

**Instrumento de verificação de conformidade do código urbanístico
baseado em dados geoespaciais para licenciamento de construções**

Luccas Zambom Maselli

Mestre em Engenharia Urbana, UFSCar

maselliluccas@gmail.com

Prof. Dr. Érico Masiero

Professor Doutor, UFSCar, Brasil

erico@ufscar.br

ABSTRACT

The licensing process of real estate developments is regulated by technical standards and legislations. The compliance verification against such regulations, and their reference parameters, is a complicated task. Automating this process, using computational resources, can make it more efficient. The addition of geospatial data in urban code compliance checking can incorporate new methods into territorial planning. Thus, this paper aims to develop a computational geospatial tool to assist in the city of São Carlos' building licensing process, adopting the code compliance checking method. A GIS plugin was developed for this purpose, where, based on vectorial data, the tool performs a parameter verification based on the Municipal Master Plan reference values. This tool brings public benefits as it can reduce the licensing process time and ensure sustainability and transparency. Moreover, using geospatial data enables a plethora of new urban analyses based on the same inputs of the developed tool, evolving to new government processes models.

Keywords: Code Compliance Checking. Geographic Information System. Real Estate Licensing. Urban Planning

1 INTRODUCTION

O processo de licenciamento de um projeto de construção é guiado por uma série de normas, como parâmetros legais e recomendações de desempenho ambiental. A verificação da conformidade com esses regulamentos é uma tarefa complexa e é praticada principalmente em muitos governos (BEACH; REZGUI; KASIN, 2015). Em muitos casos, os métodos digitais podem oferecer vantagens sobre os convencionais (HÄUSSLER; ESSER; BORRMANN, 2020). Além disso, a implementação de ferramentas computacionais e automatizadas permite ao governo repensar os processos tradicionais e articular de forma sustentável a demanda por recursos (OJO; DZHUSUPOVA; CURRY, 2016). Nesse contexto, as tecnologias digitais podem ser a base para a evolução dos modelos de governança, tornando suas operações e processos mais transparentes, participativos e democráticos (SILVA E FERNANDES, 2020).

A verificação automatizada de conformidade é uma área de pesquisa que visa fornecer suporte computacional na verificação da conformidade de projetos de construção com os padrões urbanos e de construção aplicáveis de maneira econômica e em tempo (İLAL; GÜNEYDİN, 2017). Dentre as ferramentas computacionais disponíveis, destacam-se os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), devido à ampla gama de operações espaciais e numéricas sobre objetos geográficos. Além disso, pode operar com dados tabulares, permitindo a incorporação de novas técnicas e métodos ao planejamento urbano (NAKATA-OSAKI; SOUZA; RODRIGUES, 2018).

Muitos sistemas de verificação de conformidade de código são desenvolvidos usando uma base de Modelo de Informação de Construção (BIM), como a verificação de regras de design de interiores de edifícios (SYDORA; STROULIA, 2020) e pesquisas destinadas a abordar problemas comuns, como baixa disponibilidade e acessibilidade de dados essenciais (SOLIHIN et al., 2020).

Porém, enquanto os modelos BIM representam uma rica fonte de informações no âmbito do projeto, os modelos GIS podem fornecer suporte adequado para o planejamento da cidade, usando dados geoespaciais com base nos princípios de localização, condições, tendências e padrões (LIU et al., 2017).

Projetos FLOSS (Free/Libre/Open-Source Software) são frequentemente usados para trabalho colaborativo, envolvendo múltiplas instituições com diferentes interesses e organizações. Seu sucesso, que se sobrepõe às metodologias ágeis, reforça o potencial de aplicação de suas práticas em cenários colaborativos. As metodologias FLOSS podem levar a uma

grande colaboração, especialmente em governos e academia (WEN et al., 2020). Esse tipo de parceria é parte essencial do desenvolvimento de ferramentas geoespaciais pela academia para uso do governo.

Este trabalho tem como objetivo desenvolver uma ferramenta computacional que auxilie no processo de licenciamento de edificações. Para fazer isso, uma ferramenta geoespacial é desenvolvida com base no conceito de verificação automatizada de conformidade de código.

O município de São Carlos, no estado de São Paulo, Brasil, é adotado como área de estudo. Os parâmetros urbanísticos apresentados no Plano Diretor de São Carlos (2018) são usados como referência para o processo de verificação de conformidade do código.

Este artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta a fundamentação teórica sobre os assuntos abordados neste artigo; A seção 3 apresenta a metodologia proposta, incluindo a revisão da lei e os estudos de casos; os resultados são apresentados na Seção 4 e as discussões são realizadas na Seção 5. Finalmente, a Seção 6 resume as conclusões deste artigo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

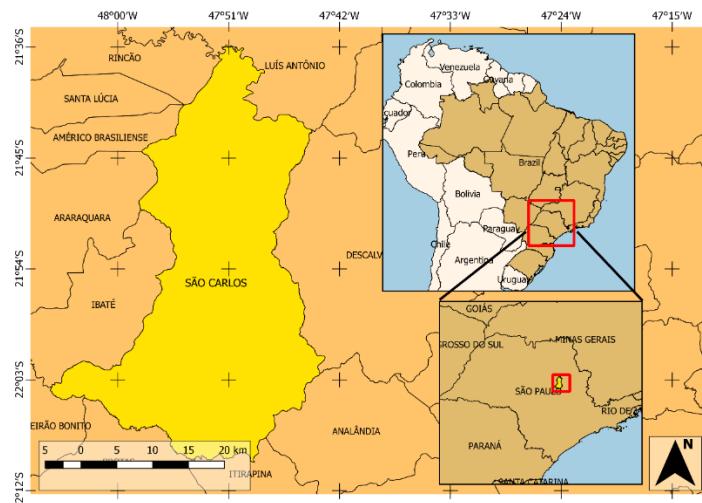
Esta seção apresenta algumas abordagens sobre a área de estudo e uma revisão sobre a verificação de conformidade do código e suas aplicações.

2.1 Área de estudo

A cidade de São Carlos (Figura 1) está localizada no estado de São Paulo (BRASIL). Possui uma área de 1.136.907 km² (IBGE, 2011) e uma população de 244.036 habitantes em 2021 (SEADE, 2021). Além disso, segundo a SEADE, o grau de urbanização do município é de 96%.

Conforme elucidado por Stanganini e Lollo (2018), a área urbana de São Carlos passou por um crescimento rápido e desordenado nas últimas décadas. Este fato se deve, em grande parte, à valorização imobiliária de áreas específicas, aumentando os problemas ambientais devido à falta de planejamento.

Figure 1 – Study area location



Source: IBGE, (2011)

Ao tratar das leis que regem o ambiente urbano no município estudado, o principal instrumento se dá pela última versão do Plano Diretor de São Carlos de 2018 (São Carlos, 2018). Dentre os instrumentos urbanísticos, o Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV – Estudo de Impacto de Vizinhança) é um documento que deve ser elaborado pelos empreendimentos imobiliários que impactam significativamente o meio ambiente ou a infraestrutura. Deve informar previamente sobre os efeitos e impactos na qualidade de vida decorrentes da implantação do empreendimento e democratizar o processo de licenciamento urbanístico e ambiental. O EIV pode ser uma ferramenta eficaz na compilação de dados do projeto e no relato dos impactos na qualidade de vida da população residente no entorno da área de influência do empreendimento.

2.2 Ferramentas de verificação de conformidade de código existentes

Até o momento, não houve adoção de verificação automatizada de conformidade como parte dos processos governamentais oficiais de licenciamento imobiliário, exceto em Cingapura, que implementou um sistema automatizado. No entanto, isso foi descontinuado (BEACH; HIPPOLYTE; REZGUI, 2020). Esse sistema, denominado CORENET (CONSTRUCTION AND REAL ESTATE NETWORK), comprehende subsistemas que visam o compartilhamento de informações entre as partes envolvidas em um projeto imobiliário (NARAYANSWAMY; LIU; AL-HUSSEIN, 2019).

O projeto CORENET é a primeira produção de verificação de conformidade de código de construção, que foi iniciada em 1995. No início, o sistema era baseado em desenhos bidimensionais, mas posteriormente, os dados *Industry Foundation Class* (IFC) começaram a ser usados. O projeto CORENET desenvolveu uma plataforma chamada FORNAX para coletar as informações necessárias do código de construção (İLAL; GÜNEYDİN, 2017).

Entre as pesquisas acadêmicas sobre ferramentas de verificação de código, Melzner et al. (2013) implementou uma plataforma automatizada de detecção e proteção de risco de queda baseada em BIM. A ferramenta usa modelos de projeto IFC para detectar rotinas e recomenda equipamentos de proteção de segurança com base em conjuntos de regras predefinidos. O sistema pode ajudar os gerentes de construção a entender e planejar a prevenção de possíveis riscos de queda. Os autores destacam que se tal projeto fosse realizado manualmente, demandaria mais tempo, mão de obra e, consequentemente, mais capital do que uma ferramenta computacional operada por um único profissional.

Hussnain et al. (2016) desenvolveram um sistema de apoio ao planejamento para economizar tempo e custos na aprovação de projetos habitacionais privados em dois territórios no Paquistão (Punjab e Islamabad Capital Territory). Esta pesquisa foi motivada para identificar, nas áreas de estudo, a demanda por moradia, a ocorrência de loteamentos particulares irregulares e a morosidade do processo de licenciamento (em média 13 meses). Os autores afirmam que esse processo, feito manualmente e por meio de documentos em papel, era subjetivo e pouco transparente. Para isso, foi proposto um sistema com o objetivo de reduzir o tempo e o custo envolvidos na análise de documentos para licenciamento habitacional.

Ao integrar rotinas computacionais ao processo de aprovação, ferramentas de código aberto podem tornar esse objetivo mais confiável. Permite adaptações, modificações e desenvolvimento de novas versões, visando o aprimoramento e reproduzibilidade da proposta para outros locais. Este sistema baseou-se em ferramentas de código aberto e geoespaciais, que

foram integradas através de equações relacionadas com o tipo de projeto, área, localização, acesso à rede viária, entre outros parâmetros. Os autores afirmam que o uso de tal ferramenta pode tornar o processo de licenciamento mais rápido, transparente e compreensível.

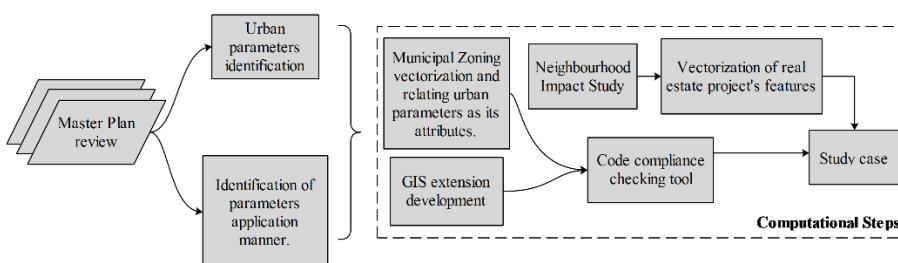
Nawari (2020) desenvolveu uma estrutura generalizada para reduzir as deficiências das abordagens atuais de verificação de conformidade com o código. Essas deficiências estão relacionadas a altos custos de manutenção e métodos pouco adaptáveis, que poderiam ser úteis apenas em aplicações específicas (NAWARI, 2019). O autor forneceu um esquema baseado em um padrão aberto para um modelo computável usado para expressar regulamentos e regras de construção, permitindo a informatização do processo de revisão de conformidade do código.

No entanto, como Hussnain et al. (2020) apontou, existem exemplos de sistemas de apoio ao planejamento desenvolvidos que não são bem divulgados, mesmo em nível local. Assim, os resultados das pesquisas citadas nesta seção permanecem no âmbito acadêmico. Os autores destacam a importância do acesso aberto a tais ferramentas, compartilhando-as para aplicações mais amplas.

3 MÉTODO

Devido à necessidade de uma ferramenta computacional que possa auxiliar o setor público no processo de licenciamento imobiliário, é proposta uma ferramenta geoespacial. Baseada em sistemas de informações geográficas (GIS), tal ferramenta é responsável por verificar a conformidade em projetos georreferenciados. Quanto à sua aplicação, foi desenvolvida na linguagem de programação Python e aplicada como plugin para a plataforma QGIS®, na versão 3.10.11. A Figura 2 apresenta o fluxograma da extensão GIS proposta para o método de verificação de conformidade com o código urbano.

Fig. 2. Fluxograma metodológico.



Primeiro, a legislação urbanística primária, o Plano Diretor da área de estudo (SÃO CARLOS/SP, 2018) – Brasil, foi revisado para identificar os parâmetros urbanísticos aplicáveis e como eles são aplicados aos empreendimentos imobiliários. Em seguida, o Zoneamento Municipal foi vetorizado para ser utilizado como base do plugin, indicando, de forma geoespacial, em que zona urbana o empreendimento está localizado e os parâmetros aplicáveis para aquela zona. A extensão do SIG foi então desenvolvida e, para validá-la, um projeto imobiliário foi vetorizado, com base em seu EIV, que contém as informações, parâmetros e valores do projeto das edificações. Além disso, como apenas o EIV aprovado pelo governo está disponível, foi criado um desenvolvimento hipotético para validar o comportamento do plug-in diante de não conformidades e zonas específicas do município.

3.1 Revisão do Plano Diretor

A partir da análise do Plano Diretor de São Carlos, SP, observam-se os critérios impostos pela municipalidade. Durante a revisão, os valores dos parâmetros foram identificados para integrá-los na ferramenta proposta. Ou seja, foram identificados os principais parâmetros para possibilitar a posterior alimentação do sistema proposto com os valores de referência para o município. Também foi identificada a forma de aplicação dos parâmetros para possibilitar o desenvolvimento de rotinas que garantam o cumprimento da legislação. Foi considerada a possibilidade de revisões da legislação ao longo dos anos, para que a ferramenta possa se adaptar rapidamente em caso de mudanças nos parâmetros de referência, atualizando o conjunto de parâmetros armazenados na tabela de atributos do vetor.

Os parâmetros urbanísticos encontrados ao longo do Plano Diretor de São Carlos (SÃO CARLOS, 2018) foram definidos como objeto de estudo. Portanto, os parâmetros utilizados na presente pesquisa são aqueles relacionados à ocupação do solo, que correspondem a:

1. Coeficiente de Ocupação do Solo (CO): proporção entre a área de projeção da edificação no terreno e a área de terreno do lote;
2. Coeficiente de Aproveitamento do Solo (CA): proporção entre a área construída e a área do terreno, que pode ser dividida em Coeficiente de Aproveitamento Básico (CAB) - a proporção entre a área construída e a área do terreno, sem necessidade de contrapartida - e o Coeficiente de Aproveitamento Máximo (CAM) - fator pelo qual a área do lote deve ser multiplicada para se obter a área máxima de construção permitida neste mesmo lote, mediante a aplicação de alguns instrumentos urbanísticos definidos no Plano Diretor de São Carlos (Outorga Onerosa do Direito de construir ou Direitos de Desenvolvimento Transferíveis);
3. Coeficiente de Permeabilidade (CP): razão entre a área permeável e a área do terreno;
4. Coeficiente de Cobertura Vegetal (CCV): razão entre a área coberta por vegetação arbórea ou arbustiva de uma determinada propriedade e sua área total.

Além dos referidos coeficientes urbanísticos, o Plano Diretor também estabelece limites para a Área Mínima do Lote e para a Extensão Mínima da Frente. Todos os parâmetros e seus respectivos valores estão dispostos nos trechos que compõem o Capítulo II (do zoneamento municipal) do Título II (do ordenamento territorial) do Plano Diretor de São Carlos (SÃO CARLOS, 2018). Cada seção do capítulo é responsável por descrever a zona, declarar os objetivos, listar os coeficientes urbanos e seus valores e apontar os instrumentos de política urbana aplicáveis.

Embora os parâmetros urbanísticos utilizados na presente pesquisa sejam do Plano Diretor de São Carlos, a legislação complementar precisa ser consultada para identificar as áreas não computáveis para cálculo do CO e CA. Para isso, foi consultado o Código de Edificações – Lei nº 15.958, de 29 de dezembro de 2011 (SÃO CARLOS, 2011). De acordo com tal legislação, as áreas não computáveis são:

1. Garagens, estacionamento de veículos e respectivas vias de circulação e manobras;
2. Reservatórios, estrutura hidráulica e casa de máquinas;
3. Piscinas;
4. Repetições de escadas, elevadores de poço, dutos e poços.

Uma vez compreendido e mapeado o processo de licenciamento, levantados os valores de referência e os parâmetros legais, o desenvolvimento da ferramenta torna-se mais assertivo.

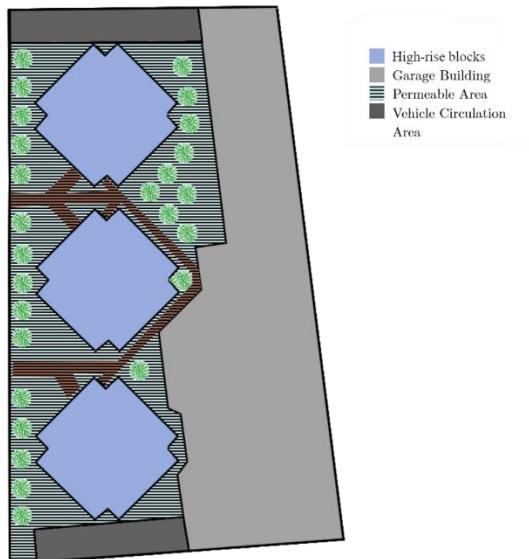
3.2 Objeto de Estudo

Para validar a eficácia da ferramenta, ela foi aplicada a um estudo de caso no município de São Carlos, simulando os procedimentos de verificação de requisitos no processo de licenciamento. Para isso, foi selecionado o Projeto do empreendimento Parque dos Girassóis (Figura 3).

Este empreendimento é um projeto de habitação social, inserido no programa brasileiro Minha Casa, Minha Vida, responsável por promover melhores condições de financiamento imobiliário. Este empreendimento, implantado em uma área de 6.113,72 m², está localizado na Zona 2 (Ocupação Induzida), conforme Plano Diretor de São Carlos (2018).

O empreendimento Parque dos Girassóis conta com três blocos altos, cada um com 142 apartamentos, distribuídos em 17 pavimentos, e um pavimento superior para atividades de lazer. Possui ainda um edifício garagem com quatro pisos. Segundo o EIV, o projeto em questão é uma alternativa habitacional, pois a cidade de São Carlos atende com bastante rapidez as demandas por moradia. Pode-se observar que a ocupação da terra não representa conflitos potenciais com o uso da terra (ou seja, perda de produção e empregos no setor agrícola).

Fig. 1. Empreendimento Parque dos Girassóis apresentado no EIV



Fonte: Parque dos Girassóis (2020)

Foi considerado um desenvolvimento hipotético para avaliar a ferramenta através de não conformidades do projeto e locais específicos. Para isso, tal projeto foi vetorizado na zona do Eixo Estruturante e submetido à verificação paramétrica. Esta zona, por ser determinada por algumas das principais vias urbanas do município, engloba mais de uma das outras zonas. Assim, ao identificar um lote que se encontra em duas zonas em simultâneo, a ferramenta dá preferência ao Eixo Estruturante, pois nos casos em que existe sobreposição, uma das zonas tem de ser o Eixo Estruturante. Além disso, o desenvolvimento hipotético foi orientado para forçar a existência de não conformidades. Portanto, em termos das variáveis primárias, o plugin mede a magnitude do desacordo com a legislação.

3.3 Extensão SIG

Fórum Ambiental da Alta Paulista

ISSN 1980-0827 – Volume 19, número 3, 2023

A ferramenta proposta foi desenvolvida para a plataforma QGIS®, versão 3.10.11, utilizando seus recursos e extensões para criação de plugins. Primeiramente, foi instalado o plugin chamado “Plugin Builder”, responsável por criar todos os arquivos necessários e a estrutura básica para a criação de um plugin QGIS®. Esta extensão cria uma pasta contendo todos os arquivos essenciais necessários para o funcionamento do programa.

Em seguida, sua interface gráfica foi desenvolvida através da ferramenta “Qt Designer”, que também acompanha o pacote QGIS®. Para isso, o arquivo com a extensão “.ui”, criado pelo Plugin Builder, foi então aberto e modificado pelo Qt Designer. Tal ferramenta disponibiliza múltiplas opções de widgets que podem compor a interface do plugin a ser criada de acordo com as funções e operações desejadas.

Ao montar a interface desejada para o plugin, foi necessário desenvolver as rotinas da linguagem Python. Para isso, o arquivo “.py”, que contém toda a estrutura Python do plugin, deve ser modificado. A ferramenta foi desenvolvida com base no vetor Zoneamento de São Carlos e sua tabela de atributos. Estes dados vectoriais serviram de referência para verificar em que zona se situa o empreendimento e verificar o cumprimento dos parâmetros de referência definidos para essa zona.

O projeto imobiliário, criado em estrutura GeoPackage, deve conter as características necessárias para cada parte do projeto, como polígono para o lote, linha para a fachada, polígono para a edificação, polígono para a área permeável, etc. conforme descrito na Tabela 1. Embora existam dois elementos não obrigatórios (permeável e área de cobertura vegetal), os demais representam componentes que todo empreendimento imobiliário deve ter em seu projeto, mesmo que algumas zonas não indiquem parâmetros para tais elementos obrigatórios.

Das duas estruturas principais (zoneamento e projeto imobiliário), o plugin requer que o usuário indique as características associadas a cada estrutura. O plugin também permite que o usuário marque possíveis casos restritivos, como habitação social, habitação unifamiliar ou uso misto. Os casos restritivos são importantes porque implicam valores de referência diferentes. Em seguida, a ferramenta deve recuperar os parâmetros corretos da tabela de atributos.

Tabela 1

Dados requeridos para a proposta de ferramenta SIG

Dataset	Type	Description
Land Lot		Polygonal vector representing de project's land lot.
Building Computable Area		Polygonal vector containing only the computable area of the building, according to applicable legislation.
Permeable Area		Polygonal vector of the project's permeable area. It is non-obligatory data
Vegetation Cover Area		Polygonal vector containing the area covered by vegetation. It is non-obligatory data.
Frontage		Line vector covering the project's frontage.
Municipality Zoning		Polygonal vector of the municipality zoning. It should contain all the parameters for each zone on the attributes table, where each zone can be represented by a line of the table.

Fonte: autores

Assim, a partir das rotinas do Python, o plugin verifica em que zona o projeto está recuperando os respectivos parâmetros de referência. Então, depois de calcular automaticamente a área e o comprimento de cada componente do projeto, a ferramenta calcula todos os parâmetros aplicáveis e os verifica de acordo com os valores de referência da zona. Por fim, gera um relatório, contendo as conformidades e, se for o caso, a magnitude das não conformidades. É fundamental referir que, embora a verificação seja feita ao nível do coeficiente urbanístico, as não conformidades são apresentadas ao nível das variáveis primárias (área ou comprimento). Assim, há um melhor entendimento das partes envolvidas no processo de licenciamento imobiliário, ou seja, poder público, setor privado e, principalmente, sociedade civil.

Esta ferramenta é interessante na hora de analisar os parâmetros de um arquivo muito utilizado em projetos: os arquivos vetoriais de projeto e os dados geoespaciais. Além disso, pode integrar o projeto imobiliário com outras informações geoespaciais, permitindo diversas análises urbanas considerando sua posição geográfica e as características de seu entorno.

4 RESULTADOS

Esta seção descreve os resultados obtidos para cada componente que compõe a ferramenta geoespacial. Este foi concebido para uso do setor público, permitindo a composição de um sistema imobiliário georreferenciado, possibilitando diversos estudos urbanísticos. O plugin desenvolvido comporta-se como uma ferramenta que pode auxiliar no processo de licenciamento habitacional e imobiliário, verificando a conformidade dos coeficientes de desenho urbano.

Os empreendimentos descritos na Seção 3.2 foram utilizados como estudos de caso, permitindo analisar o licenciamento de acordo com os parâmetros urbanísticos aplicáveis.

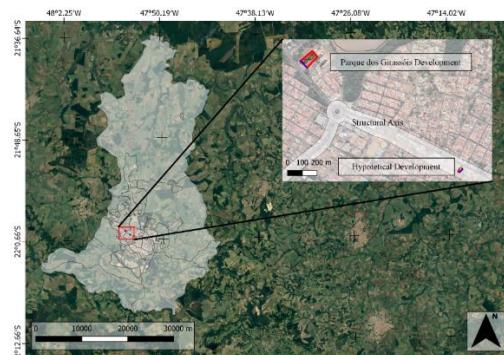
4.1 Dados Vetoriais

O zoneamento foi vetorizado (Figura 4). Ao analisar o zoneamento, observam-se zonas geograficamente separadas, mas com a mesma classificação (e consequentemente os mesmos parâmetros). Para tanto, foram utilizados polígonos multipartes, que associam polígonos separados espacialmente como uma única feição, de forma que apenas uma linha apareça na tabela de atributos. A tabela de atributos do vetor de zoneamento, contendo todos os parâmetros, pode ser conferida na Tabela 1.

Fórum Ambiental da Alta Paulista

ISSN 1980-0827 – Volume 19, número 3, 2023

Fig. 2. Zoneamento Votorizado de São Calos.



As partes componentes do projeto Parque dos Girassóis foram vitorizadas de acordo com o plano previsto em seu EIV. Para compor integralmente o projeto, o terreno, edifício, garagem e área permeável foram vitorizados como feições poligonais, além da feição linear para fachada. De acordo com a forma do bloco alto, as características do edifício foram replicadas para cada andar, permitindo o cálculo do CO, que considera toda a área construída.

Porém, para o correto cálculo dos coeficientes, cada andar da edificação foi vitorizado descontando das áreas não computáveis, conforme especificado no SNE do projeto, e regido pelo Código de Edificações, apresentado na Seção 3.1. A Figura 5 ilustra (a) uma representação 2,5D do loteamento, e (b) as características utilizadas no caso de estudo, com a característica do edifício descontada das áreas não computáveis.

Fig. 3. Desenvolvimento em SIG do Projeto Parque dos Girassóis

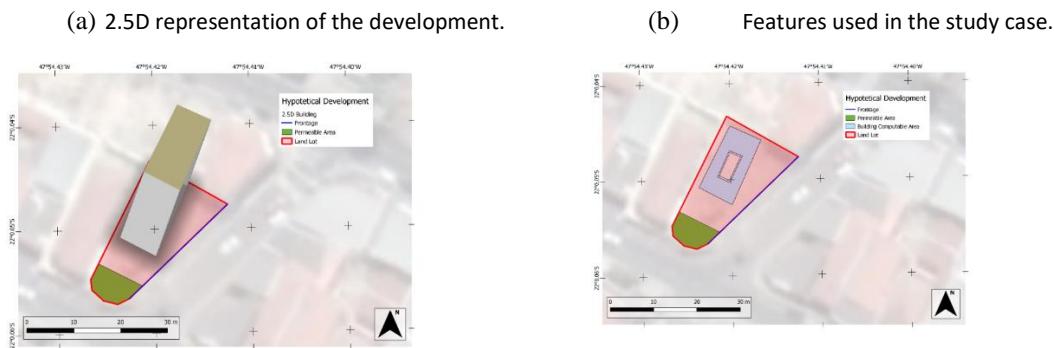


Da mesma forma, foi vitorizado um desenvolvimento hipotético sobre a zona do “Eixo Estrutural” para garantir o funcionamento da ferramenta em áreas com características mais específicas. Essa zona, por definição, se sobrepõe às demais, pois representa áreas delimitadas por vias de tráfego que contemplam mais de uma zona. Para fins demonstrativos, o edifício do projeto foi considerado como um bloco de 15 andares, obrigando a ferramenta a identificar não conformidades. Este projeto é ilustrado na Figura 6, onde, de forma semelhante às representações do empreendimento Parque dos Girassóis, a Figura 6(a) apresenta uma representação 2.5D do projeto, e a Figura 6 (b) ilustra as funcionalidades utilizadas para verificação automatizada de requisitos de desenvolvimento hipotético.

Fórum Ambiental da Alta Paulista

ISSN 1980-0827 – Volume 19, número 3, 2023

Fig. 4. Desenvolvimento hipotético do projeto.

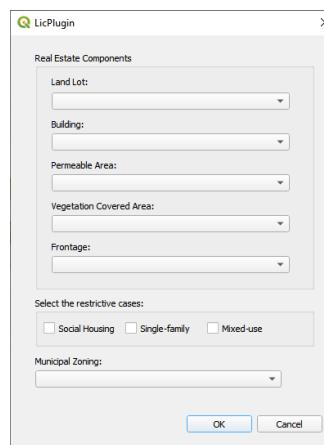


4.2 Ferramenta de conformidade com o código SIG

A interface do plugin desenvolvida em linguagem Python para a plataforma QGIS®, para verificação automática do atendimento do projeto aos parâmetros descritos no Plano Diretor de São Carlos, está ilustrada na Figura 7. Sua interface foi totalmente criada na ferramenta Qt Designer.

Os parâmetros Área Permeável e Área Coberta Vegetal têm a opção de não serem associados a nenhum arquivo vectorial, uma vez que nem todas as zonas e nem todos os projetos têm estas características. No entanto, o lote, a fachada e a edificação são os parâmetros básicos necessários para verificar o cumprimento do licenciamento imobiliário, com base nos parâmetros do Plano Diretor de São Carlos (2018).

Fig. 5. QGIS® interface da Ferramenta de conformidade com o código SIG



Após configurar os parâmetros do plugin, de acordo com as características do projeto, e selecionar o botão “Ok”, a ferramenta primeiro identifica em qual zona do município o terreno está localizado. Em seguida, é realizado o cálculo das áreas e comprimentos das feições para então computar cada coeficiente. Para o Coeficiente de Ocupação do Solo, a ferramenta realiza uma operação de junção para unir as características da edificação para calcular apenas a área de sua projeção no lote. Para o Coeficiente de Uso do Solo, a ferramenta calcula a área de cada feição e faz a soma delas para calcular a área total construída.

Após o cálculo de todos os coeficientes aplicáveis, o plugin recupera os dados da tabela de atributos associada à zona urbana do projeto, permitindo a etapa de verificação da

Fórum Ambiental da Alta Paulista

ISSN 1980-0827 – Volume 19, número 3, 2023

conformidade paramétrica. Ao final da verificação é gerado um relatório, mostrado ao usuário no Terminal Python do QGIS®. Para o caso do Projeto Parque dos Girassóis, o relatório é ilustrado na Figura 8.

Para verificar o funcionamento da zona “Eixo Estrutural” e o comportamento da ferramenta frente às não conformidades, foi realizado um estudo de caso a partir de um desenvolvimento hipotético (Figura 6). Para tanto, um projeto hipotético foi vetorizado no Eixo Estruturante e submetido à verificação paramétrica. Nesse caso, ao identificar um loteamento que incide sobre duas zonas, o plugin dá preferência ao Eixo Estruturante, pois em casos de sobreposição, uma das zonas é necessariamente o Eixo Estruturante. Além disso, o estudo de caso sobre o desenvolvimento hipotético foi orientado para forçar a existência de não conformidades. Em seguida, o plugin mede, em termos das variáveis primárias, a magnitude das não conformidades. O relatório gerado para o caso hipotético está ilustrado na Figura 9. A utilização de um projeto hipotético para verificação de não conformidades, ao invés de um projeto real, ocorreu porque os EIVs disponibilizados são apenas projetos aprovados, ou seja, seus projetos já foram adaptados aos valores dos parâmetros legais.

Fig. 6. Relatório de conformidade do código QGIS® para o empreendimento Parque dos Girassóis.

Fig. 7. Relatório da ferramenta de conformidade do código QGIS® para o desenvolvimento hipotético.

```

Python Console
1 Python Console
2 Use iface to access QGIS API interface or Type help(iface) for more info
3 Security warning: typing commands from an untrusted source can lead to data loss and/or leak
4
5 The development is located at the Zone 2 .
6
7
8 The parameter of Lot Area is in accordance.
9
10 The parameter SOC is in accordance upon Onerous Grant of the Right to Build or Transferable Development Rights.
11
12 The parameter SOC is accordance.
13
14 The parameter PC is in accordance.
15
16 The parameter Frontage length is in accordance.

>>>

```

```

Python Console
1 Python Console
2 Use iface to access QGIS API interface or Type help(iface) for more info
3 Security warning: typing commands from an untrusted source can lead to data loss and/or leak
4
5 The development is located at the Zone Structural Axis .
6
7
8 The parameter of Lot Area is in accordance.
9
10 The parameter SOC is NOT in accordance.
11
12 The difference is 970.28 m2.
13
14 The parameter SOC is in accordance.
15
16 The parameter PC is NOT in accordance.
17
18 The difference is 6.88 m2.
19
20 The parameter Frontage length is in accordance.

>>>

```

Desta forma, a ferramenta geoespacial permite que empreendimentos habitacionais e imobiliários sejam automaticamente avaliados pelos parâmetros urbanísticos incidentes para uma determinada zona urbana. Além disso, pode-se observar que o uso de arquivos vetoriais, por se revelar um recurso essencial na elaboração de projetos, permite o cálculo rápido e robusto dos parâmetros de uso do solo urbano e a verificação de sua conformidade.

A ferramenta proposta pode apresentar melhores resultados quando integrada aos processos governamentais, principalmente se utilizada como método oficial de licenciamento imobiliário, pois exigiria que os empreendimentos imobiliários desenvolvessem modelos geoespaciais. Assim, além da verificação dos parâmetros legais, outras formas de análise geoespacial seriam possíveis, constituindo um sistema completo e multianálise de apoio ao planejamento, especialmente para o setor público.

5 DISCUSSÕES

Ao desenvolver uma ferramenta a partir da abordagem FLOSS, a possibilidade de aplicação pública torna-se maior. Além disso, a cooperação entre a academia e o setor público pode ser promovida, pois metodologias baseadas em procedimentos cooperativos, em conjunto com desenvolvimentos de código aberto, a tornam viável (WEN et al., 2020).

De acordo com o estudo desenvolvido por Shahi, McCabe e Shahi (2019), o nível de sistema eletrônico mais completo para análise de empreendimentos imobiliários é dado pela integração entre GIS e BIM. Esta integração permitiria avaliar o edifício de acordo com o seu desenho, considerando o contexto urbano em que se insere.

As ferramentas que realizam a verificação de parâmetros em empreendimentos imobiliários são voltadas principalmente para o uso do BIM. Tal foco geralmente representa recursos caros e complexos, gerando uma lacuna na análise urbana de projetos e não aproveitando o potencial de integração de ferramentas computacionais ao ambiente urbano. Desta forma, uma ferramenta geoespacial desenvolvida para a plataforma QGIS® (que é gratuita) permite seu uso pela esfera governamental sem as restrições de licenças privadas. Eastman e outros (2011) destacam que a verificação manual e automática devem ser complementares.

O caso apresentado, onde o projeto se localiza no Eixo Estrutural, permite uma ampliação da metodologia, visto que é uma área que se sobrepõe às demais. Assim, podem ser modeladas as áreas de interesse especial, que são regiões específicas destinadas a determinados fins, que consequentemente se sobrepõem às zonas definidas para o município. Embora a ferramenta tenha sido aplicada ao município de São Carlos, vale ressaltar que ela pode ser adaptada para outros municípios desde que as especificidades encontradas sejam modeladas de acordo com a necessidade.

Os modelos SIG promovem um apoio eficiente ao planeamento urbano, utilizando recursos geoespaciais com base nos fundamentos da localização, padrões e tendências geoespaciais (LIU et al., 2017). Além disso, de acordo com (YAAKUP et al., 2007), a integração de modelos GIS com procedimentos governamentais permite aos usuários acompanhar projetos, criar bancos de dados, realizar análises de projetos, compartilhar dados e reduzir a recorrência de dados redundantes.

Ao utilizar dados vetoriais para avaliação de projetos, outras análises geoespaciais podem ser desenvolvidas para qualquer fase do projeto. Além disso, um sistema público integrado que utilize dados geoespaciais dos empreendimentos imobiliários do município pode gerar novas formas de planejamento urbano e gestão do ambiente construído. No entanto, o conceito de verificação de conformidade usando modelos GIS é pouco explorado, especialmente quando aplicado ao processo de licenciamento de empreendimentos imobiliários e habitacionais. Embora os estudos de caso tenham sido direcionados para empreendimentos habitacionais, a ferramenta pode ser aplicada a qualquer empreendimento imobiliário desde que os parâmetros também sejam aplicáveis a eles.

Possíveis trabalhos futuros podem ser desenvolvidos, buscando ampliar o escopo da ferramenta e sanar suas limitações. Pode ser ampliado em função das legislações consideradas. Um número maior de parâmetros legais pode ser incorporado ao escopo, integrando também o tipo de empreendimento, classificando-os conforme seu uso (comercial, industrial, residencial

Fórum Ambiental da Alta Paulista

ISSN 1980-0827 – Volume 19, número 3, 2023

ou misto). Além disso, é interessante integrar a ferramenta a um sistema mais amplo, compondo um banco de dados geoespacial público. Assim, a utilização de outros recursos do SIG permite ampliar o conhecimento sobre o ambiente construído e avaliar as consequências da implantação de um empreendimento imobiliário em seus terrenos adjacentes.

6 CONCLUSÃO

O programa desenvolvido revela-se de grande utilidade para os diversos intervenientes no processo de licenciamento de empreendimentos habitacionais e imobiliários. Como benefício público, uma ferramenta de conformidade com o código geoespacial que verifica os parâmetros urbanísticos dos empreendimentos imobiliários em relação aos valores de referência pode reduzir o atraso do licenciamento, além de garantir sustentabilidade e transparência. Além disso, os resultados gerados por tal ferramenta poderiam facilitar a prestação de contas à sociedade, tornando o processo de aprovação mais objetivo, transparente e com menor consumo de recursos. Ainda assim, a longo prazo, a redução do tempo de aprovação pode atender parte da demanda habitacional do município.

Ferramentas computacionais gratuitas e de código aberto, quando desenvolvidas visando aplicação pública, devem ser articuladas por meio de códigos abertos e plataformas livres. Portanto, permite que a ferramenta receba atualizações ou incorporações de novos métodos por meio de desenvolvimentos participativos, envolvendo a comunidade científica, poder público e sociedade civil. Ainda assim, o uso gratuito da ferramenta dispensa a contratação de licenças para uso de modelos específicos, evitando que o governo precise adquirir tais licenças privadas.

A presente pesquisa pode ser uma etapa inicial de desenvolvimento de sistemas integrados entre SIG e planejamento urbano visto que ainda é pouco explorado no âmbito acadêmico. A evolução dos recursos tecnológicos permite refletir sobre os processos tradicionais do setor público pelo potencial de torná-los mais eficientes. Além disso, a integração de ferramentas computacionais na esfera pública pode servir de base para novos paradigmas de modelos de governança, tornando suas operações e processos mais eficientes e democráticos.

Agradecimentos

O estudo foi financiado em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001.

REFERÊNCIAS

BEACH, T.H. REZGUI Y., LI, H., KASIM, T. A rule-based semantic approach for automated regulatory compliance in the construction sector, *Expert Syst. Appl.* 42 (12) (2015) 5219–5231, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.02.029>.

BEACH, T.H., HIPPOLYTE, J. L., REZGUI, Y. Towards the adoption of automated regulatory compliance checking in the built environment, *Automation in Construction* 118 (2020), 0926-5805, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103285>.

EASTMAN, C. **BIM Handbook:** a guide to building information for owners, managers, designers, engineers and contractors, New Jersey: John Wiley & Sons (2011).

Fórum Ambiental da Alta Paulista

ISSN 1980-0827 – Volume 19, número 3, 2023

HÄUSSLER, M., ESSER, S., BORRMANN, A. Code compliance checking of railway designs by iterating BIM, BPMN and DMN, **Automation in Construction** 121 (2021) 0926-5805,
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103427>.

HUSSAIN, M.Q., WAKIL, K., WAHEED, A. A planning support system to optimize approval of private housing development projects, IOP Conference Series: **Earth and Environmental Science** 37 (2016),
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/37/1/012050>.

HUSSAIN, M.Q., WAHEED, A., ANJUM, G.A., NAEEM, M.A. E. HUSSAIN, WAKIL, K., PETTIT, C. J. A framework to bridge digital planning tools' utilization gap in peri-urban spatial planning: lessons from Pakistan, **Computers, Environment and Urban Systems** 80 (2020), 0198-9715, <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbssys.2019.101451>.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, **Censo Demográfico** 2010, Rio de Janeiro (2011).

İLAL, S.M., GÜNEYDİN, H.M. Computer representation of building codes for automated compliance checking, **Automation in Construction** 82 (2017) 0926-5805,
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.06.018>.

LIU, X., WANG, X. WRIGHT, G., CHENG, J., LI, X., LIU, R. A state-of-the-art review on the integration of building information modeling (BIM) and geographic information system (GIS), **ISPRS International Journal of Geo-Information**, 6 (2) (2017), <https://doi.org/10.3390/ijgi6020053>.

MELZNER, J., ZHANG, TEIZER, S., BARGSTÄDT, J. H. J. A case study on automated safety compliance checking to assist fall protection design and planning in building information models, **Constr. Manage. Econ.**, 31 (6) (2013), pp. 661-674, <https://doi.org/10.1080/01446193.2013.780662>.

NAKATA-OSAKI, C.M., SOUZA, L.C.L., RODRIGUES, D. S. THIS–Tool for Heat Island Simulation: a GIS extension model to calculate urban heat island intensity based on urban geometry. **Comput. Environ. Urban. Syst.**, 67 (2018), pp. 157-168, <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbssys.2017.09.007>.

NARAYANSWAMY, H., LIU, H. AL-HUSSEIN, M. BIM-based Design Checking for Building Permit in the Light-Frame Building Industry, **Proceedings of 36th International Symposium on Automation and Robotics in Construction** (ISARC 2019), Banff, Canada (2019).

NAWARI, N. O. **A generalized adaptive framework for automating design review process**: Technical Principles, Advances in informatics and computing in civil and construction engineering (2019), https://doi.org/10.1007/978-3-030-00220-6_48.

NAWARI, N.O. Generalized adaptive framework for computerizing the building design review process, **J. Archit. Eng.** 26(1), (2020), [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)AE.1943-5568.0000382](https://doi.org/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000382).

OJO, A., DZHUSUPOVA, Z., CURRY, E. Exploring the Nature of the Smart Cities Research Landscape, In: Gil-Garcia J., Pardo T., Nam T. (eds) Smarter as the New Urban Agenda, **Public Administration and Information Technology** 11 (2016), https://doi.org/10.1007/978-3-319-17620-8_2.

SÃO CARLOS, **Law No 15.958, of December 29, 2011**, Dispõe sobre o Código de Obras e Edificações do Município de São Carlos, e dá outras providências. São Carlos (2011).

SÃO CARLOS, **Law No 18.053, of December 11, 2018**, Estabelece o Plano Diretor do Município de São Carlos, e dá outras providências. São Carlos (2018).

SEADE, Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados, Portal de Estatísticas do Estado de São Paulo (2021). Retrieved from <http://perfil.seade.gov.br/>.

Fórum Ambiental da Alta Paulista

ISSN 1980-0827 – Volume 19, número 3, 2023

SHABI, K., MCCABE, B.Y., SHAHI, A. Framework for automated model-based e-Permitting system for municipal jurisdictions, **J. Manag. Eng.** 35 (2019), [http://doi.org/10.1061/\(asce\)me.1943-5479.0000712](http://doi.org/10.1061/(asce)me.1943-5479.0000712).

SILVA, O., FERNANDES, R. A. S. Smart governance based on multipurpose territorial cadastre and geographic information system: An analysis of geoinformation, transparency and collaborative participation for Brazilian capitals, **Land Use Policy** 97 (2020), 0264-8377, <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104752>.

SOLIHIN, W., DIMYADI, J., LEE, Y.C., EASTMAN, C., AMOR, R. Simplified schema queries for supporting BIM-based rule-checking applications, **Automation in Construction** 117 (2020), 0926-5805, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103248>.

STANGANINI, F.N., LOLLO, J.A. O crescimento da área urbana da cidade de São Carlos/SP entre os anos de 2010 e 2015: o avanço da degradação Ambiental, **Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana** 10(1) (2018) <https://doi.org/10.1590/2175-3369.010.supl1.ao14>.

SYDORA, C., STROULIA, E. Rule-based compliance checking and generative design for building interiors using BIM, **Automation in Construction** 120 (2020), 0926-5805, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103368>.

WEN, M., SIQUEIRA, R., LAGO, N. D., CAMARINHA, A. TERCEIRO, KON, F., MEIRELLES, P. Leading successful government-academia collaborations using FLOSS and agile values, **Journal of Systems and Software** 164 (2020), 0164-1212, <https://doi.org/10.1016/j.jss.2020.110548>.

YAAKUP, A.B., JOHAR, F. M., CHE N., SULAIMAN, S. Computerised Planning Approval System for a Local Authority in Malaysia, **10th International Conference on Computerization in Urban Planning and Urban Management** (2007).