida por leis capitalistas:

O CA único 1 (um) geraria, na maioria dos casos, a cobrança da outorga onerosa para aqueles agentes responsáveis pela verticalização, contribuindo para a recuperação da valorização fundiária e para o financiamento urbano. Por outro lado, a adoção de CA único mais elevado, como é o caso do Plano Diretor de Aracaju vigente, que é 3,0 (três), com isenção de pagamento de solo criado até 4,0 (quatro), não permite essa cobrança, privilegiando os interesses capitalistas e possibilitando a ampliação da reprodução do solo de forma “gratuita”, acarretando a injeção de recursos para melhoria e adequação da estrutura urbana, em especial, sistema viário e esgotamento sanitário (França, 2022, p.154).

Portanto, se faz urgente a elaboração de uma revisão do plano diretor de carácter democrático para que Aracaju possa se desenvolver como uma cidade sustentável e igualitária para todos.

⁵ Referente ao zoneamento de Aracaju definido pelo plano diretor ZAR (Zona de Adensamento Restrito); ZAC (Zona de Adensamento Controlado); ZAB (Zona de Adensamento Básico); ZAP (Zona de Adensamento Preferencial)

2.7. Processo de Verticalização e de Especulação Imobiliária em Aracaju/SE

Ao analisar o impacto dos índices urbanísticos sobre o processo de adensamento da cidade de Aracaju, Santos (2022) aponta a década de 1980 e o período da Lei Complementar de 2008 como os períodos com o surgimento do maior número de empreendimentos verticais em Aracaju. A autora descreve ainda a existência de 10 marcos temporais significativos, que levaram à formação atual da cidade de Aracaju com um total de 637 empreendimentos verticais, sendo a maior parte de 4 a 8 pavimentos ou 13 a 15 pavimentos (Gráfico 3). Os pormenores e o impacto do processo de verticalização no mercado imobiliário podem ser verificados no Quadro 3.

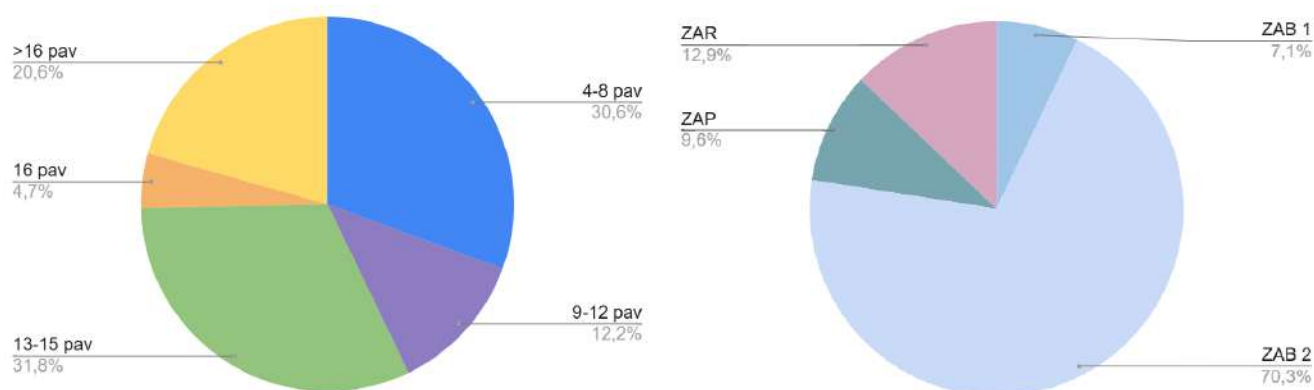
Quadro 3 - Marcos Temporais para o Crescimento de Empreendimentos Verticais em Aracaju

Período	Descrição	Quantidade de Empreendimentos Construídos
1	Os primeiros prédios verticais - antes do Códigos de Obras e de Urbanismo: de 1948 a 9 de Outubro de 1966. Neste momento não haviam legislações limitantes.	4
2	O início da verticalização residencial (vigência dos Códigos de Obras e de Urbanismo), de 10 de Outubro de 1966 a 28 de junho de 1976. Definiu mudanças nos gabaritos de altura, sendo assim para a região da Orla de Atalaia (3 pavimentos ou 4 pavimentos com térreo vazado) e para as quadras seguintes, acréscimo de 2 pavimentos; Para a Zona Residencial: 7 pavimentos ou 8 pavimentos com térreo vazado; para a Zona Comercial: 2 pavimentos, excluindo sobrelojas; e para a Avenida Rio Branco: 8 pavimentos. Limitava o gabarito ao redor da Praça Fausto Cardoso e Parque Teófilo Dantas, com máximo de 38,20 m.	1
3	A Lei de Espigão: de 29 de Julho de 1976 a 30 de Novembro de 1999. Definia o gabarito máximo como 12 pavimentos e 14 em caso de playground garagem.	230
4	O acréscimo do pavimento garagem (vigência do Decreto no 154, de 01 de Dezembro de 1999 até 03 de Abril de 2001). Limite de gabarito de 15 pavimentos.	10
5	O início do PDDU (vigência do PDDU de 2000: de 04 de abril de 2001) 180 dias a partir da data de publicação até 29 de dezembro de 2002. Tratava do coeficiente de aproveitamento (3).	17
6 e 7	A breve queda do PDDU, a vigência da Lei Complementar nº 58, de 30 de Dezembro de 2002 até 21 de setembro de 2003 e a indefinição do Gabarito com a Lei Complementar nº 62: de 22 de Setembro de 2003 (a partir da data de publicação) a 13 de Janeiro de 2008.	89
8	Definição de um gabarito máximo de 16 pavimentos pela Lei Complementar nº 74 de 14 de Janeiro de 2008, de 14 de Janeiro de 2008 até 17 de julho de 2014.	182

9	Definição de gabarito para a Coroa do Meio e Atalaia pela Lei Complementar nº 132 de 18 de julho de 2014, de 18 de Julho de 2014 até 26 de Novembro de 2018; Coroa do Meio: 4 Pavimentos; Orla 8 pavimentos - Demais quadras Atalaia: 8 pavimentos; Orla 12 pavimentos; Quadra posterior à orla 16 pavimentos; Demais quadras 02 pavimentos - AEIS; Zona de expansão urbana: 02 Pavimentos; Demais bairros: 16 Pavimentos.	71
10	O retorno do PDDU - Decreto nº 5821 de 27 de Novembro de 2018, de 27 de Novembro de 2018 até os dias atuais.	33
Total		637

Fonte: Elaborado pela autora a partir de Santos (2022).

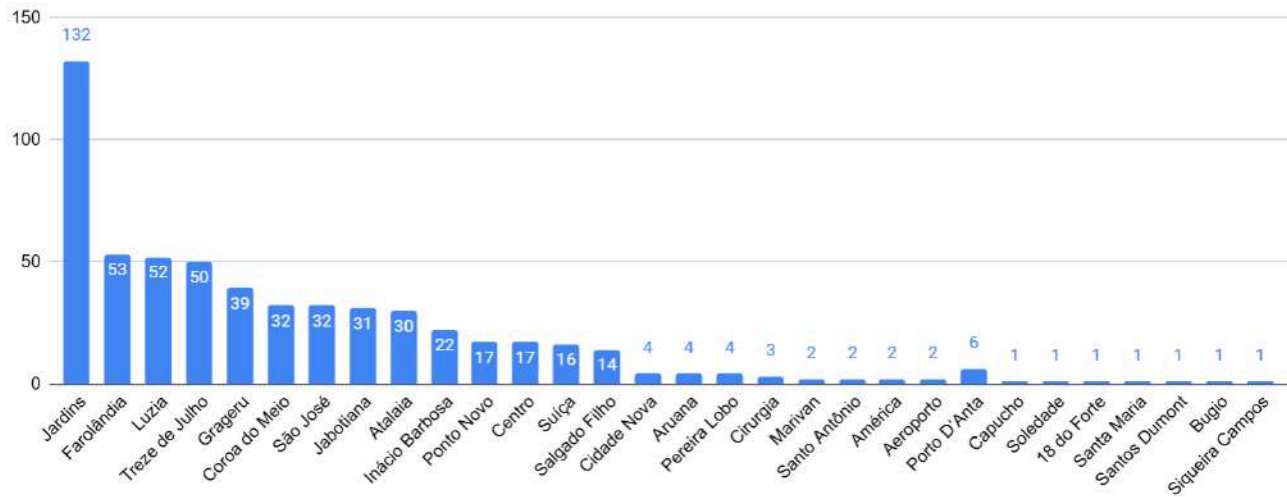
Gráfico 3 - Percentual da Quantidade de Pavimentos dos Empreendimentos Verticais em Aracaju; Percentual de Empreendimentos por zonas de adensamento em Aracaju/SE até 2014



Fonte: Elaborado pela autora, a partir de Santos (2022) e França (2019).

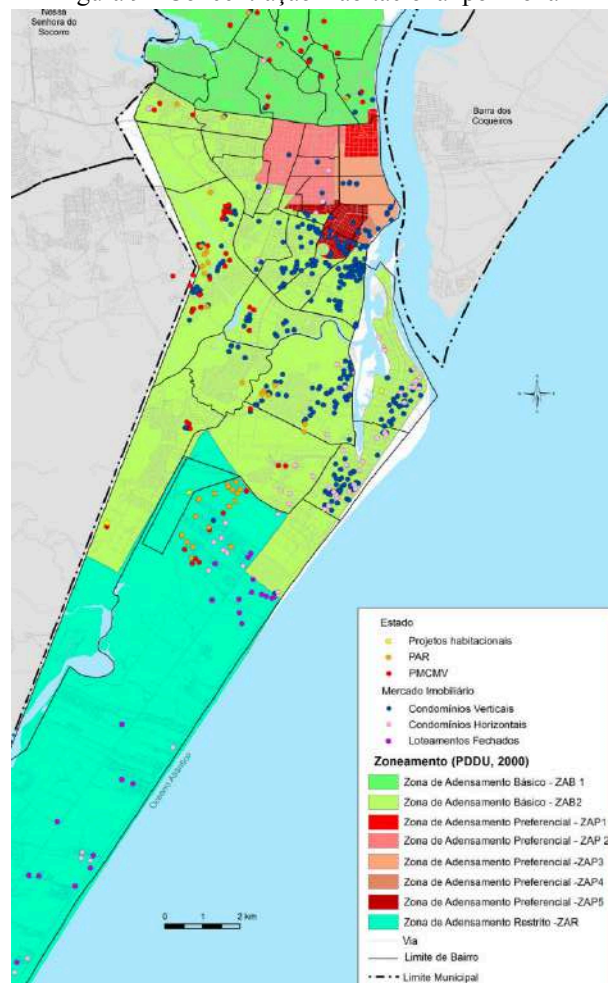
Na prática, a Zona de Adensamento Básico 2 é caracterizada pela concentração de condomínios verticais como nos bairros Jardins e Grageru, como é possível observar no Gráfico 4 (França, 2019). Além disso, o bairro Jardins se destaca com 132 dos 637 empreendimentos datados até 2019 (Gráfico 2). Tal situação pode ser observada com mais detalhes pela observação do mapa da Figura 9, onde o bairro Jardins e os demais bairros da ZAB 2 apresentam uma concentração grande de condomínios verticais em comparação a outras zonas de Aracaju.

Gráfico 4- Empreendimentos Verticais por bairro em Aracaju/SE



Fonte: Adaptado de Santos (2022).

Figura 9 - Concentração Habitacional por Zona



Fonte: Adaptado de França (2019)

A concentração desse tipo de empreendimento no bairro Jardins pode ser explicada por se tratar de um local de grande valorização e *status* conferido por contínuos movimentos de reestruturação socioespacial. Isso se deve a sua localização em proximidade aos principais equipamentos, como Shoppings e Parque da Sementeira, tendo o metro quadrado mais caro da cidade de Aracaju, logo, é o bairro mais afetado pela especulação imobiliária (França, 2022).

Ao mesmo tempo que os demais bairros da ZAB 2, como Coroa do Meio, Atalaia, Jabotiana, Capucho, José Conrado de Araújo, Novo Paraíso, América, Ponto Novo, Luzia, Inácio Barbosa, São Conrado, Farolândia, Aeroporto e parte do Santa Maria, podem ser caracterizados pela diversidade de renda da população e de tipologias habitacionais (França, 2022).

A intensificação da ocupação das ZABs (Gráfico 5), sobretudo para o uso residencial, deve-se às obras de infraestrutura, como a construção do Viaduto do DIA, a Ponte sobre o Rio Poxim, no Inácio Barbosa, o “Mergulhão” da Avenida Tancredo Neves, o Viaduto do DETRAN (todas localizadas na ZAB 2); e da construção de moradias, subsidiadas pelo PAR (Programa de Arrendamento Residencial) nos bairros Aeroporto e São Conrado. Além de projetos habitacionais na Coroa do Meio, Santa Maria (ZAR 2), Coqueiral e Lamarão (ZAB 1).

Esse processo é intensificado ainda mais pela condição das demais zonas, sendo a Zona de Adensamento Restrito (ZAR), uma região com malha dispersa e descontínua, acentuado déficit ou ausência de infraestrutura, o que corresponde à Zona de Expansão Urbana (ZEU). “Apesar de uma grande extensão, apresenta paisagem em transição rural-urbana, em função da presença de atividades agrícolas, intensa ocupação por condomínios, e da grande fragilidade ambiental pela presença de lagoas, dunas, restingas e mangues” (França, 2019).

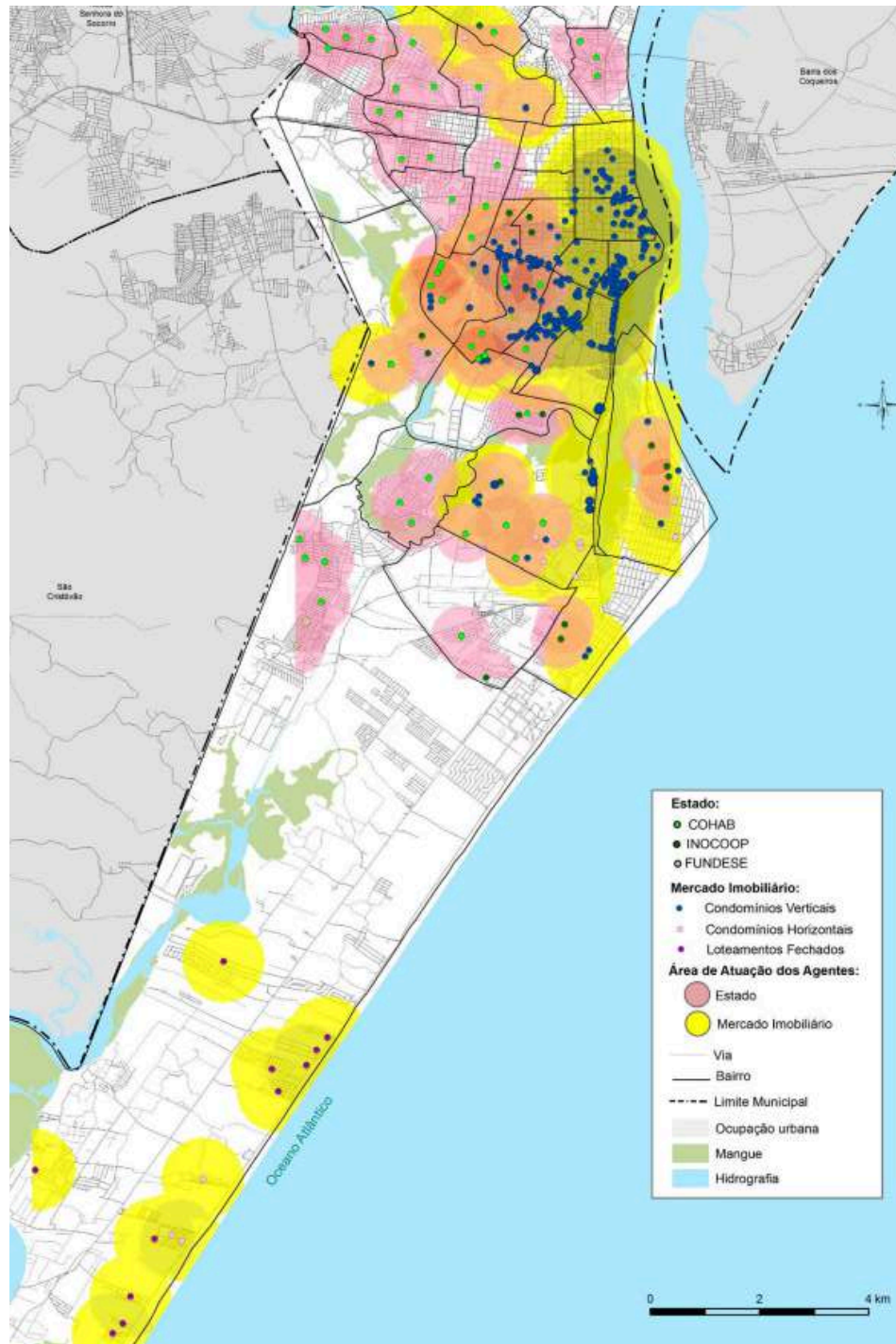
Já as Zonas de Adensamento Preferencial (ZAP1 a ZAP4), que consistem nas áreas de ocupação mais antigas e consolidadas, com disponibilidade de infraestrutura, como os bairros Centro, Cirurgia, Suíça, São José, Getúlio Vargas, Siqueira Campos, Pereira Lobo, Salgado Filho e 13 de Julho, embora adensadas, ainda há uma quantidade consistente de espaços vazios ou subutilizados (França, 2019).

Além disso, caracterizam-se como centralidades em defasagem, tidas como bairros comerciais com edificações de no máximo 4 pavimentos. Esse processo é identificado pelo direcionamento das obras de infraestrutura para outras áreas da cidade, consequência das atividades do mercado imobiliário, como pode ser visualizado na Figura 10 (França, 2019).

O bairro 13 de Julho seria uma exceção, apesar de categorizado como ZAP 4, ainda se trata de

um alvo do mercado, constituindo-se em uma área valorizada e verticalizada. Nesse caso, nessa Zona, aplicam-se índices menos restritivos (Coeficientes de Aproveitamento Máximo de 4 a 6), induzindo ao adensamento.

Figura 10 - Concentração Habitacional e Atividade do Mercado Imobiliário em Aracaju/SE



Fonte: Adaptado de França (2019).

2.8. Índices Urbanísticos e Zoneamento de Aracaju/SE

O estudo dos índices urbanísticos é importante para a compreensão da forma urbana, já que o acesso solar dentro da morfologia está intimamente conectado com a densidade urbana⁶, que por sua vez, determina a densidade construída⁷ (Scalco; Pereira; Rigatti, 2010). A análise desses fatores pode ser realizada pelo estudo do coeficiente de aproveitamento (CA) e da taxa de ocupação do solo (TO).

Além disso, para o entendimento de qual zona representaria um estudo amplo sobre a interferência dos parâmetros urbanísticos de Aracaju/SE para o acesso solar das edificações, necessita-se de uma análise dos padrões construtivos e os eixos de crescimento urbano da cidade.

O Plano Diretor, datado dos anos 2000, define o Macrozoneamento de Aracaju em 3 zonas (Quadro 4):

Quadro 4 - Zonas de Aracaju definidas pelo PPDU (2000)

ZAP	Zona de Adensamento Preferencial	porção do território da cidade com maior infraestrutura instalada e potencial de uso e ocupação
ZAB	Zona de Adensamento Básico	parcela da cidade que apresenta condições de urbanização, com necessidade mínima ou pontual de implantação de infraestrutura ou de serviços urbanos
ZAR	Zona de Adensamento Restrito	parcela da cidade com potencial de ocupação e adensamento, padrão atual de ocupação disperso e descontínuo, com elevado déficit de infraestrutura urbana e de serviços públicos, áreas com fragilidade ambiental e alta incidência de glebas e terrenos não utilizados ou subutilizados

Fonte: Adaptado Aracaju (2000).

Após a consulta pública para a revisão democrática do PPDU de Aracaju foram estabelecidos anexos as leis de uso e ocupação do solo. Foi incluída, por exemplo, uma nova zona, sendo esta a Zona de Adensamento Controlado (ZAC) (correspondente à parcela da cidade com déficit de infraestrutura urbana e de serviços públicos e cuja ocupação necessita de maiores esforços de investimentos públicos e de preservação ambiental). O zoneamento mais recente pode ser visualizado com mais detalhes na Figura 11.

⁶ número de pessoas por superfície ocupada (Hargreaves et al., 2017; NG et al., 2011; Hui, 2001).

⁷ área total construída, pela área de solo considerada (Hargreaves et al., 2017; NG et al., 2011; Hui, 2001).

Apesar dos normativos em vigor serem ainda os estabelecidos em 2000, os índices encontrados no Anteprojeto de revisão do plano diretor de desenvolvimento urbano da cidade de Aracaju (Aracaju, 2021), principalmente os Anexos II, III e IV, também serão utilizados como base para os estudos a serem elaborados neste trabalho de conclusão de curso, já que o Plano Diretor a ser revisado provavelmente partirá desses estudos mais recentes.

Tal decisão se deve ainda ao fato de que as diversas erratas da legislação urbanística de Aracaju ao longo dos últimos 25 anos tiveram impacto direto no processo de formação da cidade, como foi observado no subtópico 4.1.7 deste trabalho. Utilizar somente os parâmetros do PPDU (2000) para analisar os impactos da legislação urbana no meio urbano da cidade seria ignorar que sua conformação urbana foi moldada por esses marcos temporais.

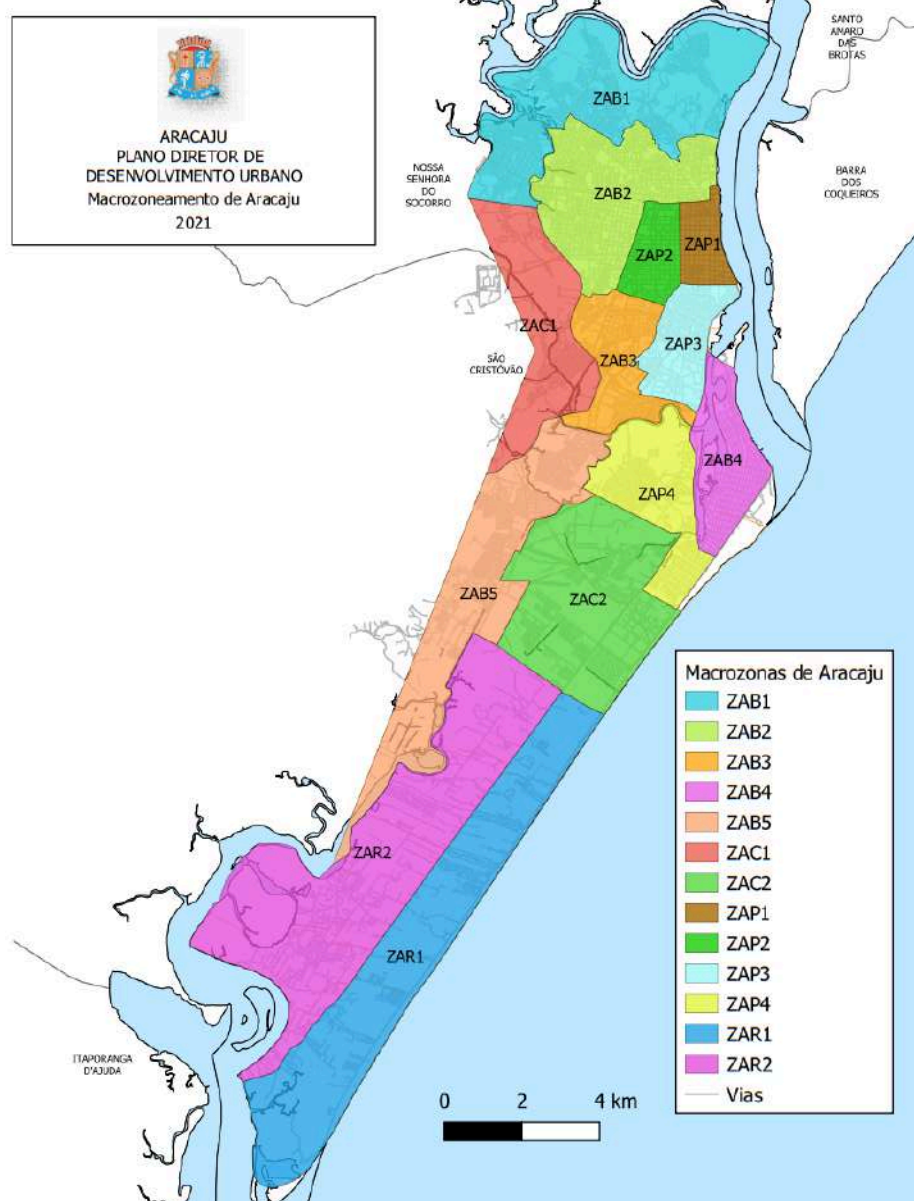
A Tabela 2 apresenta os índices urbanísticos associados às macrozonas da cidade de Aracaju e a Figura 11 mostra a espacialização do macrozoneamento mais recente da cidade.

Tabela 2 - Índices de Uso e Ocupação do Solo de Aracaju/SE

ZONAS	Taxa de Permeabilidade Mínima	Taxa de Ocupação Máxima	Coefficiente de Aproveitamento Máxima
ZAR - 1	25%	70%	0,8
ZAR - 2	25%	60%	0,6
ZAC - 1	25%	70%	2
ZAC - 2	20%	75%	2,5
ZAB - 1	20%	70%	1,5
ZAB - 2	20%	75%	2
ZAB - 3	20%	75%	3
ZAB - 4	20%	75%	2,5
ZAB - 5	20%	65%	2
ZAP - 1	5%	90%	3,5
ZAP - 2	5%	90%	3
ZAP - 3	15%	80%	3,5
ZAP - 4	15%	80%	3,5

Fonte: Adaptado de Aracaju (2021).

Figura 11 - Macrozonas de Aracaju/SE definidas no Anteprojeto de Revisão do PPDU (2000)



Fonte: adaptado de Aracaju (2021).

A partir de tais informações, pode-se considerar que a contextualização necessária para o entendimento da realidade urbanística de Aracaju foi contemplada, logo, parte-se para a etapa de escolha do objeto de estudo, sendo este um recorte dentro da cidade de Aracaju.

3. METODOLOGIA

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho, foi abordada inicialmente uma revisão de literatura sobre a energia solar no Brasil e no mundo, desde sua logística a programas de incentivo governamentais dentro do campo de energia solar. Além disso, as temáticas de desenho urbano e arquitetura solar, bem como a influência de parâmetros urbanísticos no acesso ao sol também foram contemplados nessa etapa como subtópicos. Essa etapa foi auxiliada por ferramentas de inteligência artificial, especificamente o *NotebookLM*, para a construção de imagens explicativas.

Ainda dentro da etapa de revisão de literatura, o contexto de Aracaju frente à energia solar e os desdobramentos ocorridos no âmbito da legislação urbanística, desde a elaboração do plano diretor da cidade de Aracaju (Aracaju, 2000) até os dias atuais, também foram temas discutidos. Essa análise permite entender como a legislação urbanística do município e suas diversas atualizações impactaram a forma urbana e a ocupação dos bairros.

Para elencar um objeto de estudo específico, foi realizada uma análise das zonas e bairros de Aracaju, conforme critérios de escolha utilizados por trabalhos correlatos como Girotti (2019), Walton (2000) e Bastian (2024). O objeto de estudo foi escolhido como sendo as zonas prioritárias para adensamento, e dentre estas, as que estão sendo mais afetadas no momento atual pelo mercado imobiliário, cujo sombreamento de áreas adjacentes realizado por edifícios altos fosse presente e com tendência de piora.

Nesse caso, a análise dos parâmetros urbanísticos para essas zonas foi realizada na escala de quarteirão. Esse recorte, por sua vez, refere-se a um agrupamento de lotes com tamanhos de acordo com a tipologia comum dessas zonas e que pudessem ser esquemáticos para o todo. O tamanho total do quarteirão modelo adotado foi de 50 x 150 m.

O procedimento seguinte foi a análise dos parâmetros urbanísticos de aproveitamento de uso do solo, em relação a essa escala de quarteirão, com maior influência na disponibilidade de irradiação solar das edificações, sendo estes a Taxa de Ocupação (TO), Coeficiente de Aproveitamento (CA), recuos e gabarito das edificações, definidos pelo Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (Aracaju, 2000) de Aracaju/SE e pela sua errata de 2021.

Para tal análise, além dos dados obtidos pelo PPDU (Aracaju, 2000), foi necessário o estudo do parcelamento do solo padrão dos bairros dentro das zonas para a elaboração de quadras tipológicas, realizado pelo Google Earth®. Em seguida, um conjunto de cenários foi utilizado para representar a aplicação prática dos parâmetros urbanísticos, cujas variações compõem os modelos de análise.

A sua modelagem no *software* Rhinoceros® com associação ao plugin Grasshopper® e Ladybug® permitiu observar o comportamento solar em imagens, enquanto os valores de radiação solar incidente foram gerados no Tropix®.

3.1. Escolha do Objeto de Estudo Específico

Com base em referenciais como Girotti (2019), que realizou um estudo dos parâmetros urbanísticos em escala de vizinhança para o bairro de Belenzinho em São Paulo, e em estudos internacionais como Walton (2007), que analisou modelos estatísticos na escala de vizinhança para explorar as relações entre a forma urbana e o potencial de geração de energia fotovoltaica em centros urbanos, precisamente na área metropolitana de Londres, há o entendimento de que a zona a ser estudada deveria obrigatoriamente se dar em um local pensado para adensamento construtivo e populacional.

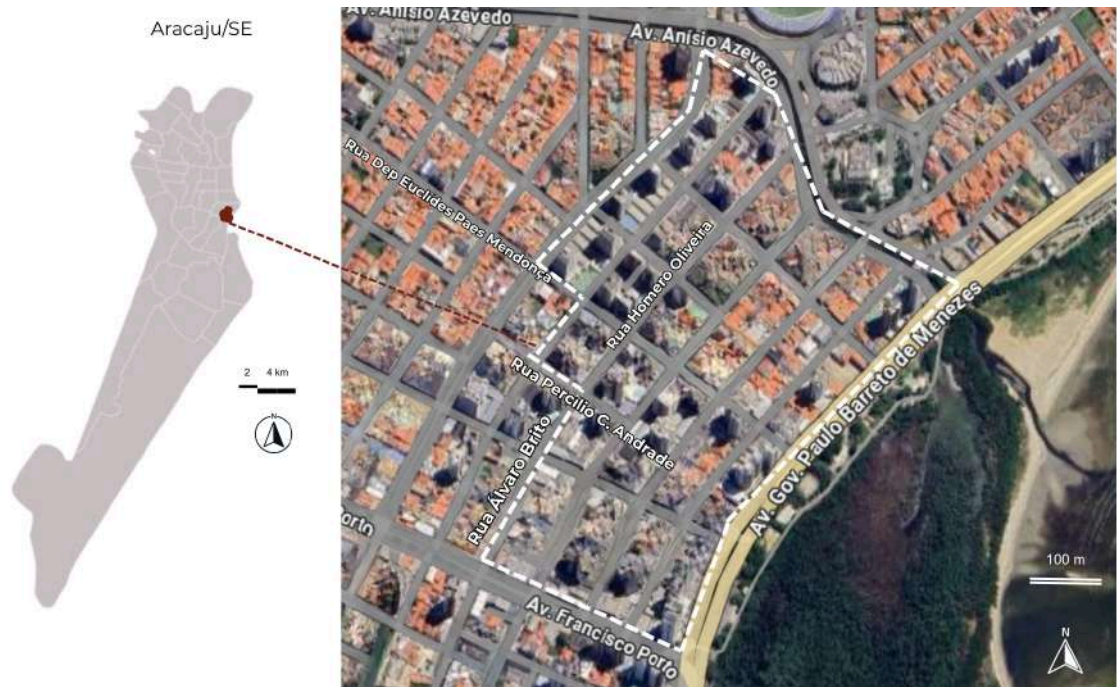
Por tal princípio, os bairros localizados nas zonas de adensamento restrito e na zona de adensamento controlado não atenderiam aos critérios necessários para tal estudo. Entre a Zona de Adensamento Básico e a Zona de Adensamento Preferencial, embora os dados demonstrem uma maior concentração de novos empreendimentos na ZAB 2, a Zona de Adensamento Preferencial representa a que detém índices pensados para estimular a ocupação, sendo ideal para o estudo.

A ZAP 4, em especial, consiste em uma zona em crescimento, principalmente em comparação às demais ZAPs, tidas com centralidades em defasagem. Logo, partindo do princípio de que a análise em questão almeja melhorias para o Plano Diretor a ser efetivado, a ZAP 4 se mostra como um recorte valioso, pois ainda há espaço para crescimento e intervenções de modo a potencializar o acesso solar.

3.2. Análise dos Padrões Construtivos da ZAP 4

A delimitação da Zona de Adensamento Preferencial 4 pode ser visualizada na Figura 12, bem como seus parâmetros urbanísticos do PPDU (2000) e da errata de 2021 constam no Quadro 5.

Figura 12 - Delimitação da ZAP 4 em relação a Aracaju



Fonte: da autora (2026)

Quadro 5 - Parâmetros Urbanísticos para a ZAP 4

Parâmetro Urbanístico/ Ano	2000	2021
Taxa de Ocupação (TO) Máxima	70%	90% (até o terceiro piso), 70% (a partir do terceiro piso)
Coefficiente de Aproveitamento (CA) Básico	3,00	3,00
Coefficiente de Aproveitamento (CA) Máxima	4,00-6,00	3,50
Recuos Mínimos Frontal; Lateral; Fundo (em metro)	-	3/5; 1,5; 1,5;0

Fonte: Elaborado pela autora, a partir do PPDU (Aracaju, 2000) e Errata (Aracaju, 2021).

Bastian (2024) fez uma análise dos parâmetros urbanísticos para a geração de energia solar para a cidade de Salvador, propondo um contexto urbano genérico com uma área de 100 x 100 m, representando os quarteirões da cidade, com dez lotes de 20 x 40 m cada, e vias locais de mão dupla, com estacionamento paralelo à calçada. Nesse caso, a autora utilizou de um ambiente de modelagem

para reproduzir exatamente o indicado na legislação. Essa abordagem foi considerada como a mais interessante para avaliar o acesso solar.

Isso se deve ao foco da investigação se tratar dos efeitos que os parâmetros urbanísticos têm em relação à verticalização futura dessa região. Seguindo essa lógica, a unidade a ser trabalhada foi composta por um contexto urbano genérico, em escala de quarteirão de acordo com os parâmetros analisados em cada caso.

Em um estudo realizado por meio da vista aérea de Aracaju/SE, foi possível notar a repetição de lotes na ZAP 4, em maioria com 15 x 25 m para habitações unifamiliares e de 30 x 50 m para multifamiliares. Os quarteirões mais vistos possuem as seguintes conformações de visadas: 50 x 150m; 50 x 100 m; 80 x 60 m. Com relação a concentração de condomínios verticais, 78% dos lotes de 60 x 80 m apresentaram condomínios verticais, enquanto 75% dos lotes de 50 x 150 m também apresentaram pelo menos um conjunto residencial multifamiliar de múltiplos pavimentos (Figura 13).

Os terrenos de 50 x 100 m, apresentaram somente 25%, representando uma região ainda a ser atingida pela verticalização. Em comparação, a configuração predominante em quantidade foi a de 50 x 150 m, a qual mesmo tendo uma porcentagem de lotes com condomínios verticais maior, possui uma área mais abrangente, ainda a ser atingida pela verticalização, sendo escolhida como a tipologia de quarteirão para o objeto de estudo (Figura 13).

Além disso, os padrões construtivos da paisagem urbana consolidada na região foram observados de modo a estipular gabaritos de altura mais comumente vistos e propor variações de coeficientes de aproveitamento mais próximos do que poderia ser aplicado na prática. Na Figura 14, tendo a ZAP4 destacada em vermelho, é possível notar a existência de diversos condomínios verticais com a predominância de edifícios com 12 a 16 pavimentos.

Figura 13 - Configuração Urbana da ZAP 4



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 14 - Vista por drone da região analisada



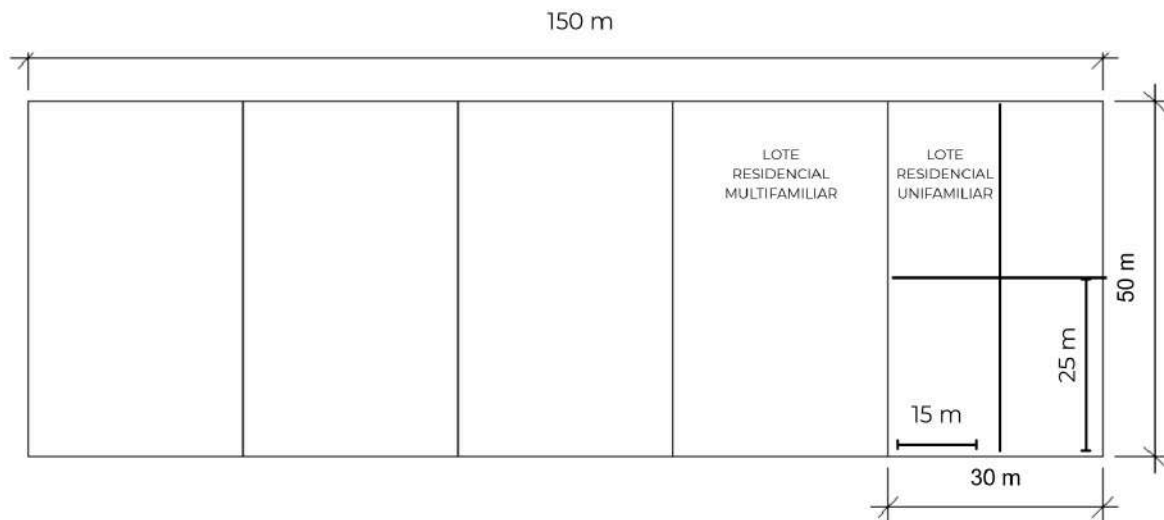
Fonte: adaptado de Bem Vindo à Sergipe (2024).

Apesar do coeficiente de aproveitamento em vigor limitar a verticalização a 6 pavimentos, fica evidente o uso de maneiras de contornar a legislação, como a outorga onerosa. Nesse sentido, para que os parâmetros urbanísticos possam se aproximar de uma realidade de possível emprego futuro, uma possibilidade seria aumentar o gabarito de altura das edificações multifamiliares dos modelos a serem estudados, de modo a abordar uma análise complementar, representando tais práticas e seus impactos na forma urbana.

3.3. Elaboração de Modelos

Os modelos propostos para a simulação tiveram como base quarteirões de 150 x 50 m, por se tratar da conformação predominantemente na zona em questão, com lotes de 30 x 50 m, representando o uso residencial multifamiliar, ou de 15 x 25m, representando o uso residencial unifamiliar (Figura 15).

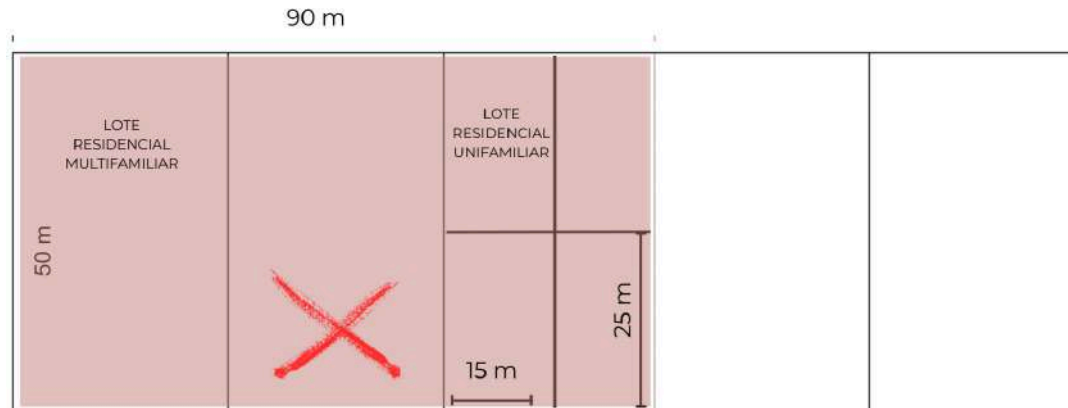
Figura 15 - Quarteirão Tipo



Fonte: Elaborado pela autora.

Para a análise do quarteirão tipo, foram feitos recortes de modo a entender a conformação que melhor permitiria avaliar a interferência dos parâmetros urbanísticos em relação ao acesso solar. O primeiro recorte de estudo se deu com a setorização do quarteirão, elencando 3 lotes para a análise, ou seja, foi trabalhado um setor com 50 x 90 m, dentro dos quarteirões de 50 x 150 m, tendo como foco o lote central para delimitar o estudo. O lote central pode ser visualizado no esquema da Figura 16, destacado com um “x” em vermelho dentro da delimitação de 50 x 90 m, destacada em rosa.

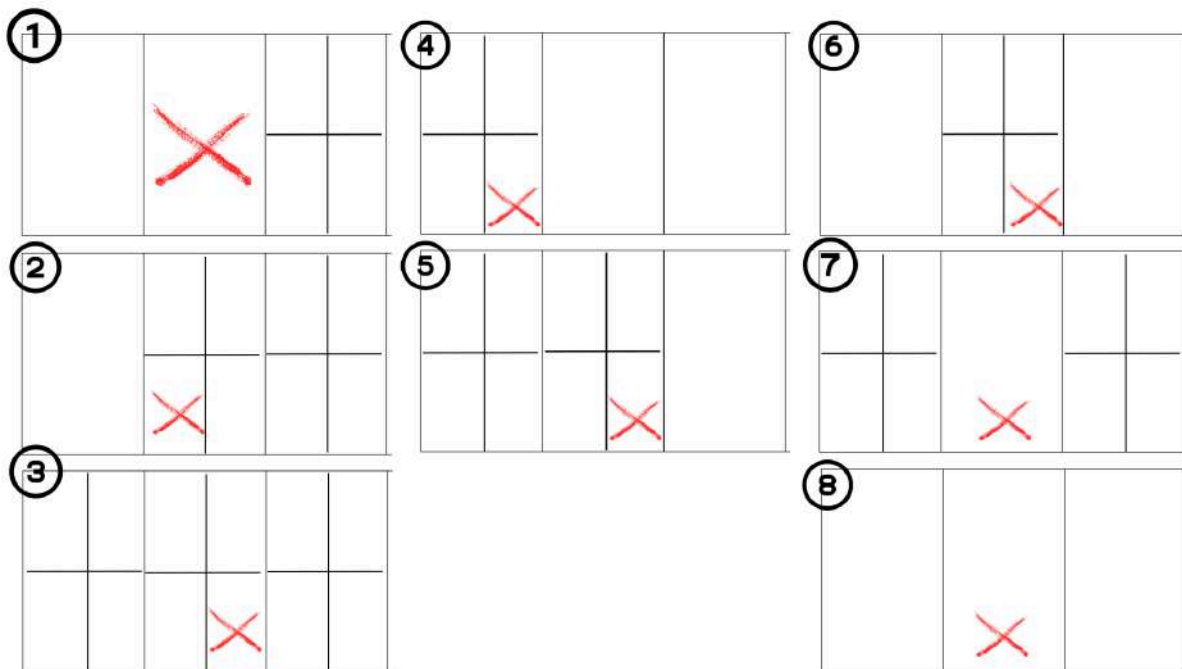
Figura 16 - Recorte de Estudo dentro do Quarteirão Tipológico.



Fonte: Elaborado pela autora .

Tal circunstância resulta em 8 modelos possíveis de quarteirão, sendo o lote central o foco de cada análise. Os modelos e os lotes centrais (destacados com um x vermelho) podem ser visualizados na Figura 17. Vale ressaltar que a orientação do quarteirão segue a localização geográfica da ZAP4, ou seja, o terreno em questão estaria em uma posição à noroeste.

Figura 17 - Modelos de Análise



Fonte: Elaborado pela autora .

Dentro das possibilidades observadas, percebe-se que os modelos 1, 2 e 3 seriam os mais representativos dentre os demais, já que o modelo 1 permitiria analisar a influência de um lote multifamiliar em relação a um de mesma tipologia e em relação a lotes unifamiliares. Nesse mesmo

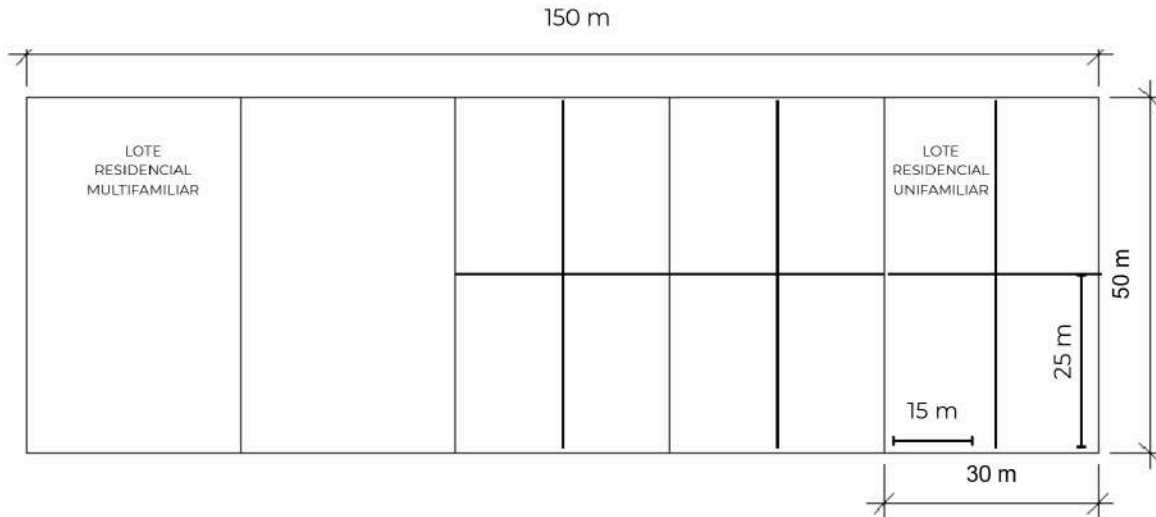
modelo seria possível ainda avaliar a multiplicação da interferência dos dois lotes multifamiliares em relação a lotes unifamiliares, representando uma situação de crescimento de grandes empreendimentos e a formação de condomínios verticais.

O modelo 2, por sua vez, permite analisar a extensão da interferência de um lote multifamiliar em relação a lotes unifamiliares. O modelo 3, seria um contraponto, permitindo avaliar quais seriam as melhores estratégias urbanísticas para lidar com o acesso solar, ao trabalhar com lotes de mesma tipologia. Com a modelagem desses três modelos, as análises que poderiam ser feitas com os demais já seriam contempladas.

Ao observar essa situação, uma nova proposta foi gerada, retomando a conformação inicial do quarteirão de 50 x 150 m, mediante a percepção de que apenas um modelo, unindo as contribuições dos três modelos que se destacaram, seria um recorte suficiente para a análise a ser realizada.

O novo quarteirão tipológico seria formado por dois lotes multifamiliares, seguidos de doze lotes unifamiliares, permitindo assim, avaliar todos os contrapontos sugeridos pelos modelos 1, 2 e 3 (Figura 18).

Figura 18 - Quarteirão tipo

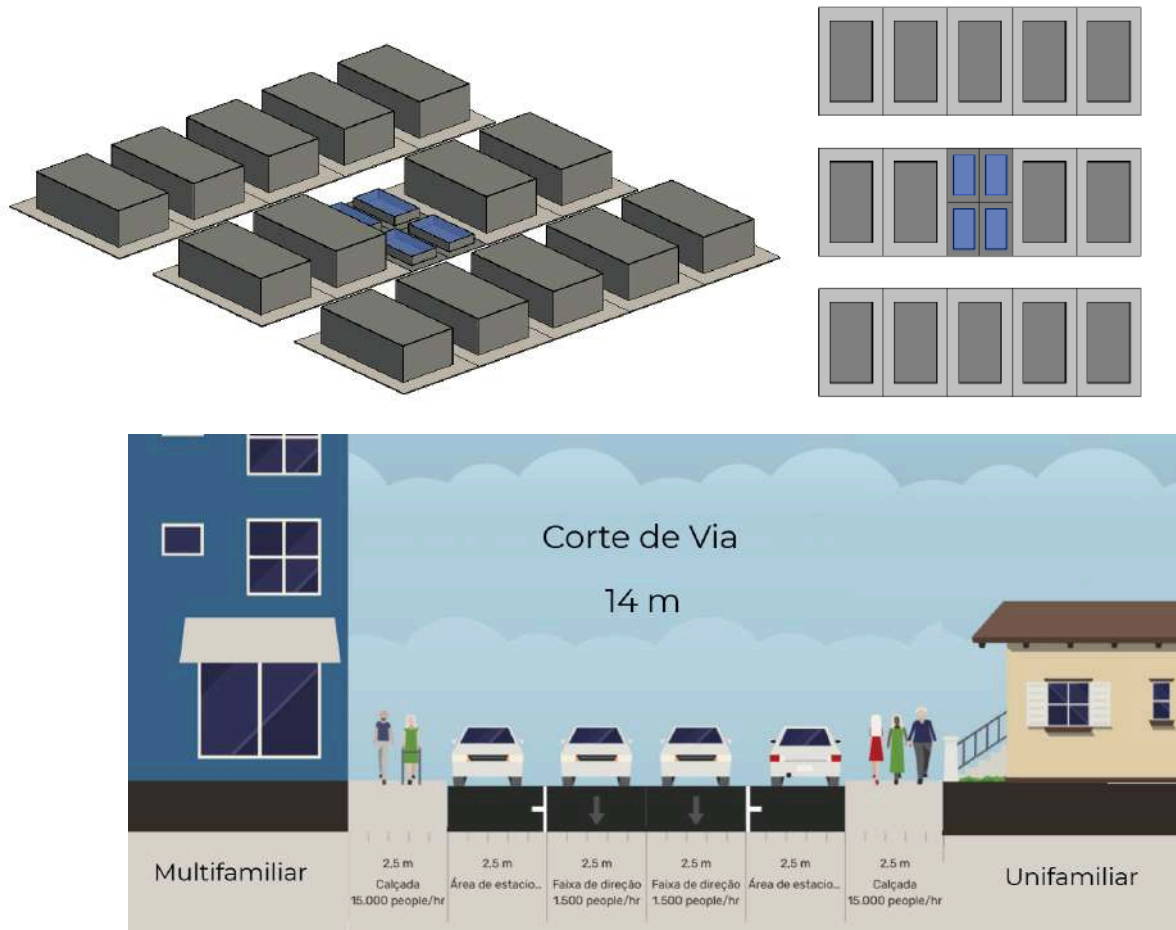


Fonte: Elaborado pela autora.

Ainda dentro do processo de elaboração de modelos, percebeu-se que apesar do quarteirão tipológico, representado na Figura 10, conseguir resumir as propostas anteriores, por meio deste ainda não seria possível analisar a interferência em todos os lados com relação a um lote específico. Logo, uma nova proposta foi elaborada, tomando como base o quarteirão de 50 x 150 m, mas tendo como premissa a avaliação do pior cenário possível. Nesse caso, o quarteirão tipológico foi formado por

residências unifamiliares ao centro, destacadas em azul na Figura 18, rodeado por lotes multifamiliares (Figura 18). As vias entre os quarteirões seriam de 10 m, contabilizando 14 metros com as calçadas. Para esse estudo, condições como a vegetação, sistemas elétricos, sistemas hidráulicos entre outros elementos que compõem a malha urbana não foram analisados. Esse fato representa uma das lacunas deste trabalho, abrindo margem para atualizações futuras.

Figura 18 - Representação do quarteirão tipo



Fonte: Elaborado pela autora.

Já as variações do CA e da TO foram sugeridas, tendo como base os parâmetros possíveis contidos no PPDU (2000) (modelos representados em lilás), já os modelos destacados em rosa claro representam os parâmetros da ZAP4 contidos na errata de 2021. As demais variações simulam possibilidades e diferentes padrões de análise, baseadas no estudo de Girotti (2019), resultando, a princípio, em 25 modelos por lote (Quadro 6).

Quadro 6 - Variações de CA e TO para a Elaboração de Modelos

Parâmetro/Possibilidades	TO				
CA	50%	60%	70%	80%	90%
3	T50C3	T60C3	T70C3	T80C3	T90C3
3,5	T50C3,5	T60C3,5	T70C3,5	T80C3,5	T90C3,5
4	T50C4	T60C4	T70C4	T80C4	T90C4
5	T50C5	T60C5	T70C5	T80C5	T90C5
6	T50C6	T60C6	T70C6	T80C6	T90C6

Fonte: Elaborado pela autora.

A partir das variações de TO e CA, foram determinados para cada tipologia de lote (30 x 50 m e 15 x 25 m), a área construída máxima e o gabarito de altura máximo previstos (Quadro 7). Vale ressaltar que para a tipologia de 375 m², o gabarito de altura a ser levado em conta será o de um pavimento (pé-direito de 3 m), devido a tipologia construtiva se tratar de residência unifamiliar. Os modelos coloridos em destaque na cor lilás, assim como no Quadro 6, representam os parâmetros possíveis, contidos no PPDU (2000), já os modelos destacados em rosa claro, representam os parâmetros para a ZAP4, contidos na errata de 2021.

Quadro 7- Área Construída Máxima e Gabarito de Altura Máximo Previsto Para Cada Modelo

	Lotes de 30 x 50 m (1500 m ²)		Lotes de 15 x 25 m (375 m ²)
Modelo	Área ocupada do lote (m ²)	Gabarito de Altura (m)	Área Construída (m ²)
T50C3	750	9	187,50
T60C3	900	9	225,00
T70C3	1050	9	262,50
T80C3	1200	9	281,25
T90C3	1350	9	300,00
T50C3,5	750	10,5	187,50
T60C3,5	900	10,5	225,00
T70C3,5	1050	10,5	262,50
T80C3,5	1200	10,5	281,25
T90C3,5	1350	10,5	300,00
T50C4	750	12	187,50
T60C4	900	12	225,00
T70C4	1050	12	262,50

T80C4	1200	12	281,25
T90C4	1350	12	300,00
T50C5	750	15	187,50
T60C5	900	15	225,00
T70C5	1050	15	262,50
T80C5	1200	15	281,25
T90C5	1350	15	300,00
T50C6	750	18	187,50
T60C6	900	18	225,00
T70C6	1050	18	262,50
T80C6	1200	18	281,25
T90C6	1350	18	300,00

Fonte: Elaborado pela autora.

Pela necessidade de elencar os modelos mais representativos, foram escolhidos para lotes multifamiliares os modelos T50, T70 e T90, representando a variação da taxa de ocupação do terreno como parâmetro principal da análise, bem como os modelos C3 e C6, representando a variação do coeficiente de aproveitamento do terreno como parâmetro principal da análise. Taxas transitórias como CA de 3,5 e 4 não foram eleitas devido a variação sutil em relação aos demais parâmetros, restando os cenários mais adequados para analisar o impacto com relação ao acesso solar.

Além dessas possibilidades, a legislação urbana das ZAP 's reduz a taxa de ocupação de 90% para 70% para os pavimentos acima do terceiro piso (Quadro 9). Por isso, os modelos com a taxa de ocupação de 90%, teoricamente teriam formatos diferentes dos demais, ao respeitarem a normativa. No entanto, para a simplificação do modelo, para os lotes multifamiliares com taxa de ocupação de 90%, essa condição será replicada em todos os pavimentos indo contra a indicação de 70% a partir do quarto pavimento (Quadro 9). Essa escolha se deu para evitar a criação de reentrâncias na edificação, as quais seriam responsáveis pela impossibilidade de tecer análises comparativas assertivas em relação aos demais modelos, já que a reprodução de sombras seria afetada pela diferença na geometria.

Quadro 9 - Parâmetros urbanísticos das ZAP's

ZONA	PAV.	RECUO MÍNIMO FRONTAL	RECUO MÍNIMO DE FUNDO	RECUO MÍNIMO LATERAL	ALTURA MÁXIMA	TAXA DE OCUPAÇÃO MÁXIMA
ZAP 2 a 5	1º (Térreo)	Fachadas - Norte e Oeste - 3 m Fachadas - Sul e Leste - Isento	ISENTO	ISENTO	Para a Soma dos Pavimentos: 7,5 m c/ uso de galeria de lojas 6m sem o uso de galeria de lojas	90% resguardados os recuos mínimos
	2º	Isento	1,50 m	1,50 m		
	3º	3,00 m				
	4º em Diante	3,00m para as vias Coletoras II e Locais 5,00 m para as vias Coletoras I e Expressas Principais	RF = 1,5 + 0,2 (NP-5) Desde que resguardados os recuos mínimos acima	RF = 1,5 + 0,2 (NP-5) Desde que resguardados os recuos mínimos acima	A que o lote permitir, atendidas as exigências de potencial construtivo e recuos	70% resguardados os recuos mínimos

Fonte: Adaptado de PPDU (Aracaju, 2000).

Todos os modelos de lote tiveram como outras definições utilizar o máximo permitido por cada cenário de parâmetros, bem como respeitar a delimitação do recuo frontal de 3 m e lateral de 1,5 m, conforme orientado na errata de 2021. Além disso, a taxa de permeabilidade mínima (15%) foi mantida (Figura 19).

Quando se observa a paisagem urbana existente na ZAP4, comentada de modo mais abrangente no tópico 3.2, na qual há a predominância de condomínios verticais com 10 a 12 pavimentos, fica evidente que apesar de trazerem limitações, os parâmetros tendem a ser contornados, por instrumento jurídico e urbanístico, como o pagamento de outorga onerosa. Esse processo possibilita o aumento do gabarito de altura e do coeficiente de aproveitamento, permitindo a construção de edifícios com mais pavimentos do que permitido outrora.

Por esse motivo, para residências multifamiliares foram adicionados novos modelos de modo a supor o aumento do coeficiente de aproveitamento para 9 e 12, representando a adaptação dos modelos a um cenário futuro possível (Quadro 10).

Quadro 10- Variações de CA e TO para a Elaboração de Modelos

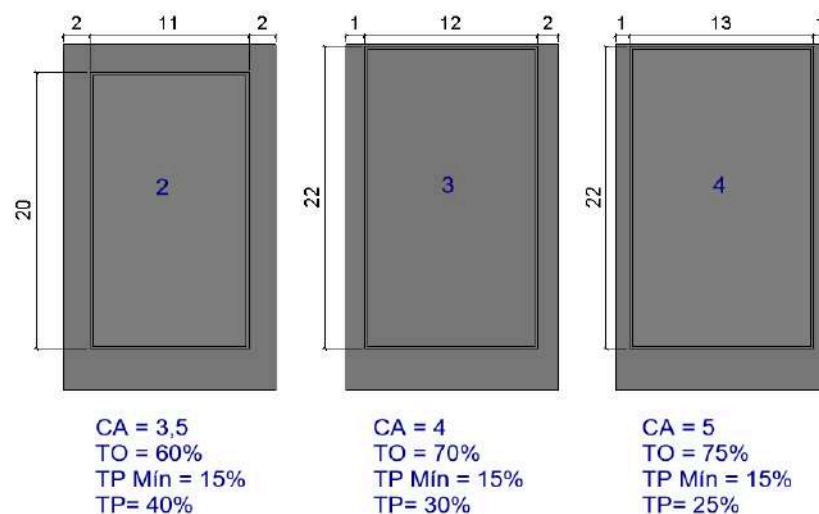
Parâmetro/Possibilidades	TO		
	50%	70%	90%
CA			
3	T50C3	T70C3	T90C3
6	T50C6	T70C6	T90C6
9	T50C6	T70C9	T90C9
12	T50C12	T70C12	T90C12

Fonte: Elaborado pela autora.

Mesmo com a proposta de comparar os efeitos das taxas de ocupação de 70% e de 90% com relação a de 50%, ao calcular a área construída em planta para a TO de 90%, os recuos mínimos não seriam respeitados para uma implantação com uma área de 1350,00 m². Nesse sentido, para os modelos T90, a área da implantação foi definida como sendo a maior possível, respeitando os recuos mínimos, sendo esta de 1271,00 m².

As variações para residências unifamiliares com T80 e T90 foram descartadas, já que para o aproveitamento máximo das suas condições (70% e 90% de taxa de ocupação), os limites exigidos não seriam respeitados (Figura 19). Por isso, para os modelos de quarteirão T90 foi utilizada a taxa de ocupação de 70% para as residências unifamiliares.

Figura 19 - Lotes unifamiliares : Modelos 1, 2 , 3 e 4



Fonte: Elaborado pela autora.

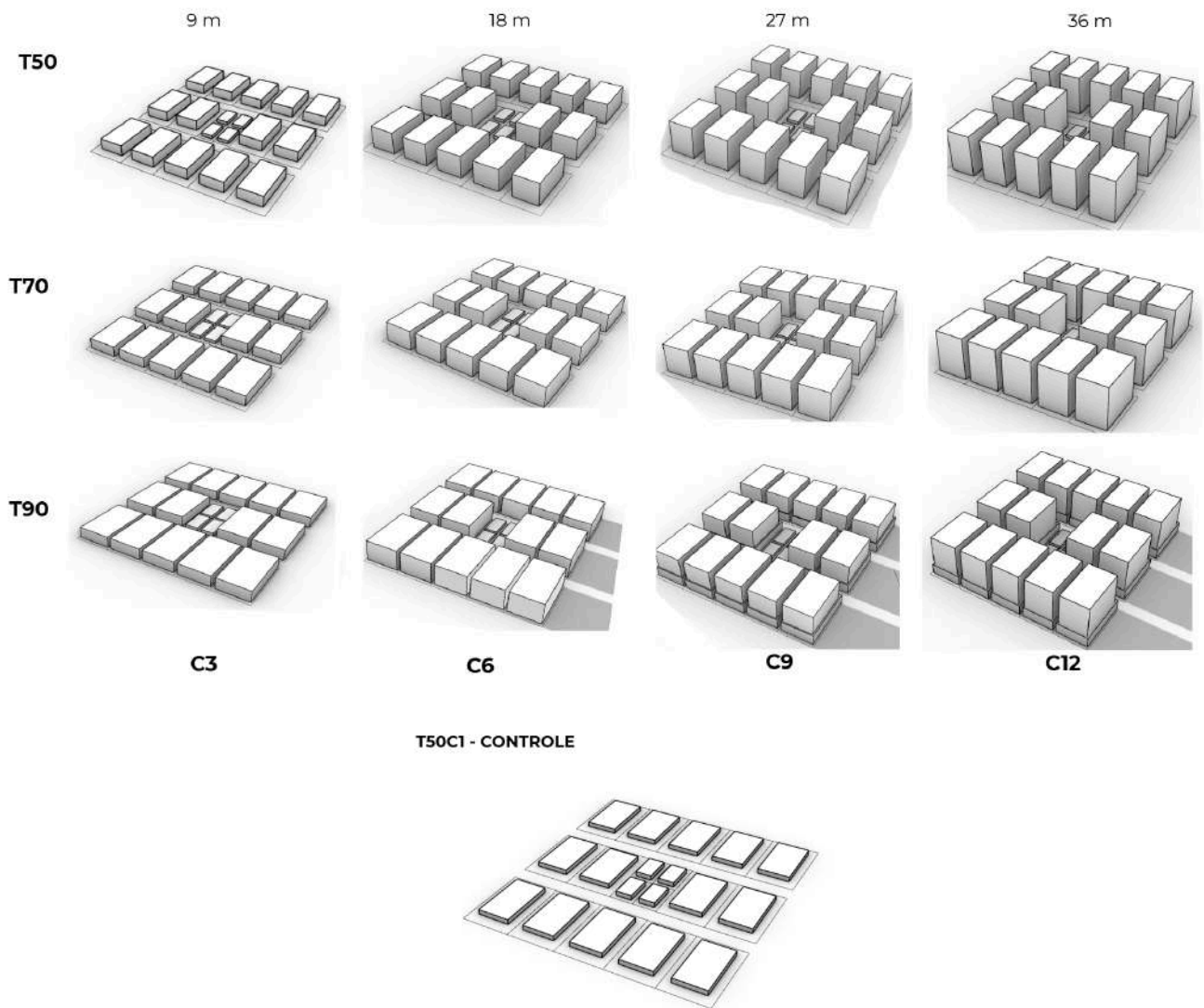
Para os lotes unifamiliares, foram mantidos somente os modelos T50 e T70, fazendo um contraponto com os seus iguais. Por fim, foi criado um modelo controle (T50C1), a ser utilizado como elemento de comparação. Os parâmetros para cada um dos modelos restantes podem ser observados no Quadro 10, bem como suas configurações na Figura 20.

Quadro 10 - Área Construída Máxima e Gabarito de Altura Máximo Previsto Para os Modelos Escolhidos

			Lotes de 30 x 50 m (1500m ²)		Lotes de 15 x 25 m (375 m ²)
Modelo	CA	TO	Área ocupada do terreno (m ²)	Gabarito de Altura (m)	Área Construída (m ²)
T50C1	1	50%	750	3,00	187,50
T50C3	3	50%	750	9,00	187,50
T70C3	3	70%	1200	9,00	262,50
T90C3	3	90%	1271	9,00	262,50
T50C6	6	50%	750	18,00	187,50
T70C6	6	70%	1200	18,00	262,50
T90C6	6	90%	1271	18,00	262,50
T50C9	9	50%	750	27,00	187,50
T70C9	9	70%	1200	27,00	262,50
T90C9	9	90% (Até o Terceiro pavimento para os demais)	1271	27,00	262,50
T50C12	12	50%	750	36,00	187,50
T70C12	12	70%	1200	36,00	262,50
T90C12	12	90% (Até o Terceiro pavimento para os demais)	1271	36,00	262,50

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 20 - Modelos finais



Fonte: Elaborado pela autora.

A observação da influência de tais parâmetros foi realizada de acordo com os valores de incidência solar obtida na superfície horizontal dos modelos, sem levar em conta possíveis inclinações do construído em relação ao lote. Com a análise por lote buscou-se entender a influência de tais parâmetros para cada unidade, enquanto que a partir da análise por quarteirão buscou-se compreender como a mudança dos parâmetros afeta o objeto de estudo em escala urbana. Para o quarteirão, foram implantados sempre lotes de um mesmo modelo.

Os modelos elaborados foram lançados em um *software* para a simulação da incidência solar sobre suas superfícies mediante a radiação do céu e do sol. A partir dos dados gerados, foi possível

verificar a influência dos parâmetros urbanísticos no que condiz ao sombreamento de edificações adjacentes, e consequentemente, para a geração de energia solar fotovoltaica.

3.4. Escolha do *Software* de modelagem e simulação

Dentre as técnicas utilizadas para análises da interferência dos coeficientes urbanísticos no acesso solar, destacam-se o uso do Rhinoceros 3D® associado ao plugin Grasshopper® (Gaviria, 2013; Marins, 2018; Girotti, 2019; Birck, 2020) e o uso do *software* Energyplus® (Didoné, 2017; Fontana, 2019; Zambarda 2019, Botelho, 2024), ArcGIS® (Gomes, 2019; Birck, 2020) e SONDA®, Trimble SketchUp® com plugin Euclid 0.93® ou plug-in Skelion® (Maia, 2021), Revit® plugin insight® (Lucas, 2024) e Climate Studio® (Bastian, 2024).

O EnergyPlus®, bem como o Autodesk Revit®, têm sua lógica centrada no desempenho do edifício individual, e não na leitura espacial em planta ou na análise direta da distribuição de insolação em áreas abertas, o que limita sua aplicação em estudos urbanos, sendo o caso deste trabalho.

O ArcGIS®, por outro lado, apesar de ser eficiente para análises em escala urbana ou regional, apresenta limitações na precisão geométrica e na parametrização detalhada de volumes. Nesse sentido, se fosse utilizado para a modelagem dos quarteirões tipológicos, poderiam ocorrer erros com relação à própria modelagem. O SketchUp®, frequentemente utilizado com plugins como Euclid ou Skelion, é mais indicado para estudos preliminares ou representações visuais, já que possuem menor integração com dados climáticos complexos e menor capacidade de parametrização.

Já o ClimateStudio® apesar de também permitir análises em ambientes externos, seu foco principal está na escala do edifício e na qualidade da luz em ambientes internos, não sendo o mais indicado para o estudo em questão.

O Rhinoceros 3D® associado ao plugin Grasshopper® e LadyBug®, configura-se como uma opção interessante, já que permite modelar e incorporar dados climáticos reais, no formato EPW. A partir dessa integração, torna-se possível gerar mapas quantitativos de horas de sol ou radiação incidente diretamente sobre o plano do terreno, representados por meio de escalas cromáticas que facilitam a leitura e interpretação dos resultados. Esses mapas permitem identificar com precisão áreas mais ou menos favorecidas pela insolação, evidenciando o impacto direto das edificações adjacentes.

Além das opções citadas, outro *software* utilizado para simular a radiação solar incidente é o TropLux®, sendo este uma ferramenta desenvolvida especificamente para análises de iluminação natural. Estudos como Hoppe *et al.* (2015) utilizaram o *software* para analisar a influência da geometria

urbana e, conseqüentemente, da legislação urbanística na disponibilidade de luz natural no interior das edificações.

O *software* TropLux® permite modelar edificações e seu entorno tridimensionalmente, considerando a geometria das construções, a orientação solar, a localização geográfica e as condições climáticas locais. Utiliza a linguagem de programação Matlab, bem como realiza o cálculo da quantidade de luz natural a partir dos céus padrão da CIE (2002), em associação aos conceitos de Distribuição Dinâmica de Luminâncias do céu (CDDL) (Perez, 1993) .

Sobre os tipos de céu da CIE, tratam-se de proposições elaboradas em 2002 pela Comissão Internacional de Iluminação (CIE) e que são utilizadas até hoje. Os 15 tipos de céu da CIE são definidos de acordo com a distribuição de luminâncias da abóbada, que está diretamente relacionada com a nebulosidade e com a posição solar, bem como com outros parâmetros atmosféricos, como gases e outros materiais particulados (Quadro 11).

Quadro 11 – Tipos de céu padrão CIE

Tipo	Descrição	Tipo	Descrição
1	Céu encoberto - Gradação de luminâncias íngremes em função da altura solar e uniformidade azimutal	9	Parcialmente encoberto - com obstrução
2	Encoberto - Gradação de luminâncias íngremes em função da altura solar e brilho moderado ao redor do sol	10	Parcialmente encoberto - com uma região circumsolar brilhosa
3	Encoberto - Gradação de luminâncias moderada com uniformidade azimutal	11	Céu branco-azul com coroa solar distinta
4	Encoberto - Gradação de luminâncias moderada e brilho moderado ao redor do sol	12	CIE Padrão de Céu claro com baixa turbidez
5	Céu de luminâncias uniformes	13	CIE Padrão de Céu claro com atmosfera poluída
6	Parcialmente encoberto - Sem gradação em função da altura solar com brilho moderado ao redor do sol	14	Céu túrbido sem nuvens com ampla coroa solar
7	Parcialmente encoberto - Sem gradação em função da altura solar e com uma região circumsolar brilhosa	15	Céu branco-azul túrbido com ampla coroa solar
8	Parcialmente encoberto - Sem gradação em função da altura solar e com uma coroa solar distinta		

Fonte: Ribeiro, 2020.

O *software* TropLux®, em sua nova versão, conta com atualizações, unindo os algoritmos de simulação de céu da CIE ao desenvolvimento da metodologia de anualização de dados climáticos e sua distribuição anual propostas por Manhas (2016).

Essa abordagem foi incorporada ao TropLux 8® por meio do recurso denominado Céu com Distribuição Dinâmica de Luminâncias (CDDL). Nessa funcionalidade, o programa seleciona

automaticamente um dos quinze modelos de céu da CIE (2002), conforme a probabilidade de ocorrência correspondente ao dia e ao horário simulados. A seleção do modelo de céu é realizada a partir de informações locais de nebulosidade, que são convertidas para o tipo de céu equivalente previsto na classificação da CIE.

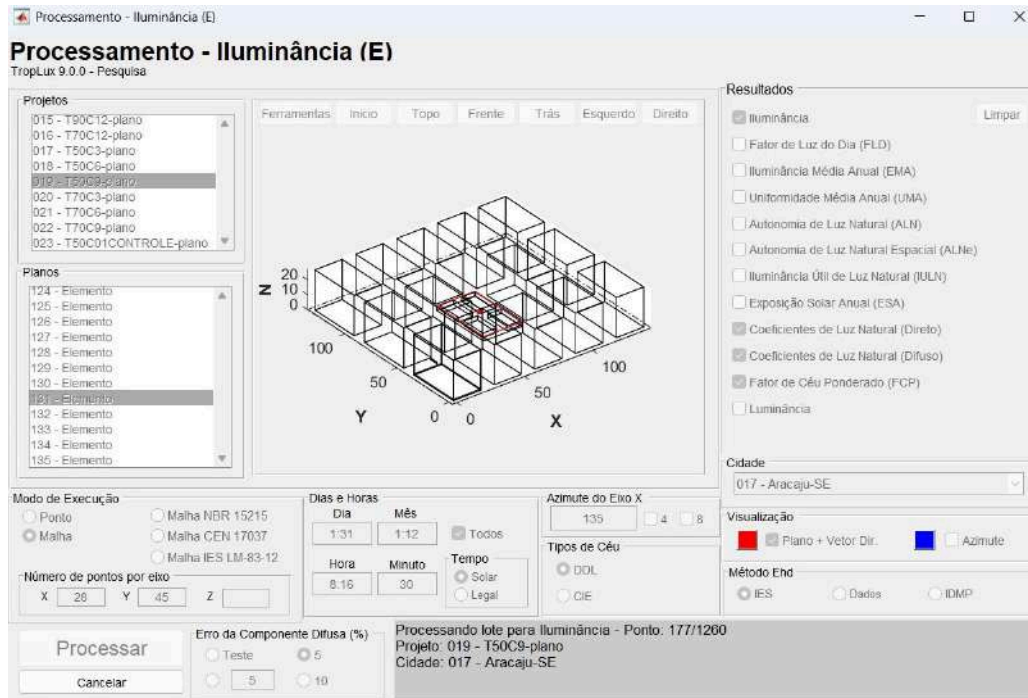
Dentre os *softwares* pesquisados, o Troplux® foi selecionado para análise da radiação incidente, já que, em comparação ao Rhinoceros® com Grasshopper® e Ladybug®, apresenta uma base de dados mais abrangente, principalmente para uma análise macro da iluminação natural.

3.5. Modelagem Computacional

A modelagem foi realizada no TropLux® utilizando o sistema de coordenadas cartesianas que fundamenta a aba de geometria do projeto. A formação de cada um dos quarteirões respeitou os parâmetros descritos no subtópico 3.3. Para analisar a incidência solar sobre as edificações unifamiliares, localizadas no centro do quarteirão, foi gerado um plano de 25 x 38m a uma altura de 3 m (Figura 20). Além disso, configurações relacionadas a configuração das cores da envoltória não foram analisadas de modo isolado, sendo mantida a coloração padrão do *software* de refletância de 0,5.

Nesse sentido, cada modelo foi orientado a noroeste, de modo a representar a implantação real da ZAP4. As simulações foram realizadas para o período das 8h às 16h, considerando todos os dias do ano (Figura 21). Foram adotados o tempo solar e a opção de céu DDL, na qual o *software* define automaticamente o modelo de céu da CIE (2002) mais adequado às condições simuladas com base nos dados locais de nebulosidade. Para o cálculo da componente difusa da radiação solar, foi utilizada uma tolerância de erro de 5%, conforme configuração do *software*.

Figura 21 - Tela de processamento no Troplux



Fonte: Elaborado pela autora.

Com a comparação entre os modelos de parâmetros urbanísticos, haveria o entendimento de qual seria o cenário mais vantajoso para o acesso solar. Vale ressaltar que essa análise se limita à superfície horizontal do telhado, não incluindo a envoltória completa dos edifícios, a ser desenvolvida em estudos futuros.

3.6. Análise dos Resultados

Os resultados foram analisados com base na comparação entre os valores de Iluminância Média Global (EMA Global) e Iluminância Média obtida por insolação direta (EMA Sol direto). Esses mesmos dados foram coletados para cada uma das estações do ano, permitindo a elaboração de uma análise sazonal.

Além disso, foram gerados mapas de isocurvas de iluminância em uma escala de 0 a 50000 lux para esses mesmos parâmetros, facilitando a compreensão da sua interferência de modo quantitativo e em relação a distribuição luminosa. Também foram gerados mapas sem escala comparativa para compreender mais a fundo o comportamento luminoso sobre o plano.

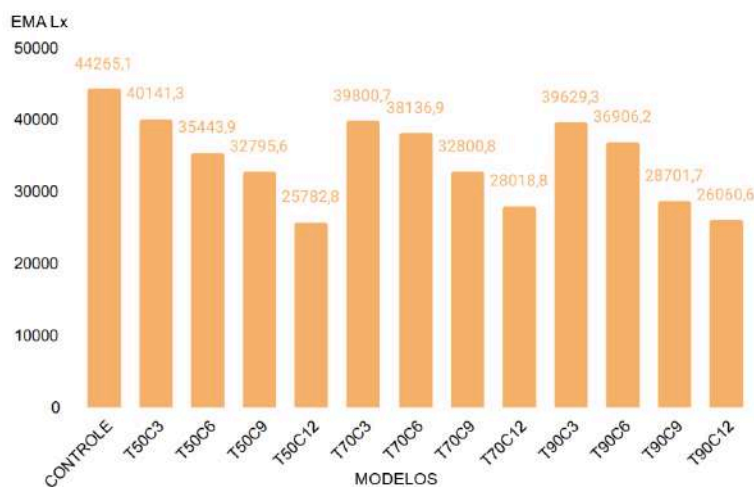
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com as configurações descritas anteriormente, foi possível coletar dados de iluminância média global (EMA), bem como a quantidade de sol direto em cada caso e gerar mapas em isocurvas de iluminância para cada modelo. Os mapas com escala de 0 a 50000 lux representam a radiação solar média incidente sobre a malha do telhado do conjunto unifamiliar ao longo do ano. Além disso, foram inseridos mapas de iluminância sem escala comparativa para observar a distribuição luminosa. Para uma análise mais detalhada, os dados também foram avaliados sazonalmente. A variação dos valores médios da radiação incidente e das áreas da malha com maior sombreamento permitiram compreender o impacto da variação dos índices urbanísticos.

O Gráfico 5 apresenta a EMA global sobre o plano do conjunto da cobertura das residências unifamiliares para cada um dos modelos simulados. De maneira geral, observa-se que em todos os cenários houve redução da iluminância em relação ao modelo Controle, o qual registrou o maior valor médio anual (44.265,1 lux). Esse comportamento já era esperado, uma vez que o aumento dos parâmetros dos modelos no entorno promove obstruções à incidência da radiação solar ao longo do ano.

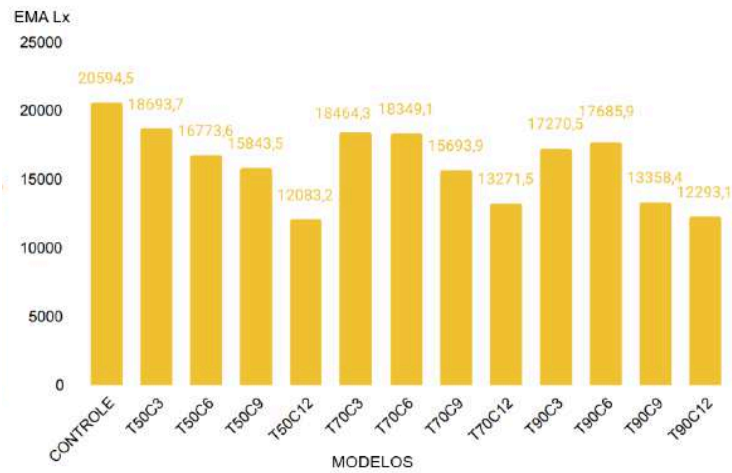
Os resultados de iluminância média anual (EMA) evidenciam uma redução contínua da disponibilidade de luz natural sobre a cobertura da edificação à medida que são aumentadas a taxa de ocupação e a verticalização do entorno. Observa-se que, para uma mesma taxa de ocupação, o aumento do número de pavimentos promove uma diminuição gradual da iluminância, resultante do aumento das áreas sombreadas projetadas pelas edificações vizinhas.

Gráfico 5 - Iluminância Média Anual Global (EMA) dos modelos



Fonte: Elaborado pela autora.

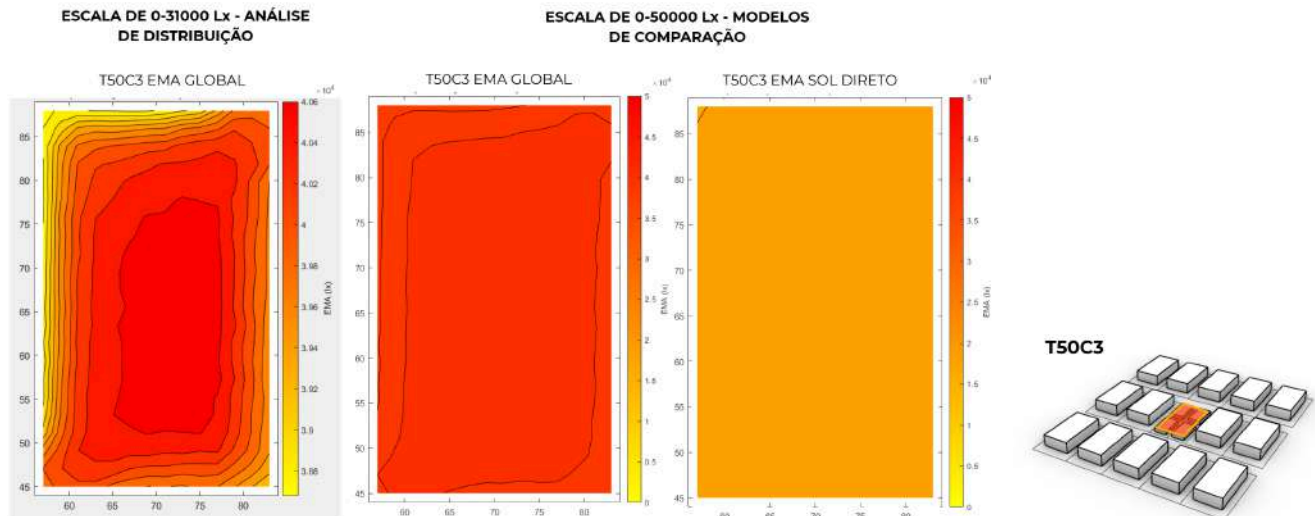
Gráfico 6 - Iluminância Média por insolação direta dos modelos

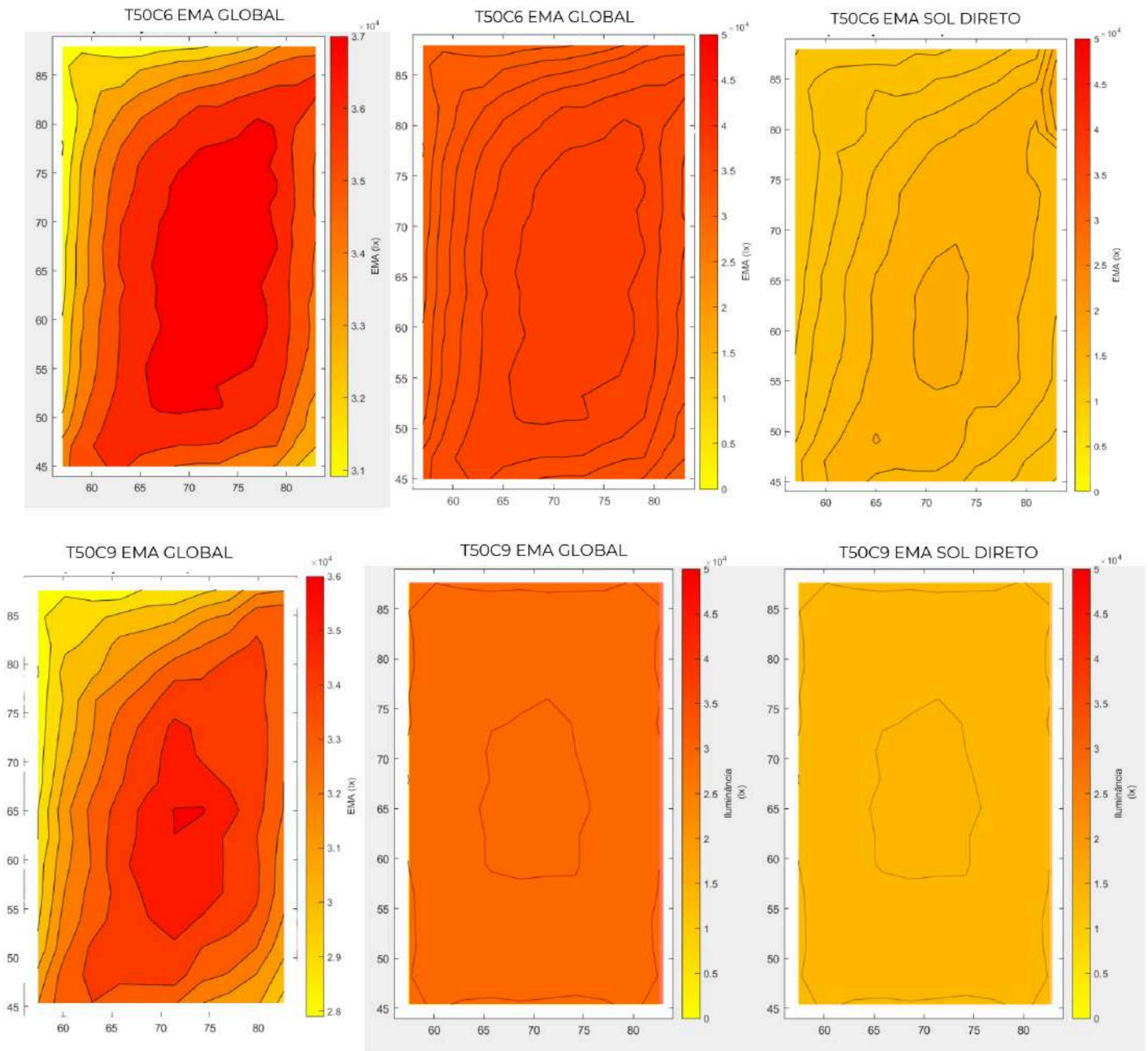


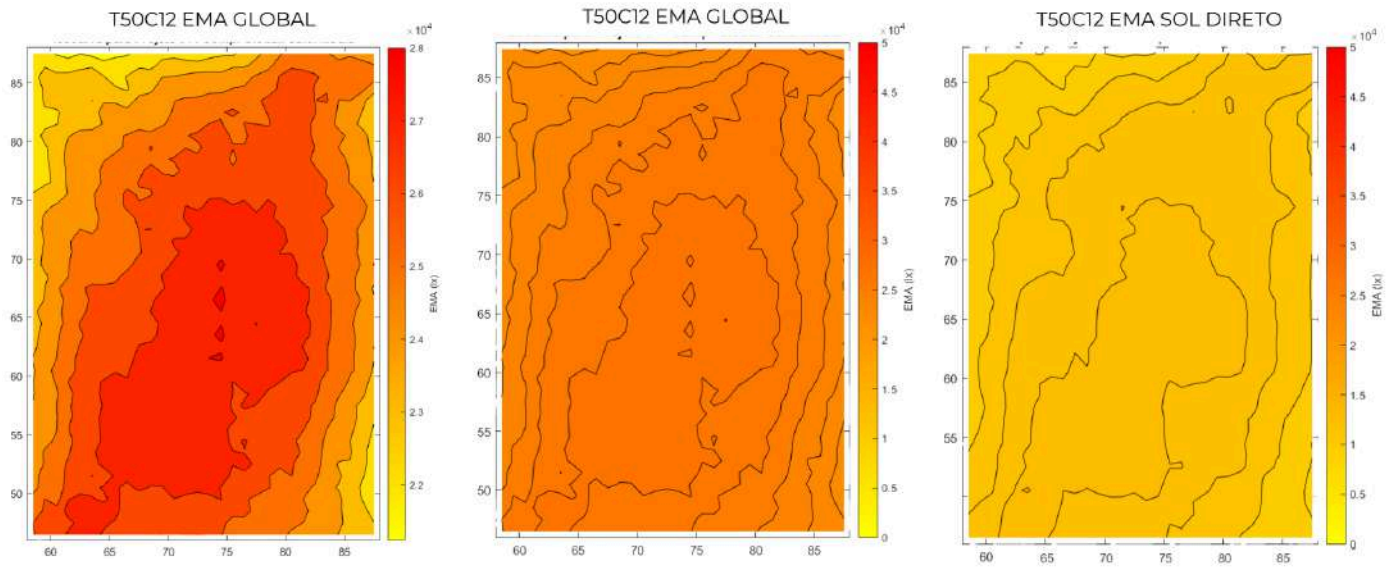
Fonte: Elaborado pela autora.

Considerando inicialmente os modelos com taxa de ocupação de 50% (Figura 22), verifica-se uma tendência de redução da iluminância à medida que o coeficiente de aproveitamento aumenta, representada pela variação da coloração dos mapas passando de vermelho intenso para laranja claro. Variação semelhante foi notada nos mapas de radiação direta, passando de laranja para amarelo.

Figura 22 - Mapas de isocurvas e EMA Global e por Radiação Direta dos modelos T50





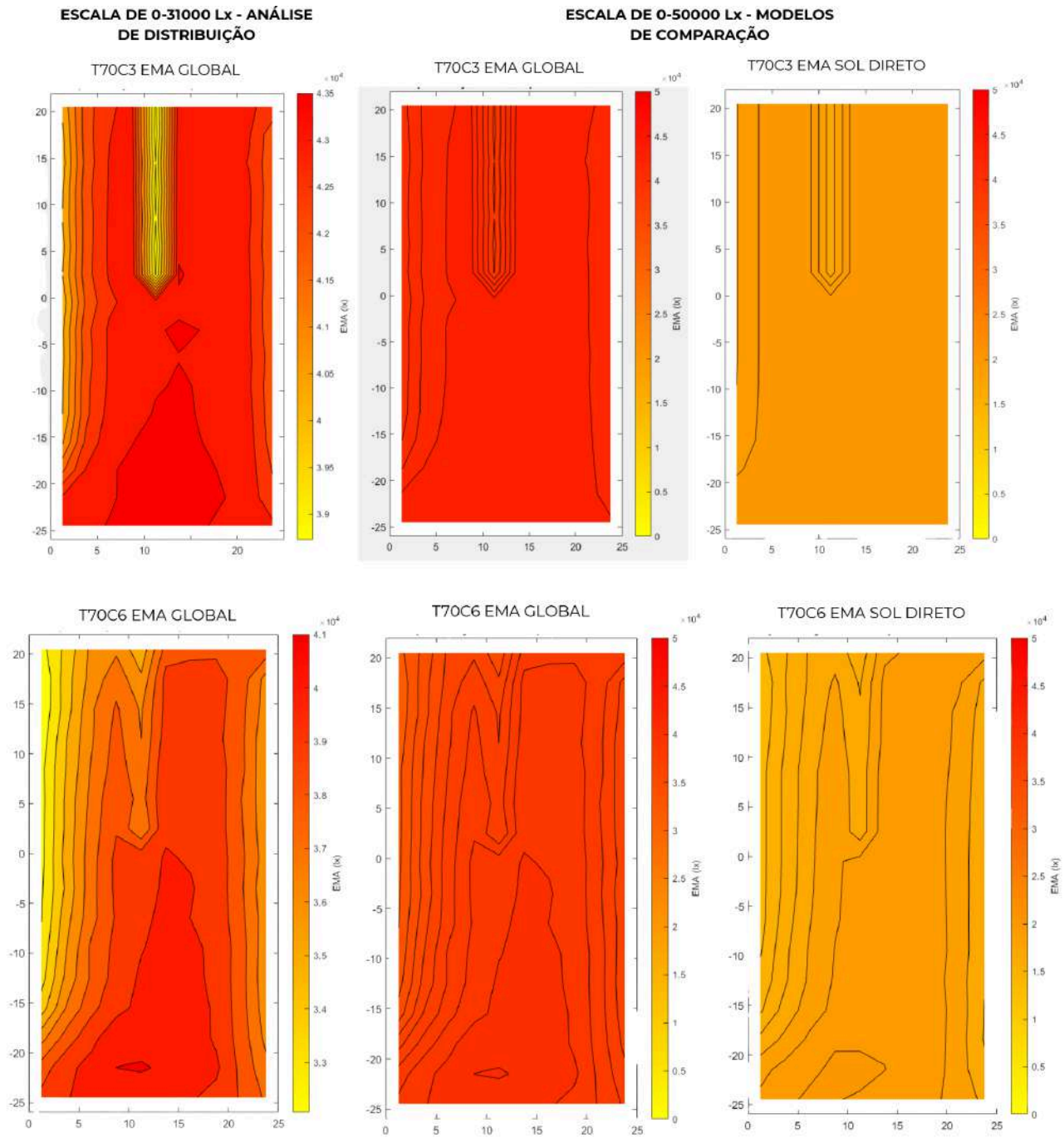


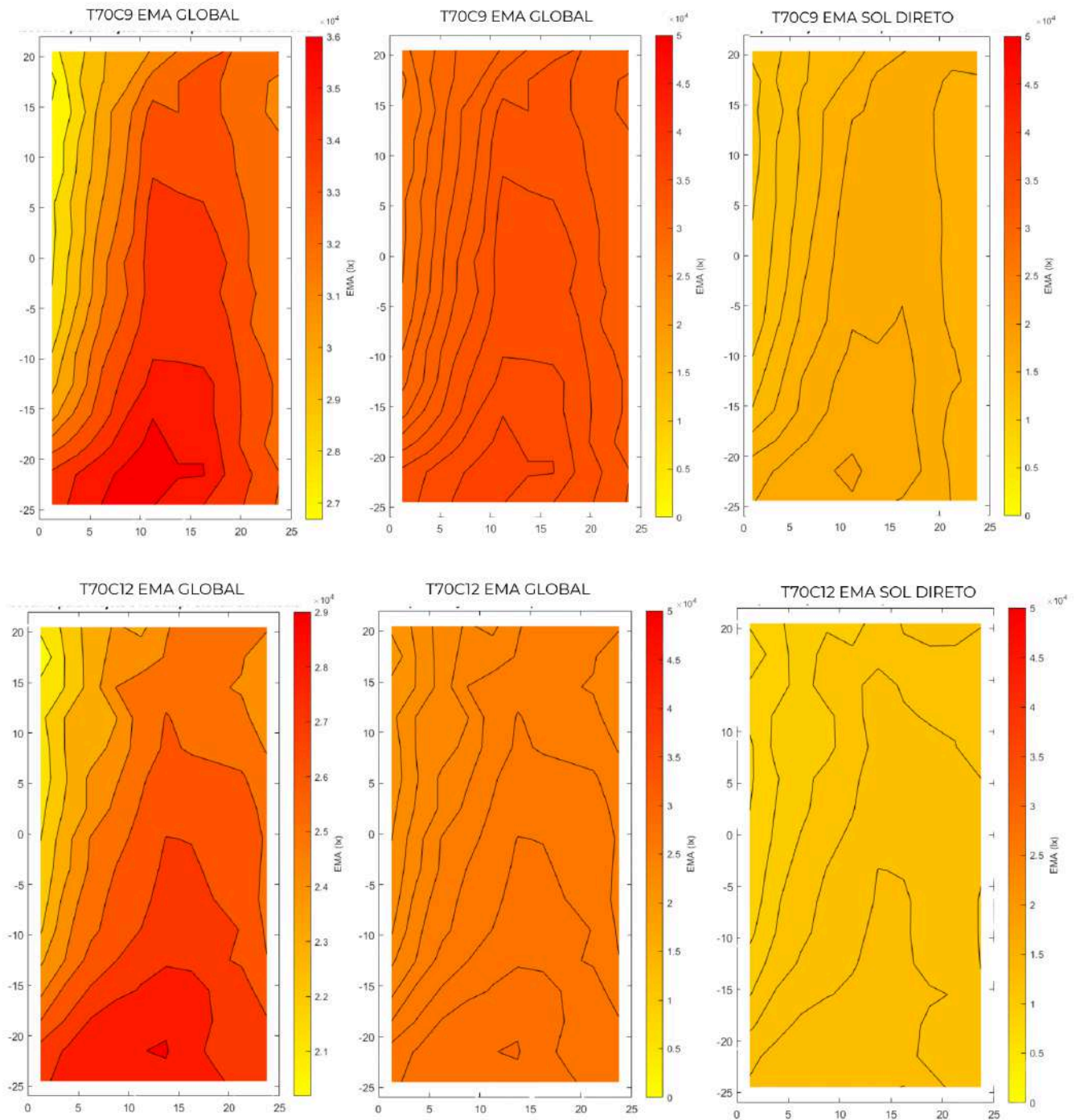
Fonte: Elaborado pela autora.

O modelo T50C3 apresentou iluminância média de 40.141,3 lux, enquanto os modelos T50C6 e T50C12 registraram, respectivamente, 35.443,9 lux e 25.782,8 lux (Gráficos 5 e 6). Dessa forma, observa-se que o aumento do potencial construtivo, mantendo-se a mesma taxa de ocupação, favorece a formação de maiores obstruções ao percurso aparente do Sol, reduzindo a disponibilidade de iluminação natural.

Comportamento semelhante pode ser observado nos modelos com taxa de ocupação de 70%, nos quais a iluminância passou de 38.136,9 lux, no modelo T70C6, para 28.018,8 lux, no modelo T70C12 (Gráficos 5 e 6). Tal processo pode ser visualizado na Figura 23, onde os mapas de iluminância, à medida que o coeficiente de aproveitamento vai aumentando, a coloração vai passando de vermelho para laranja, representando o aumento do sombreamento. Os mapas de radiação direta acompanham esse processo, atestando a relação inversamente proporcional do coeficiente de aproveitamento com a radiação solar incidente.

Figura 23 - Mapas de isocurvas de EMA Global e por Radiação Direta dos modelos T70





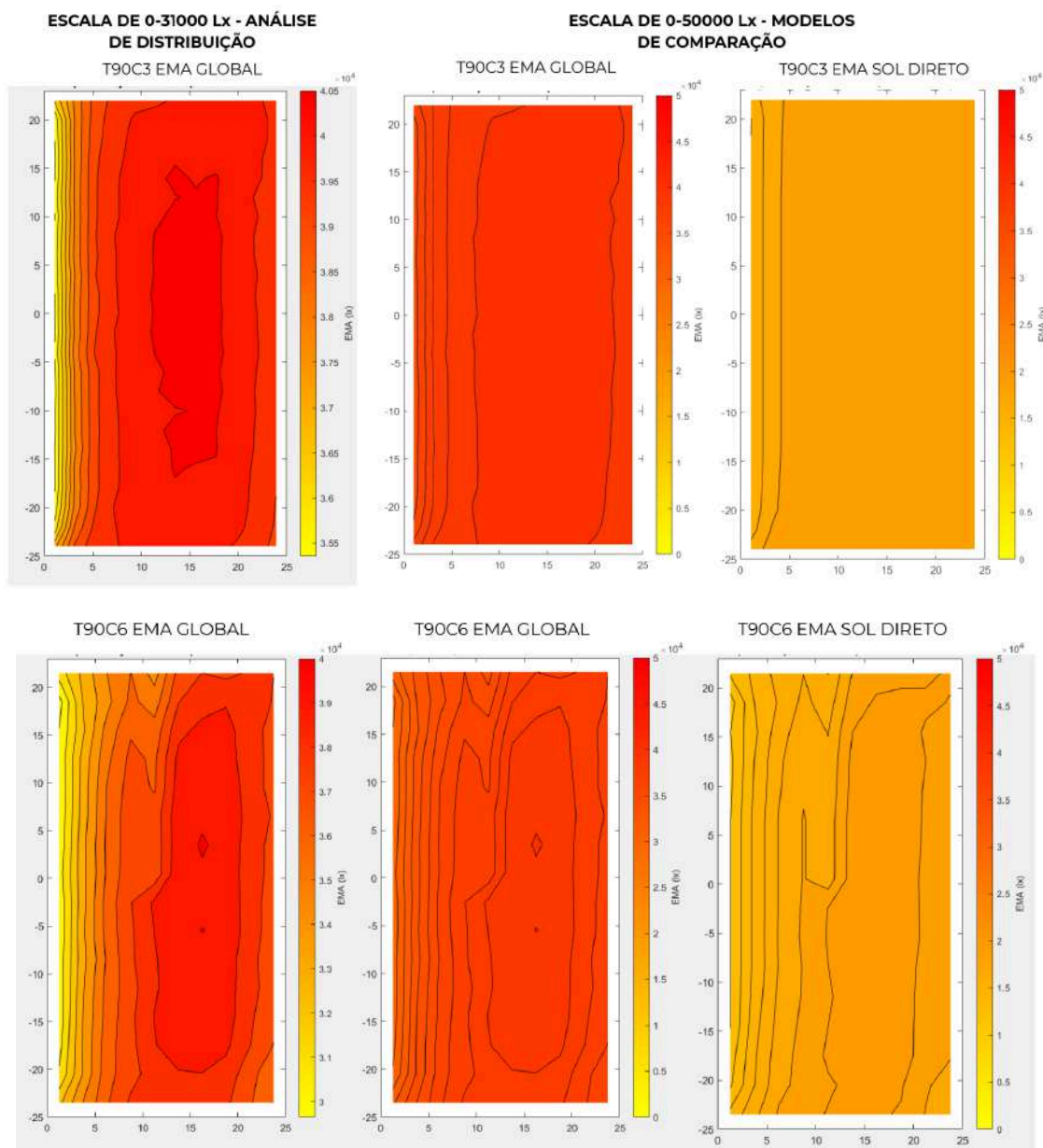
Fonte: Elaborado pela autora.

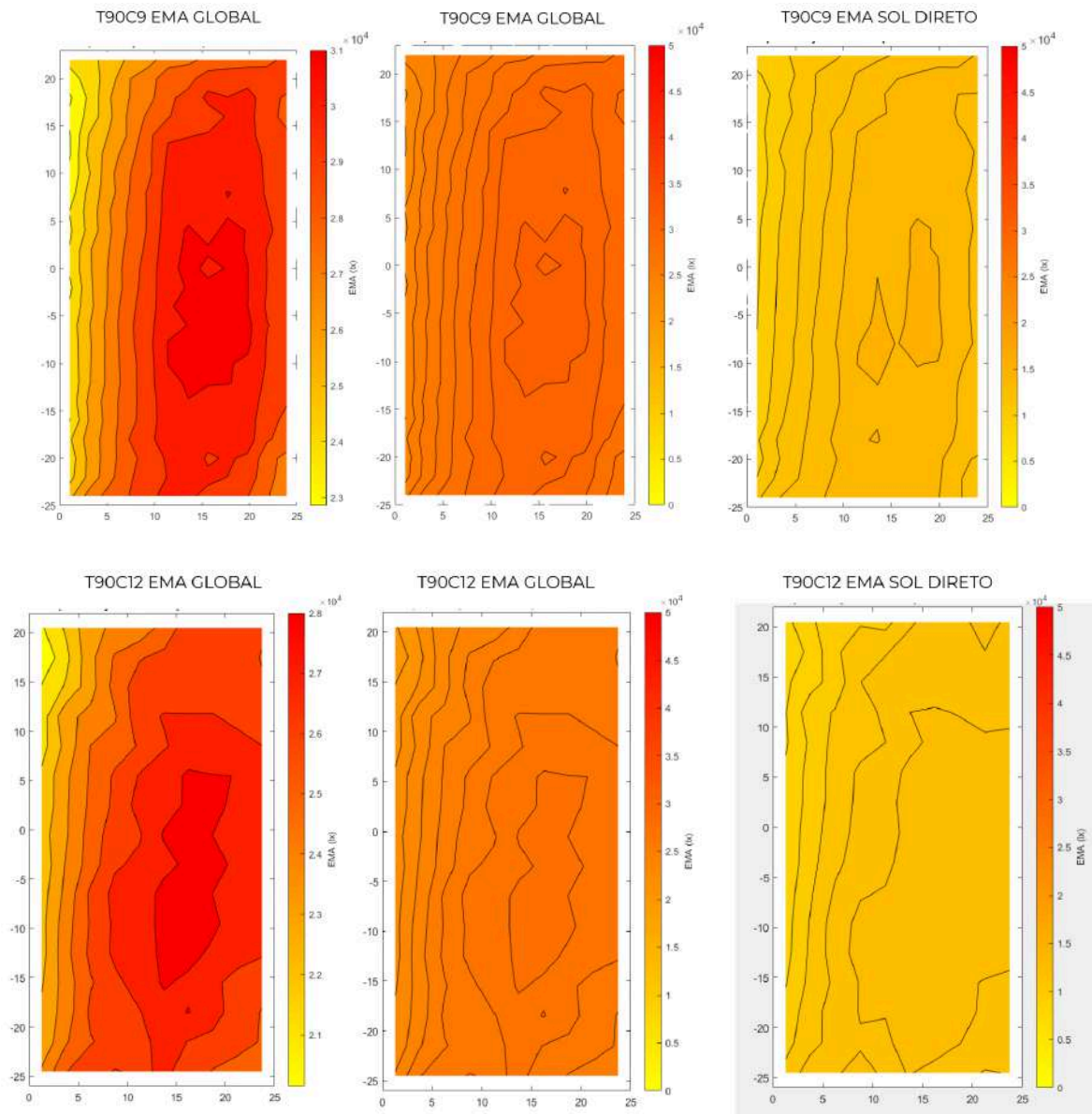
Nos modelos com taxa de ocupação de 90%, observa-se novamente a redução da iluminância conforme aumenta o coeficiente de aproveitamento. Enquanto o modelo T90C3 apresentou iluminância média de 39.629,3 lux, os modelos T90C9 e T90C12 registraram valores de 28.701,7 lux e 26.060,6

lux, respectivamente (Gráfico 5).

Apesar dessa tendência, nota-se que o modelo T90C3 apresentou desempenho bastante próximo ao observado no modelo T50C3, evidenciando que uma maior taxa de ocupação não implica, necessariamente, em menores níveis de acesso solar quando analisada de forma isolada. Esse comportamento é validado pela repetição desse padrão nos mapas de iluminância da Figura 24, que, novamente, representam a redução da iluminância média com o aumento do coeficiente de aproveitamento.

Figura 24 - Mapas de isocurvas de EMA Global e por Radiação Direta dos modelos T90





Fonte: Elaborado pela autora.

A comparação entre os cenários demonstra ainda que a influência da altura das edificações é mais pronunciada nos modelos de maior taxa de ocupação. Nos modelos T90, por exemplo, a iluminância média decresce de aproximadamente 39.629 lx (T90C3) para 26.061 lx (T90C12) na ocupação de 50%, correspondendo a uma redução de cerca de 34%. Para a ocupação de 70%, a queda ocorre de 17.686 lx para 12.293 lx, equivalente a aproximadamente 30%. Esses resultados indicam que o aumento simultâneo da ocupação do lote e da altura das edificações reduz de forma expressiva a disponibilidade de radiação solar incidente sobre o telhado.

Com relação à taxa de ocupação, percebe-se que a sua modificação levou a uma variação suave no sombreamento, quando observados os modelos de mesmo coeficiente de aproveitamento. Da mesma forma, determinadas combinações entre esses parâmetros produziram reduções significativamente superiores às observadas em outros cenários. Esses resultados indicam que o comportamento da iluminância está relacionado à interação entre taxa de ocupação e coeficiente de aproveitamento, uma vez que ambos influenciam a volumetria das edificações, seus afastamentos e, conseqüentemente, o grau de obstrução da radiação solar incidente.

Observando os mapas de distribuição da iluminância de forma isolada, percebe-se que a taxa de ocupação exerce influência não apenas sobre a quantidade de radiação solar incidente, mas também sobre sua distribuição espacial ao longo da cobertura do plano. Enquanto os gráficos de iluminância média permitem avaliar a intensidade da iluminação recebida, os mapas de distribuição possibilitam compreender como essa iluminação se comporta sobre a superfície analisada, evidenciando diferenças que não seriam percebidas apenas pela análise dos valores médios.

Ao comparar os modelos com taxa de ocupação de 50% e 90%, observa-se que a maior ocupação horizontal do lote modifica significativamente a configuração das isolinhas de iluminância. Nos modelos com taxa de ocupação de 90%, verifica-se maior concentração das menores iluminâncias junto às bordas da cobertura voltadas para as edificações vizinhas, indicando que o aumento da área edificada favorece a formação de zonas de sombreamento mais localizadas. Conseqüentemente, a distribuição da luz torna-se menos uniforme, concentrando os maiores valores de iluminância na região central do telhado.

Por outro lado, os modelos com taxa de ocupação de 50% apresentam uma distribuição mais homogênea da iluminância sobre a cobertura. As isolinhas apresentam transições mais suaves entre as diferentes faixas de iluminância e as áreas de maior incidência solar ocupam parcela mais significativa da superfície analisada. Esse comportamento pode ser associado à menor ocupação horizontal dos lotes, que proporciona maior abertura do céu visível e reduz a interferência das edificações vizinhas sobre a incidência da radiação solar.

Nos modelos com taxa de ocupação de 70%, verifica-se que o aumento do número de pavimentos modifica significativamente a distribuição da iluminância sobre a cobertura. Enquanto no cenário T70C3 a região de maior incidência solar ocupa uma faixa contínua próxima à lateral esquerda do lote, nos modelos T70C6, T70C9 e T70C12 essa faixa sofre redução gradual em largura e intensidade, sendo substituída por áreas de iluminância intermediária e baixa. Essa alteração demonstra

que a verticalização intensifica o sombreamento projetado pelas edificações vizinhas, reduzindo não apenas a iluminância média incidente, mas também a área efetivamente disponível para o aproveitamento da radiação solar, aspecto relevante para a implantação de sistemas fotovoltaicos.

Esses resultados demonstram que a taxa de ocupação influencia diretamente a forma como a iluminação natural se distribui sobre a cobertura da edificação, mesmo quando o coeficiente de aproveitamento permanece constante. Dessa forma, observa-se que esse parâmetro interfere não apenas na quantidade de radiação solar disponível, mas também na uniformidade da iluminação incidente, aspecto que pode repercutir no desempenho de sistemas fotovoltaicos, na disponibilidade de iluminação natural e na qualidade ambiental das edificações inseridas em áreas urbanas mais adensadas.

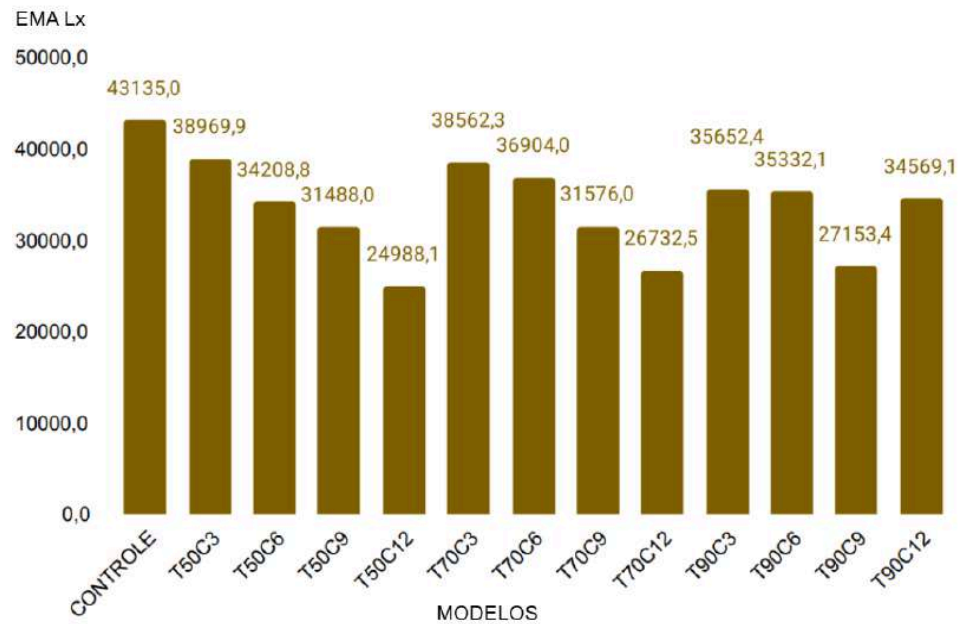
Com relação a variações sazonais, os Gráficos 7 a 14 representam os valores médios de iluminância global e de iluminância por radiação solar direta obtidos para os modelos simulados durante o verão, outono, inverno e primavera, respectivamente. De maneira geral, observa-se que o comportamento dos modelos ao longo das diferentes estações do ano foi semelhante ao identificado na análise anual.

Gráfico 7 - Iluminância Média Anual Global (EMA) no verão;



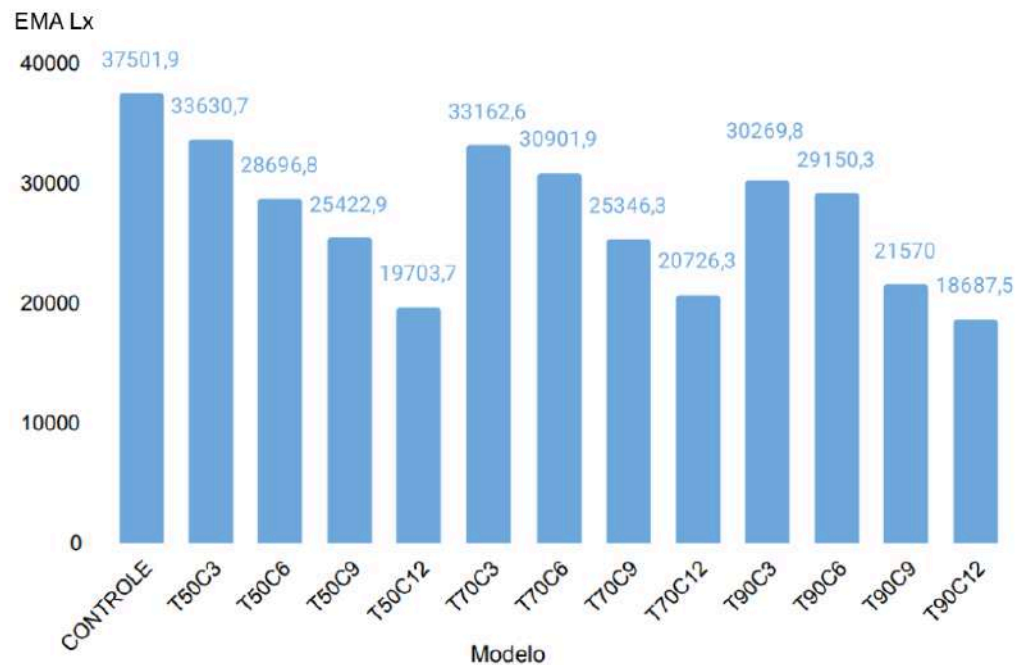
Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 8 - Iluminância Média Anual Global (EMA) no outono



Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 9 - Iluminância Média Anual Global (EMA) no inverno;



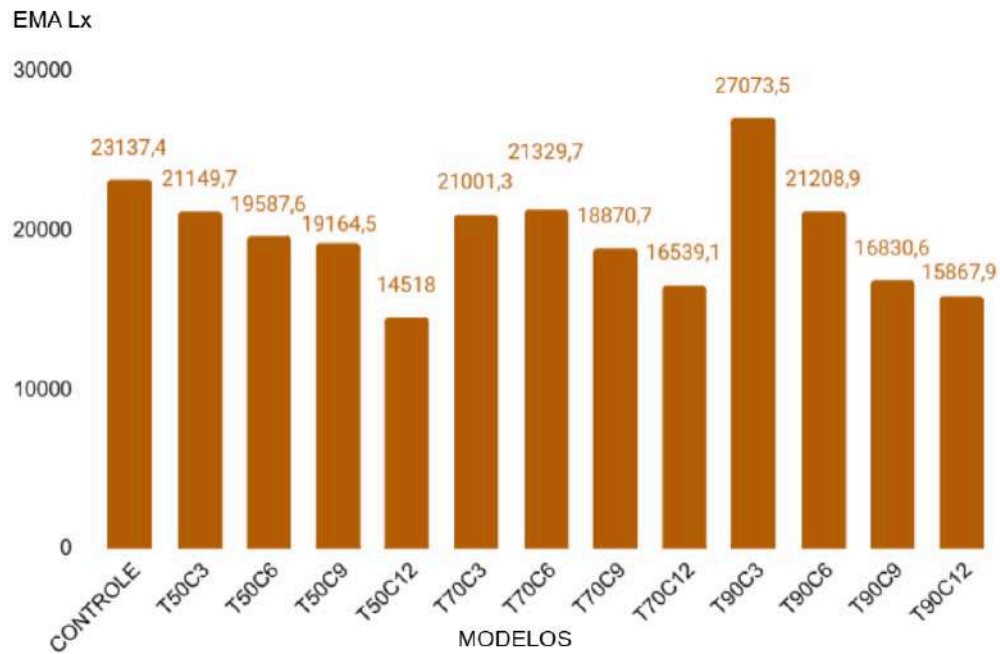
Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 10 - Iluminância Média Anual Global (EMA) na primavera



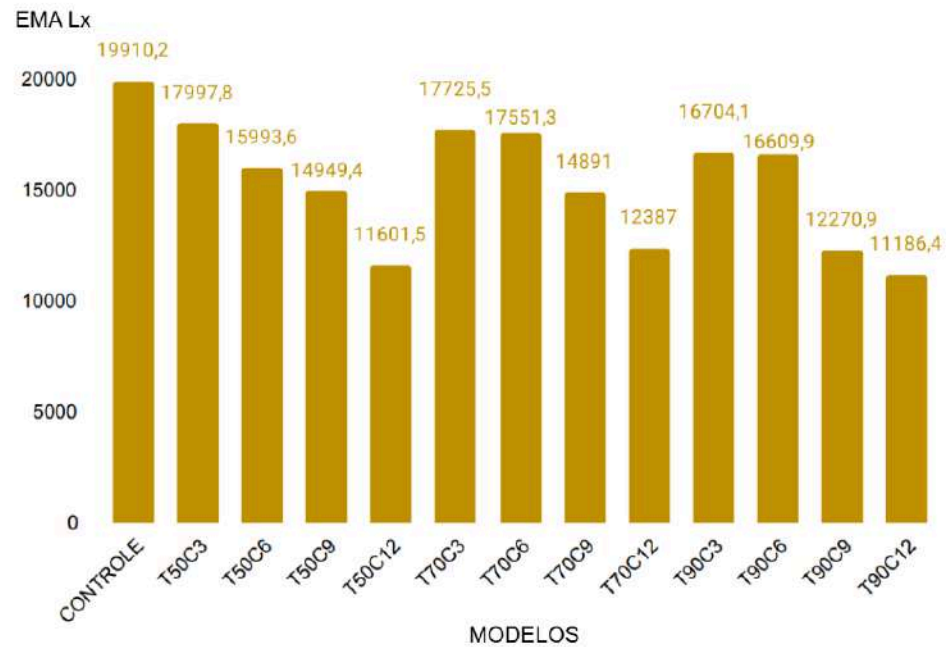
Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 11- Iluminância Média por Radiação Direta no verão



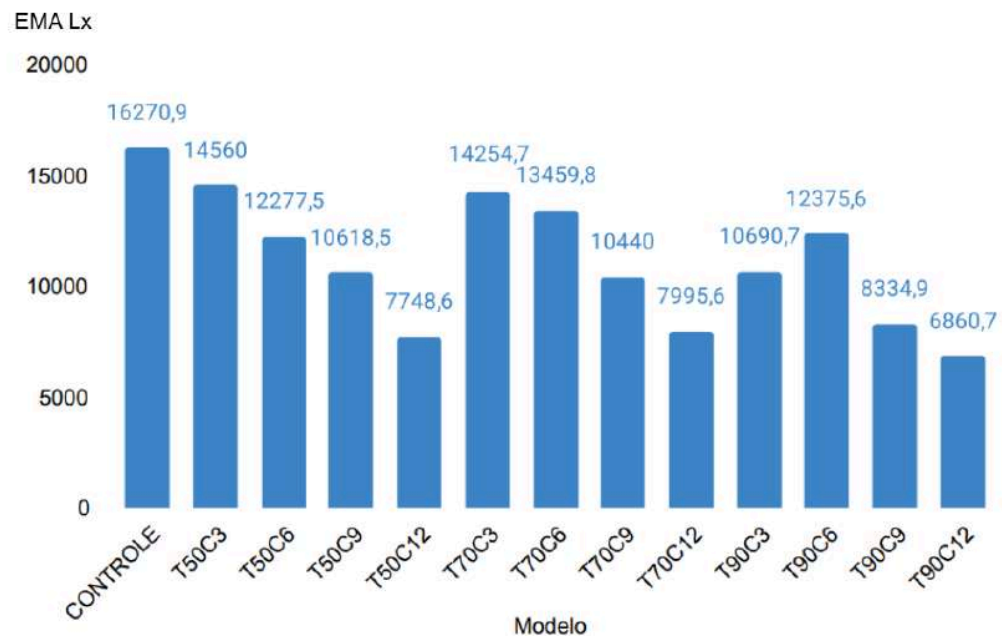
Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 12- Iluminância Média por Radiação Direta no outono



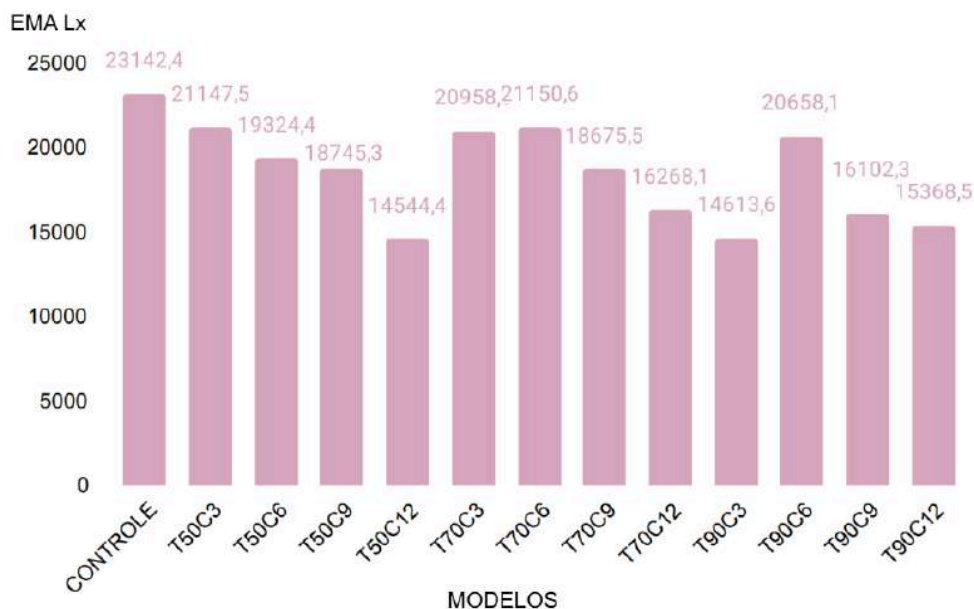
Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 13- Iluminância Média por Radiação Direta no inverno



Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 14- Iluminância Média por Radiação Direta na primavera



Fonte: Elaborado pela autora.

Em todas as estações, o modelo CONTROLE apresentou os maiores valores de iluminância média, enquanto os modelos urbanizados registraram reduções em diferentes intensidades, evidenciando que a inserção de edificações no entorno interfere na disponibilidade de luz natural incidente sobre a residência analisada durante todo o ano. Entretanto, nota-se que a magnitude dessa redução varia conforme a combinação entre taxa de ocupação e coeficiente de aproveitamento, indicando que a configuração urbana exerce influência direta sobre o acesso solar.

No verão, estação caracterizada pela maior altura solar, foram observados os maiores valores de iluminância entre todas as análises sazonais (Gráficos 7 e 8). O modelo CONTROLE apresentou iluminância média de 48.130,8 lux, enquanto os modelos urbanizados apresentaram reduções em diferentes proporções. Nos cenários com taxa de ocupação de 50%, observa-se uma diminuição gradual da iluminância à medida que o coeficiente de aproveitamento aumenta, passando de 43.979 lux no modelo T50C3 para 39.587,3 lux em T50C6 e 29.192,8 lux em T50C12. Tendência semelhante foi identificada para as demais taxas de ocupação, indicando que o aumento do potencial construtivo favorece a formação de maiores obstruções à incidência da radiação solar.

Durante o outono, observa-se comportamento semelhante ao verificado no verão, porém com redução geral dos valores de iluminância em decorrência da diminuição da altura solar (Gráficos 9 e 10). O modelo CONTROLE registrou iluminância média de 43.135 lux, mantendo o maior

desempenho entre os cenários analisados, enquanto os modelos urbanizados apresentaram reduções proporcionais à configuração morfológica adotada. Novamente, verifica-se tendência de diminuição da iluminância conforme o aumento do coeficiente de aproveitamento dentro de uma mesma taxa de ocupação.

No inverno, período em que a trajetória aparente do Sol apresenta menores alturas, observam-se os menores valores de iluminância entre todas as estações analisadas (Gráficos 11 e 12). Nessa condição, os efeitos provocados pelas obstruções urbanas tornam-se mais evidentes, uma vez que as sombras projetadas pelas edificações passam a atingir áreas mais extensas. O modelo CONTROLE apresentou iluminância média de 37.501,9 lux, enquanto os demais cenários registraram reduções expressivas, principalmente aqueles associados a maiores coeficientes de aproveitamento. Essa situação pode ser explicada pelo aumento da nebulosidade local durante o inverno, já que Aracaju/SE é uma cidade localizada na zona bioclimática 8, com tendência a invernos chuvosos (ABNT, 2024).

Na primavera observa-se aumento dos valores de iluminância em relação ao inverno, aproximando-se dos resultados obtidos para o verão. O modelo CONTROLE apresentou iluminância média de 48.422,1 lux, enquanto os modelos urbanizados mantiveram comportamento semelhante ao observado nas demais análises sazonais.

Os cenários que apresentaram melhor desempenho nas análises anual, de verão e outono permaneceram apresentando maiores níveis de iluminância na primavera, enquanto os modelos mais críticos continuaram registrando os menores valores. Esse comportamento demonstra que a influência da configuração urbana sobre o acesso solar mantém-se relativamente constante ao longo das diferentes épocas do ano.

Comparando-se as quatro estações, observa-se que o verão apresentou os maiores níveis de iluminância para praticamente todos os modelos simulados, enquanto o inverno registrou os menores valores médios, evidenciando maior sensibilidade da iluminação natural às obstruções provocadas pelas edificações nesse período. Por sua vez, primavera e outono apresentaram comportamento intermediário, aproximando-se dos resultados observados para o verão.

O modelo com melhor desempenho foi o CONTROLE, com TO de 50% e CA de 1, o qual atingiu 44265,1 lux, 42% a mais que o modelo com menor desempenho (T50C12), que atingiu 25782,8 lux. Além disso, ao duplicar o CA a iluminância sobre o plano de estudo reduz em cerca de 10% (40141,3 lux para 35443,9 lux no caso do T50C3 para o T50C6) e 30% quando esse parâmetro é quadruplicado (de 40141,3 para 25782,8 no caso do T50C3 para o T50C9).

Essa tendência se repete em todos os modelos, comprovando que o aumento do CA desencadeou o aumento do sombreamento nos modelos estudados. Observou-se também que o aumento da taxa de ocupação levou a variações sutis, de cerca de 2%, quando se compara os modelos T50C3 (40141,3 lux) , T70C3 (39800,7 lux) e T90C3 (39629,3 lux), por exemplo.

Nesse sentido, um direcionamento interessante para políticas urbanas futuras seria trabalhar com uma paisagem urbana variada, com taxas de ocupação maiores e coeficientes de aproveitamento limitados. Os modelos C3 e C6 , que representam edifícios com 3 e 6 pavimentos, seriam a tipologia mais indicada, já que levaram a dados satisfatórios com relação ao acesso solar. Além disso, essa tipologia coincide com um meio urbano baseado na escala urbana e que permite vigilância constante.

Alguns ideais elaborados pelos estudos correlatos puderam ser observados, como a influência da densidade urbana na determinação do acesso à radiação solar, discutido por Scalco, Pereira e Rigatti (2010). Entretanto, os achados desta pesquisa divergem dos achados de Galvira *et al.* (2013), que apontam a diferença de altura entre as edificações como um parâmetro de baixa influência sobre a morfologia urbana. Na presente pesquisa, observou-se que o aumento do coeficiente de aproveitamento, diretamente relacionado à verticalização das edificações, foi o parâmetro que exerceu maior influência na redução do acesso solar da residência analisada.

Da mesma forma, as conclusões alcançadas diferem do estudo realizado por Martins *et al.* (2014), em que os autores identificaram o afastamento entre as edificações como parâmetro morfológico urbano de maior impacto sobre o potencial de geração fotovoltaica. Embora os afastamentos também influenciem na disponibilidade de radiação solar, os modelos analisados nesta pesquisa indicam que o aumento do coeficiente de aproveitamento produziu efeitos mais expressivos sobre a redução da iluminância e da incidência de radiação solar, evidenciando maior influência da verticalização sobre o desempenho solar da edificação estudada.

Nesse sentido, evidencia-se que uma análise isolada dos parâmetros urbanísticos não é suficiente para compreender seus impactos sobre o acesso solar. A configuração espacial resultante da combinação entre taxa de ocupação e coeficiente de aproveitamento mostrou-se determinante para o desempenho observado, reforçando a importância de considerar conjuntamente esses parâmetros durante a definição dos índices urbanísticos, de modo a favorecer melhores condições de iluminação natural no ambiente urbano.

Por fim, é demonstrado que as diferentes combinações entre taxa de ocupação e coeficiente de aproveitamento influenciam significativamente o acesso solar, tanto em relação aos níveis médios de

iluminância quanto à distribuição espacial da radiação solar e ao tempo de incidência de sol direto. Essa constatação torna-se particularmente relevante no contexto da Zona de Adensamento Preferencial 4 (ZAP4) de Aracaju/SE, onde a legislação urbanística vigente possibilita o aumento do potencial construtivo mediante o pagamento da Outorga Onerosa do Direito de Construir.

Considerando a tendência de intensificação da verticalização nessas áreas, o adensamento urbano, quando não acompanhado de critérios relacionados ao acesso solar, pode comprometer progressivamente a disponibilidade de radiação solar sobre as edificações vizinhas. Nesse sentido, os achados desta pesquisa reforçam a importância de incorporar avaliações de desempenho ambiental no processo de definição e revisão dos índices urbanísticos, de modo que o incentivo ao adensamento urbano seja compatibilizado com a preservação da qualidade ambiental e das condições de insolação no ambiente construído.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo analisar a influência dos parâmetros urbanísticos de taxa de ocupação e coeficiente de aproveitamento sobre o acesso solar em um contexto genérico localizado na ZAP4 de Aracaju/SE. Para isso, foram elaborados modelos tridimensionais representando distintas combinações desses parâmetros, os quais foram submetidos a simulações computacionais de iluminância global anual, iluminância sazonal e incidência de radiação solar direta.

Os resultados obtidos demonstraram que a implantação de edificações no entorno promove redução do acesso solar, sendo observadas diferenças significativas entre os cenários analisados. De modo geral, verificou-se uma tendência de redução da iluminância e da incidência de radiação solar direta em modelos associados a maiores coeficientes de aproveitamento.

O modelo CONTROLE se destacou como o de melhor desempenho, representativo de uma com TO de 50% e CA de 1, o qual atingiu 44265,1 lux, 42% a mais que o modelo com menor desempenho (T50C12), que atingiu 25782,8 lux. Observou-se ainda que o aumento do CA reduziu significativamente a iluminância sobre o plano de estudo. Ao dobrar esse parâmetro, houve uma redução de aproximadamente 10% (de 40.141,3 para 35.443,9 lux, do T50C3 para o T50C6), enquanto sua quadruplicação resultou em uma redução de cerca de 30% (de 40.141,3 para 25.782,8 lux, do T50C3 para o T50C12).

Por outro lado, o aumento da taxa de ocupação provocou apenas pequenas variações, em torno de 2%, como nos modelos T50C3 (40.141,3 lux), T70C3 (39.800,7 lux) e T90C3 (39.629,3 lux). Assim, um possível direcionamento para futuras políticas urbanas seria priorizar maiores taxas de ocupação associadas a coeficientes de aproveitamento mais baixos. Nesse contexto, os modelos C3 e C6, correspondentes a edifícios de três e seis pavimentos, mostraram-se as alternativas mais adequadas por manterem bons níveis de acesso solar e favorecerem uma paisagem urbana mais próxima da escala humana.

A análise sazonal demonstrou que esse comportamento se manteve ao longo de todo o ano, embora com intensidades distintas em função da posição aparente do Sol. O verão apresentou os maiores níveis de iluminância, enquanto o inverno registrou as condições mais críticas de acesso solar, evidenciando que os efeitos do sombreamento urbano tornam-se mais expressivos durante os períodos de menor altura solar. Ainda assim, a hierarquia de desempenho entre os modelos permaneceu praticamente constante em todas as estações analisadas, indicando que os cenários mais favoráveis e mais restritivos ao acesso solar mantiveram esse comportamento independentemente da época do ano.

As conclusões alcançadas reforçam as ideias dos trabalhos correlatos sobre a importância da morfologia urbana na disponibilidade de radiação solar e o papel da densidade urbana como elemento determinante para a qualidade ambiental das cidades. Por outro lado, a pesquisa apresentou dados diferentes daqueles encontrados por Galvira *et al.* (2013), ao indicar que as configurações urbanas associadas a maiores coeficientes de aproveitamento exerceram influência mais expressiva sobre a redução do acesso solar da residência analisada.

Da mesma forma, diferiu dos achados de Martins *et al.* (2014), que identificaram os afastamentos entre edificações como o principal parâmetro relacionado ao potencial fotovoltaico. Tais diferenças evidenciam que o impacto dos parâmetros urbanísticos pode variar conforme a configuração urbana estudada, a metodologia empregada e os indicadores analisados, reforçando a necessidade de avaliações específicas para cada contexto.

Nesse sentido, considera-se que os objetivos propostos foram alcançados, uma vez que foi possível analisar o comportamento do acesso solar para a ZAP4 em Aracaju/SE, frente a diferentes combinações entre taxa de ocupação e coeficiente de aproveitamento, identificando tendências e limitações decorrentes da forma urbana produzida por esses parâmetros. Os resultados obtidos contribuem para ampliar a discussão sobre a incorporação de critérios relacionados ao acesso solar no planejamento urbano, demonstrando que a definição dos índices urbanísticos deve considerar não apenas o potencial construtivo permitido, mas também seus impactos sobre a qualidade ambiental das áreas consolidadas.

Como limitações da pesquisa, destaca-se que as simulações foram realizadas para um único contexto urbano e para uma tipologia residencial específica, não sendo possível generalizar os resultados para todas as configurações urbanas, para diferentes angulações e para a totalidade da envoltória. Além disso, outros fatores que influenciam o acesso solar, como orientação das vias, largura do sistema viário, características topográficas e diferentes tipologias edilícias, não foram contemplados nesta pesquisa.

Recomenda-se que estudos futuros ampliem a análise para diferentes contextos urbanos, tipologias construtivas e instrumentos urbanísticos, bem como investiguem, de forma integrada, indicadores relacionados ao conforto térmico, desempenho energético das edificações e ao potencial de geração fotovoltaica. A incorporação dessas variáveis poderá contribuir para o desenvolvimento de diretrizes urbanísticas que conciliem o adensamento das cidades com a preservação de condições adequadas de acesso solar, promovendo ambientes urbanos mais eficientes, sustentáveis e resilientes.

Por fim, fica claro que as diferentes combinações entre taxa de ocupação e coeficiente de aproveitamento influenciam significativamente o acesso solar da residência analisada, tanto em relação aos níveis de iluminância quanto à distribuição espacial da radiação solar e à incidência de sol direto. Considerando que a ZAP4 de Aracaju/SE apresenta tendência de intensificação da verticalização, favorecida pela possibilidade de ampliação do potencial construtivo por meio da Outorga Onerosa do Direito de Construir, a pesquisa realizada evidencia a importância de incorporar critérios relacionados ao acesso solar na definição e revisão dos parâmetros urbanísticos, de modo a compatibilizar o adensamento urbano com a qualidade ambiental do ambiente construído.

REFERÊNCIAS

- ABSOLAR. **Relatório: energia solar no Brasil**. 2025. Disponível em: [ABSOLAR](https://www.absolar.org.br/mercado/energia-solar-fv/?utm_source=chatgpt.com). Acesso em: 19 maio 2026.
- ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. SIGA. **Sistema de Informações de Geração da ANEEL**. SCE. Superintendência de Concessões, Permissões e Autorizações dos Serviços de Energia Elétrica. Disponível em: https://encurtador.com.br/aqOVW. Acesso em: 28 fev. 2026.
- ARACAJU. **Lei nº 13, de 3 de junho de 1966**. Institui o Código de Obras de Aracaju. Aracaju, 1966.
- ARACAJU. **Lei nº 19, de 10 de junho de 1966**. Estabelece o Código de Urbanismo do Município de Aracaju. Aracaju, 1966.
- ARACAJU. **Lei Orgânica do Município de Aracaju**. Aracaju, 1990.
- ARACAJU. **Lei Complementar nº 42**, de 4 de outubro de 2000. Institui o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Aracaju, cria o Sistema de Planejamento e Gestão Urbana e dá outras providências. Aracaju, 2000.
- ARACAJU. **Relatório do CONDURB: estatística**. Aracaju, 2005.
- ARACAJU. **Projeto de Lei Complementar nº 06**, de 2010. Dispõe sobre o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Aracaju. Aracaju, 2010.
- ARACAJU. **Anteprojeto de revisão do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano da cidade de Aracaju**. Aracaju, 2021. Disponível em: [Prefeitura de Aracaju](https://www.aracaju.se.gov.br/pddu/arquivos/Minuta_Revisao_Plano_Diretor_de_Developimento_de_Aracaju.pdf?utm_source=chatgpt.com). Acesso em: 19 maio 2026.
- ASSIS, E. Sad. **Impactos da forma urbana na mudança climática: método para previsão do comportamento térmico e melhoria de desempenho do ambiente urbano**. 2000. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo. 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220-3:2024: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático por desempenho**. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.
- BASTIAN, A. V. A influência dos parâmetros urbanos de Salvador na geração de energia solar fotovoltaica das edificações. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2024.
- BELO HORIZONTE. **Lei Orgânica do Município de Belo Horizonte**. Belo Horizonte, 2005.
- BIRCK, M. B.; AMORIM, C. N. D. Condicionantes solares como princípio orientador da forma urbana: estudo de caso contextualizado no Distrito Federal. **Ambiente Construído**. Porto Alegre. v. 20, n. 3, p. 591-609, jul./set. 2020. DOI:

<https://doi.org/10.1590/s1678-86212020000300447>.

BOTELHO, I. D. *et al.* Influência da morfologia urbana no potencial solar da envoltória de edifícios nZEB. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024. **Anais [...]**. Porto Alegre. ANTAC. 2024. p. 1-17. DOI: <https://doi.org/10.46421/entac.v20i1.6318>. Disponível em: [ANTAC ENTAC 2024](<https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/6318>). Acesso em: 3 fev. 2026.

BRASIL. **Lei nº 10.257**, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2001.

BRASIL. **Estatuto da Cidade: guia para implementação pelos municípios e cidadãos**. 2. ed. Brasília, DF: Câmara dos Deputados, 2001.

BRASIL. **Lei nº 10.438**, de 26 de abril de 2002. Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária e cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA). Brasília, DF: Presidência da República, 2002.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº 482**, de 17 de abril de 2012. Brasília, DF: ANEEL, 2012.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº 687**, de 24 de novembro de 2015. Dispõe sobre o Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Brasília, DF: ANEEL, 2015. Disponível em: [ANEEL Resolução 687](https://microinversor.com.br/resolucao-normativa-687-aneel/?srsltid=AfmBOooLHZwNMM13X3zuODqcQ7J8yAwcctHcepGROuT2faRYocElw15x&v=dc634e207282&utm_source=chatgpt.com) . Acesso em: 19 maio 2026.

BRASIL. **Lei nº 14.300**, de 6 de janeiro de 2022. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis nº 10.848, de 15 de março de 2004, e nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2022. Disponível em: [Planalto Lei 14300](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/114300.htm?utm_source=chatgpt.com). Acesso em: 19 maio 2026.

BRASIL. **Lei nº 14.300**, de 6 de janeiro de 2022. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis nºs 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 7 jan. 2022.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Portaria nº 140**, de 21 de março de 2022. Aprova o Regulamento Técnico da Qualidade e os Requisitos de Avaliação da Conformidade para Equipamentos de Geração, Condicionamento e Armazenamento de Energia Elétrica em Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro: INMETRO, 2022.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Portaria nº 513**, de 11 de

dezembro de 2023. Aprova o Regulamento Técnico da Qualidade e os Requisitos de Avaliação da Conformidade para Equipamentos de Geração, Condicionamento e Armazenamento de Energia Elétrica em Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro: INMETRO, 2023.

CABÚS, R. C.; RIBEIRO, P. V. S.; BASTOS, O. M. K.; SILVA, Luís F. **TropLux 8**. Titulares: Universidade Federal de Alagoas; Instituto Lumeeiro. Registro BR512020002087-9, 6 out. 2020.

CARVALHO, F. S.; LAGE, E. G. S. Método de análise e dimensionamento do sistema fotovoltaico on-grid. **Technology Science**, Tocantins, v. 1, n. 2, p. 24-36, 2019. DOI: [\[https://doi.org/10.6008/CBPC2674-6425.2019.002.0004\]](https://doi.org/10.6008/CBPC2674-6425.2019.002.0004)(<https://doi.org/10.6008/CBPC2674-6425.2019.002.0004>).

CIE - COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE - CIE DS 011.2/E:2002. **Spatial distribution of daylight** - CIE standard general sky. Viena: CIE, 2002.

COMERC ENERGIA. **Geração distribuída compartilhada: como funciona e quais as vantagens**. 2021. Disponível em: [Comerc Energia](https://comerc.com.br?utm_source=chatgpt.com). Acesso em: 19 maio 2026.

DIDONÉ, E. L.; WAGNER, A.; PEREIRA, F. O. R. Avaliação da influência do contexto urbano na radiação solar para geração de energia. urbe. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 9, p. 408-424, 2017. DOI: [\[https://doi.org/10.1590/2175-3369.009.SUPL1.AO012\]](https://doi.org/10.1590/2175-3369.009.SUPL1.AO012)(<https://doi.org/10.1590/2175-3369.009.SUPL1.AO012>).

DI VINCENZO, M. C; KESTEN, D; INFELD, D. Assessment of performance of building shading devices with integrated photovoltaics in different urban scenarios. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE ENERGY TECHNOLOGIES, 2010. **Anais [...]**. [S. l.]: IEEE, 2010. p. 1-6. DOI: [\[https://doi.org/10.1109/ICSET.2010.5684450\]](https://doi.org/10.1109/ICSET.2010.5684450)(<https://doi.org/10.1109/ICSET.2010.5684450>).

ESPOSITO, A. S; FUCHS, P. G. Desenvolvimento tecnológico e inserção da energia solar no Brasil. **Revista do BNDES**, Rio de Janeiro, n. 40, p. 85-114, dez. 2013.

FIGUEIRA, F. F. **Dimensionamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede para alimentar a sala de computação da Escola Municipal Tenente Antônio João**. 2014. Projeto de Graduação. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

FONTANA, A. *et al.* A influência do sombreamento na microgeração distribuída fotovoltaica na área central da cidade de Chapecó-SC. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15., 2019. **Anais [...]**. [S. l.], 2019. p. 426-434. Disponível em: [ENCAC 2019](https://eventos.antac.org.br/index.php/encac/article/view/3913?utm_source=chatgpt.com). Acesso em: 16 maio 2025.

FRANÇA, S. L. A. **O longo e interminável processo da revisão do Plano Diretor de Aracaju: doze anos à espera de uma nova lei**. Aracaju, 2017. Disponível em: [Blog do Max](https://blogdomax.net/noticias/artigo-o-longo-e-interminavel-processo-da-revisao-do-plano-diretor-de-aracaju-doze-anos-a-espera-de-uma-nova-lei?utm_source=chatgpt.com). Acesso em: 19 maio 2026.

FRANÇA, S. L. A. **Vetores da expansão urbana: Estado e mercado na produção da habitação**

em Aracaju-SE. 1. ed. São Cristóvão: Editora UFS, 2019.

FRANÇA, S. L. A.; MELO, C. C. S. 20 anos do Estatuto da Cidade e as tentativas de revisão do Plano Diretor de Aracaju/SE: perdas ou ganhos na Outorga Onerosa do Direito de Construir? **Revista Brasileira de Direito Urbanístico**, Belo Horizonte, ano 8, n. 15, p. 139-163, jul./dez. 2022.

Disponível em: [Observatório das Metrópoles](https://www.observatoriodasmetrolopes.net.br/wp-content/uploads/2023/03/REVISTA-BRASILEIRA-DE-DIREITO-URBANISTICO.pdf?utm_source=chatgpt.com). Acesso em: 19 maio 2026.

GENTIL, C. D. A. **A contribuição dos elementos da forma urbana na construção da mobilidade sustentável. 2015.** Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

GIROTTI, C.; MARINS, K. R. 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. DOI:

<https://doi.org/10.1590/s1678-86212019000400340>.

GOVERNO DE SERGIPE. **SergipeTec conclui primeira etapa da usina de energia solar 100% renovável. 2024.** Disponível em: [Governo de

Sergipe](https://www.se.gov.br/noticias/governo/sergipetec_conclui_primeira_etapa_da_usina_de_energia_solar_100_renovavel?utm_source=chatgpt.com#:~:text=O%20Sergipe%20Parque%20Tecnol%C3%B3gico%20%28SergipeTec,kwh/m%C3%AAs%20de%20energia%20limpa). Acesso em: 19 maio 2026.

HARGREAVES, A. *et al.* Forecasting how residential urban form affects the regional carbon savings and costs of retrofitting and decentralized energy supply. **Applied Energy**, v. 186, p. 549-561, 2017.

HOPPE, S. B.; ALVAREZ, C. E.; LARANJA, A. C. **Iluminação natural e legislação urbana: A experiência de Domingos Martins – Es (Brasil).** In: Euro-ELECS – Latin-American and European Conference on Sustainable Buildings and Communities, 2015, Guimarães. Proceedings [...]. 2015.

HUI, S. C. M. Low energy building design in high density urban cities. **Renewable Energy**, v. 24, n. 3-4, p. 627-640, 2001.

IEA. **PVPS annual report.** Paris: International Energy Agency, 2006.

IEA. **PVPS annual report.** Paris: International Energy Agency, 2007.

KANTERS, J.; HORVAT, M. Solar energy as a design parameter in urban planning. **Energy Procedia**, v. 30, p. 1143-1152, 2012. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.11.127>.

KÄMPF, J. H; ROBINSON, D. Optimisation of urban energy demand using an evolutionary algorithm. In: INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE, 11., 2009, Glasgow. **Anais [...]**. Glasgow: IBPSA, 2009. p. 668-673.

KNOWLES, R. L. **Sun rhythm form.** Cambridge: MIT Press, 1981.

KNOWLES, R. L. The solar envelope: its meaning for energy and buildings. **Energy and Buildings**, v. 35, n. 1, p. 15-25, 2003.

MAIA, A. L. A.; BLASQUES, L. C. M.; MONTEIRO, M. M. M. Analysis of urban morphology to generation of photovoltaic energy in Belém-PA. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 7, n. 1, p. 12124-01-11, 2021. DOI: [\[https://doi.org/10.18540/jcecvl7iss1pp12124-01-11e\]](https://doi.org/10.18540/jcecvl7iss1pp12124-01-11e)(<https://doi.org/10.18540/jcecvl7iss1pp12124-01-11e>).

MANHAS, Max Paulo Giacheto. **Difusa ou especular? Estudando o desempenho da prateleira de luz segundo a refletância de sua superfície**. 2016. 106 f. Dissertação (Mestrado em Dinâmicas do Espaço Habitado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2016.

MARTINS, T.; ADOLPHE, L.; BASTOS, L. From solar constraints to urban design opportunities: optimization of built form typologies in a Brazilian tropical city. **Energy and Buildings**, v. 76, p. 43-56, 2014.

MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanco Energético Nacional 2023**. Brasília, DF: MME, 2023.

MOHAJERI, N. *et al.* Effects of urban compactness on solar energy potential. **Renewable Energy**, v. 93, p. 469-482, 2016. DOI: [\[https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.02.053\]](https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.02.053)(<https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.02.053>).

MONTAVON, M. **Optimisation of urban form by the evaluation of the solar potential**. 2010. Dissertação (Mestrado) – Faculté Environnement Naturel, Architectural et Construit, Suíça, 2010.

PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Mudanças climáticas e cidades**. Rio de Janeiro: PBM, 2016. Disponível em: [\[PBM\]\(http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos/Relatorio_UM_v10-2017-1.pdf?utm_source=chatgpt.com\)](http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos/Relatorio_UM_v10-2017-1.pdf?utm_source=chatgpt.com). Acesso em: 6 jun. 2025.

PARKER, P. Residential solar photovoltaic market stimulation: Japanese and Australian lessons for Canada. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 12, n. 7, 2008.

PÉREZ, D. R. C. **O envelope solar e o direito ao sol**. 2007. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

PEREZ, D. R. C. **Diretrizes solares para o planejamento urbano: o envelope solar como critério para adensamento e verticalização**. 2013. 255 f. Tese (Doutorado em Arquitetura, Tecnologia e Cidade) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

PEREZ, R; SEALS, R; MICHALSKY, J. All-Weather Model for Sky Luminance Distribution—Preliminary Configuration and Validation. **Solar Energy**, 50(3), pp. 235-245. (1993). [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(93\)90017-I](https://doi.org/10.1016/0038-092X(93)90017-I)

PORTO ALEGRE. **Lei Complementar nº 730**, de 10 de janeiro de 2014. Atualiza o Programa de Incentivos ao Uso de Energia Solar nas Edificações. Porto Alegre, 2014.

RIBEIRO, P. V. S. **A malha de pontos de simulação e o cálculo das métricas de avaliação do desempenho da luz natural: estudo e proposta de distribuições não uniformes**. 265 f. 2021. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação Dinâmicas do Espaço Habitado, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2020.

RÜTHER, R. **Fontes alternativas de energia**. In: MONTENEGRO, A. D. A. (org.). Fontes alternativas de energia. Florianópolis: Fundação de Ensino e Engenharia de Santa Catarina, 2000.

SANAIEIAN, H. *et al.* Review of the impact of urban block form on thermal performance, solar access and ventilation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 38, p. 551-560, 2014. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.06.007[https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.06.007].

SANTOS, I. P. D. **Integração de painéis solares fotovoltaicos em edificações residenciais e sua contribuição em um alimentador de energia de zona urbana mista**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

SANTOS, R. S. Q. **Entre idas e vindas da legislação urbana: reflexos na verticalização em Aracaju/SE**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Sergipe, Laranjeiras, 2022.

SCALCO, V. A.; PEREIRA, F. O. R.; RIGATTI, D. Impacto de novas edificações na vizinhança: proposta de método para a análise das condições de iluminação natural e de insolação. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 171-187, abr./jun. 2010.

SERGIPETEC. **Energia solar em Sergipe: uma análise dos dados do estado**. 2024. Disponível em: [SergipeTec](https://sergipetec.org.br/wp-content/uploads/2024/09/5-Energia-Solar-em-Sergipe.pdf?utm_source=chatgpt.com). Acesso em: 19 maio 2026.

SILVA, V. A. M. **Influência da cobertura do céu na estimativa da radiação solar utilizando modelo digital de elevação**. 2011. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2011.

VILLALVA, M. G. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. 2. ed. rev. e atual. São Paulo: Érica, 2015.

VILELA, J.; ASSIS, E. S. Envelopes solares: perspectiva para garantir a apropriação da energia solar no meio urbano. In: FÓRUM HABITAR, 4., 2017. **Anais [...]**. [S. l.], 2017.

WALTON, D. *et al.* **Urban Design Compendium**. London: English Partnerships; The Housing Corporation, 2007.

WENZEL, B. **What electricity from renewable energies costs**. Berlin. Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, 2007.

ZAMBARDA, L. B. *et al.* Impacto do adensamento na geração distribuída fotovoltaica de residências unifamiliares em centros urbanos por perda do acesso solar: o exemplo da área urbana de transição em Chapecó-SC. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2020. p. 1-8. DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v18i.781[https://doi.org/10.46421/entac.v18i.781]. Disponível em: [ENTAC 2020](https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/781?utm_source=chatgpt.com). Acesso em: 16 maio 2026.