

The Use of 3D GIS Models for Spatial Analysis: A Case Study From the City of Fortaleza, Brazil

O Uso de Modelos SIG 3D Para Análise Espacial: Um Estudo de Caso da Cidade de Fortaleza, Brasil

In Fortaleza, the fifth most populous city in Brazil, the urban growth is occurring in a vertical scale with the incitement for densification in areas provided with infrastructure and urban services. The development of 3D GIS models that use GIS database associated with tridimensional territorial modeling emerge as an important computer tool to support urban planning. The main goal this research was to analyze through 3D GIS model the set of urban parameters which are currently practiced, and its impact considering the main local characteristics. As the research evolves, there might be verified the relevance of the investment in information communication which greatly favors not only the visualization by the many actor of the legal urban landscape, but also their effective participation in the decision making process concerning the landscape planning.

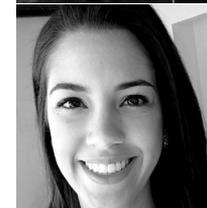
<http://disegnarecon.univaq.it>

Em Fortaleza, a quinta cidade mais populosa do Brasil, o crescimento urbano está ocorrendo em escala vertical com o estímulo ao adensamento em áreas providas de infraestrutura e serviços urbanos. O desenvolvimento de modelos 3D GIS que utilizam o banco de dados GIS associado à modelagem territorial tridimensional surge como uma importante ferramenta de apoio à gestão urbana. O objetivo principal desta pesquisa foi analisar, através do modelo 3D GIS, o conjunto de parâmetros urbanos atualmente praticados e seu impacto considerando as principais características locais. À medida que a pesquisa evolui, pode-se verificar a relevância do investimento em comunicação da informação que favorece não só a visualização pelos diversos atores da paisagem urbana legal, mas também sua participação efetiva no processo decisório referente ao planejamento da paisagem urbana.



Caroline Câmara Benevides

Graduated in Architecture and Urban Planning at Universidade de Fortaleza (UNIFOR), Public Server at local government in Fortaleza since 2005 and a PHD student at Technical Superior Institute - Lisbon University with a thesis entitled "The use of 3D GIS models to improve the planning and urban management process: the case study of Fortaleza-Brazil".



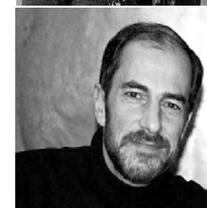
Suellen Roquete Ribeiro

Graduated from the Federal University of Minas Gerais with Bachelors in Architecture and Urban Planning. She has a Specialization Degree in Environmental GIS, from University of Brasília, and participation in some research programs at the Geoprocessing Laboratory in the School of Architecture, working with GIS applied to Urban Planning, 3D modeling, Parametric Modeling.



Ana Paula Falcão

Graduated in Geomatics Engineer (FCUL-UL), Master's Degree in Geographic Information System (IST-UL), Ph.D. in Territorial Engineering (IST-UL). She Assistant Professor at Instituto Superior Técnico, Univ. de Lisboa, working with a research group whose aim is to carry out fundamental and applied research in remote sensing, GIS and 3D GIS.



Jorge Baptista e Silva

Graduated in Civil Engineering at Instituto Superior Técnico (IST) of the University of Lisbon, Master in Urban and Regional Planning, PHD in Civil Engineering. Assistant Professor at IST and Senior Researcher at Centre of Urban and Regional Systems and has professional experience in Urban and Regional Planning, Evaluation and Monitoring.



Ana Clara Mourão Moura

Graduated in Architecture and Urban Planning, Specialization in Territorial and Urban Planning from PUC-MG and University of Bologna, Master in Geography from UFMG and PhD in Geography from UFRJ. Professor at UFMG, Department of Urban Planning, and coordinates Geoprocessing Laboratory in the School of Architecture.

Keywords:

Parametric Modeling, Urban Planning, 3D GIS, Landscape.

Palavras-chave:

Modelagem Paramétrica, Planejamento Urbano, SIG 3D, Paisagem Urbana.

1. INTRODUCTION

Urban landscapes shape the urban environment of our cities' daily life. Among other factors, they are a result of the combination of rules listed by the urban regulation of a city. In Brazil the rules that shape the built configuration of the environment are defined by the Master Plan and a law called Use and Occupation of Land (LUOS - Lei de Uso e Ocupação do Solo). Usually, they indicate, according to the zoning, a set of indexes and parameters for the occupation of land, considering the parcel scale.

Even for architects and urban planners, whose designs have to follow the zoning code, sometime these indexes are of difficult understanding and decoding (Zyngier, 2016). For the citizen in general, thus, it is indeed a huge challenge to judge the impacts of a set rules. The development of models that use GIS database associated with tridimensional territorial modeling, 3D GIS models, like the Parametric Modeling of Territorial Occupation (Moura, 2014), emerge as an important computer tool to support urban planning since it both includes the vertical dimension, and allows the comparison between existing and authorized scenarios through dynamic simulation of changes and decisions. 3D visualization has been a relevant support tool in the process of decoding urban regulations in order to favor the interpretation of the indexes and parameters.

This article presents a case study of the municipality of Fortaleza, in Brazil, aiming to analyze through 3D GIS model the set of urban parameters which are currently practiced, and its impact considering the main local characteristics, and to discuss the morphometric results of the urban regulations to the landscape considering the legally built environment, that is, the part of the city which goes through project approval. Fortaleza, the fifth most populous city in Brazil, is growing in a vertical scale as the city favors the densification of areas provided with urban infrastructure and services, through the definition of very permissive parameters. Thus, the urban landscape has been rapidly changing.

The use of 3D GIS models that both allow an interactive process between professionals, and inform citizens, should be considered a tool by the authorities of

Urban Planning. Therefore, the research explores the methodology of parametric modeling of the urban landscape, including 3D simulations, to expands the visualization of future landscapes and to support the process of decision-making by the various stakeholders of the urban context including citizens and planners.

The simulations were performed using ArcGIS and CityEngine, and were developed in association with the Laboratório de Geoprocessamento da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, which has been collaborating with many groups around Brazil to the development of comparative studies between the built landscape and the landscape authorized by urban parameters. The studies have the main goal of promoting a better understanding of the impact of these parameters defined by urban regulations such as Master Plans (Planos Diretores), and Use and Occupation Laws (Leis de Uso e Ocupação), and their role in the process of production of landscapes under high transformation.

Firstly, a rule was created to represent the existing scenario using the projection of the buildings which were classified by their size, and extruded creating a volume according to the number of the floors. Second, a new rule was created to simulate the volume that is authorized by the urban regulation, and from the definition of parameters to the respective zoning. There is also a third case rule that is in process of investigation, which analyses possibilities of real estate dynamics that incorporates lots according to dimension of its neighbors. For this case, the rule may simulate the possibilities of reaching a higher final volume through the sum of two or more lots.

So far, the study has pointed out the necessity of further investigations about the favoring conditions for expressive volumetric growth, from the perspective of the morphology of urban lots and the parameters defined by regulations. As the research evolves, such as the successful cases addressed by the literature, there might be verified the relevance of the investment in information communication which greatly favors not only the visualization by the many actor of the legal urban landscape, but also their effective participation in the decision making process concerning the landscape planning. In this way the research results may support the full development of the social functions of the city.

2. PARAMETRIC MODELING OF URBAN LANDSCAPE

3D modeling tools become more commonplace as urban planners begin to think in 3D to address ever-growing urban problems, particularly when dealing with the built environment (Ahmed & Sekar, 2014). The applications of 3D models of the city in urban planning studies vary in a long range, including shadow estimation for the determination of solar envelopes, green areas projects, visualization as a tool for communication of urban information to citizens (Biljecki et al, 2015).

Although 3D models and visualizations are considered more reliable than traditional representations, and lead to a superior understanding of spatial data, urban planners are reluctant to use 3D tools because of the complexity with regard to data integration and modeling, their costs, and the lack of appropriate skills available for incorporating 3D models into everyday planning processes (Ahmed, 2014). Manual 3D modeling is especially challenging for the simulation of urban scenarios. Due to complexity of an urban context, a 3D city model can be highly time consuming and require hard work. In this sense, the use of procedural parametric modeling offer an alternative to traditional manual 3D modeling.

Procedural parametric modeling uses algorithms to produce 3D models, using a framework defined by grammars and rules to compose the architectural configurations (Müller et al., 2006). Through an automated process, it turns the modeling of city environments more efficient. According to Grêt-Regamey et al. (2013) parametric procedural modeling approaches increases the power of city modeling as it enables a quick visualization, evaluation and interactive workflows of the complex city context, also, the interactive rules become especially powerful, when they can be used in a participatory process utilizing the expertise and knowledge of a broad range of stakeholders assessing their preferences for scenarios.

Parametric Modeling can also be used as a way to help citizen to understand the use of morphometric indexes or parameters in the composition of urban buildings forms. Moura (2014) argues that since zoning codes can't follow the rhythm of territorial

change, it is necessary that the occupation relies on new capabilities of simulation in a process called Parametric Modeling of Territorial Occupation (MPOT - Modelagem Paramétrica da Ocupação Territorial).

Moura (2015) states that the Brazilian urban landscape management is absolutely morphometric, and little understood by the citizen that are unaware of the decision-taking process. The Parametric Modeling is the use of geometric metrics and values in a way that when combined, they structure rules that represent the form of land occupation (Moura, 2016). It is composed by the application of geo-technologies for the visualization and decision-making about the maximum acceptable references for activities in the urban territory. The parameterization is based in the definition of maximum envelopes which define these references for the building's design and construction, according to the urban indexes and parameters for occupation.

The use parametric modeling allows the visualization of urban indexes and parameters through 3D simulation as it generates the possible results for the urban landscape from the combination of variables (Moura, 2016). This application represents a suitable approach considering the current context of the city of Fortaleza, in Brazil.

3. URBAN REGULATION CONTEXT IN BRAZIL

The Brazilian urban law establishes the obligation of the municipalities about the proper territorial planning ranging from the application of urban parameters to be satisfied by the landowners in the land parceling, use and occupation, to the institution of the urban instruments that reinforce the social function of the land such as the Onerous Grant of land change (ONALT - Outorga Onerosa do Direito do Direito de Alteração do Solo)[1], or time progressive property tax (Imposto Predial e Territorial Urbano progressivo no tempo).

The parceling of urban land consists of the subdivision of the land in legally independent units, or parcels. For public areas donated to the municipality, the final sum of total area is relative to the actual exact area of the parcel. Therefore, this process does not consider the densification planned

for the parcel by the indexes and parameters of urban regulation. On the other hand, the private parcels are lots of minimum area which have no construction, defined by the zoning code, in which the owner will define the final occupied area as long as it follows the urban regulation. After the land parceling implantation, there may be aggregation of lots, or parcels; that is, the grouping of lots for the creation of new lots larger ones.

In the current Brazilian context of the real estate dynamics, is common to replace existing building by new ones in the process of parcel aggregations, mainly for zones with urban infrastructure and services. Usually, these areas allow more intense densification through the definition of the Coefficient of Utilization (CA - Coeficiente de Aproveitamento), an index that indicates the total amount of construction that is allowed to be built. This practice of favoring densification is set by the Statute of the City (Estatuto das Cidades, Lei n.10.257 de 2001), as one of the objectives of the Brazilian urban policy (BRASIL, 2001).

In Fortaleza, the Participatory Master Plan (PDP - Plano Diretor Participativo) sets the urban parameters for each one of the zones that composes the city's territory. Besides the CA, the PDP also set other parameters, such as (a) the permeability index (TP - Taxa de Permeabilidade), which is a rate of the parcel that has to be permeable; (b) index of occupation (TO - Taxa de Ocupação), which is the rate of the parcel occupied by the projection of the building (ground floor); (c) height limit (H); (d) lot fraction (FL - Fração do Lote) restricts the number of units in a parcel; and (e) minimum dimensions of the lot. Parameters such as TP, TO, CA, and H associated with the setbacks, defined by the LUOS, are compose the physical form of land occupation in Fortaleza. The setbacks vary according to the activity, the built area, and the street classification in which the parcel is placed. Also, depending on the final height of the building, there may be increments to the setbacks accordingly. Therefore, the greater the number of floors is, the greater is the setback, which is applied to all the floors.

For activities classified as "Special Project", the PDP

of Fortaleza admits the application of the instrument called Onerous Grant of land change (ONALT), which allows to exceed the constructive limits of the parameters under a financial counterpart. One example of special project is the multi-family residential use with area over 10.000m². Through the use of the ONALT a building with a greater CA and shorter setbacks than the ones defined by the regulation, can still be approved. The special projects are assessed by the commission of evaluation of the PDP (CPPD - Comissão Permanente de Avaliação do Plano Diretor), which is responsible for projects' analysis and approval, according to the Participatory Master Plan.

4. THE STUDY AREA

In order to achieve the research main goal, the case study simulates through a 3D model an area of the city that is under a major process of occupation to visualize different scenarios as a support to the decision-making. Therefore, it was chosen an area of the Macro-zone of Urban Occupation (Macrozona de Ocupação Urbana) which would allow greater intensification of occupation, as much as an increased level of built density, according to the PDP of Fortaleza (Figure 1 and Figure 2).

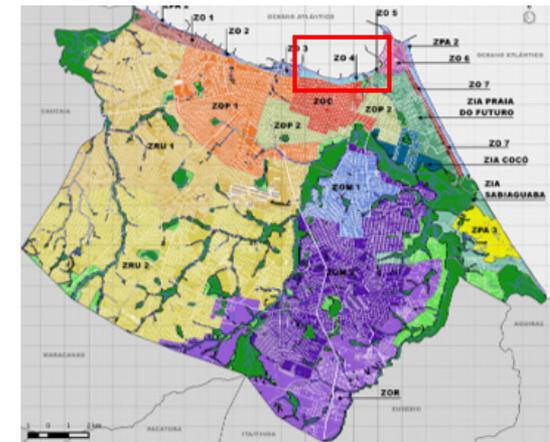


Figure 1 - Location of the study area in the Macro-zone of Urban Occupation.



Figure 2 - Study area.

The study area is placed in the beachfront zone ZO-4 (Zona de Orla – 4). Among other fifteen zones, ZO-4 is the one that presents the greater CA, even allowing an increase of this index for cases of hotel use. According to the PDP, ZO-4 is defined as an area next to the beachfront which due to soil characteristics, landscape aspects, touristic potential, and role in the urban structure, require specific parameters.

According to documents from SEUMA (Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente), responsible for Fortaleza's urban and environmental licensing, recently, there was the approval of a development in ZO-4 with twice the maximum CA (CA =6.0), with 40 floors, overcoming the height limit of 54 meters, as defined by the PDP. This approval is due to a favorable technical report from the CPPD based on the ONALT instrument. This instrument turns the ZO-4 even more vulnerable to real estate dynamics. Moreover, the approved development demolished an old hotel of more than 20 stories. There is the perspective of new even higher developments for the same area taking advantage of the same instrument.

4.1. URBAN PARAMETERS IN FORTALEZA

To parametrize the urban rules of Fortaleza using a 3D modeling software, it was necessary to better understand the practice of real estate market in Fortaleza considering the zoning code of the study area, its urban parameters for occupation, and uses. Therefore, the research reunited a collection of the building projects permits classifying its information according to the parcel's area, location, use, total built area of the project, and description of the urban parameters for each one of the developments.

The access to those information through the internal system of the city was authorized by SEUMA. According to the reports (Relatórios de Resultados de 2017 - Fortaleza), from 2015 to 2017 in Fortaleza, 661 building permits were issued through the traditional procedure (manual process), while online (automated) building permits, that started to be issued in 2016 for small activities, totaled 537 permits. The majority of the issued permits, 62% of the total, are for single-family residential use located

in zones with more household's units availability and lower infrastructure, such as Zonas de Ocupação Moderada and Zonas de Requalificação Urbana.

The multi-family residential use stands for 10% of the total, commerce (stores, business centers) are 6%, services such as hotels and offices are 5%, institutional activities (schools, hospitals) correspond to 1%, and about 16% are for other activities. Still according to the report, building permits for large developments with total area over 8.000,00 m², usually are located in areas with less availability of unit lots, such as the ZO-4, Zona de Ocupação Consolidada, and Zonas de Ocupação Preferencial. Thus, these developments only become feasible through the demolition of existing buildings.

All the documents of building permits approval are filed in the SEUMA system. The large developments were identified, and the relevant data were collected for the analysis of the practiced parameters for this building projects. Throughout the files, the research found that depending on the area of the parcels, the practiced urban parameters presented some patterns, defining the following 5 classes of occupation:

a) For the parcels of over 1.500m², most of the developments are intended for multi-family residential use. These developments reach the maximum CA of the zone, and number of floors, which is 24 floors or 72 meters high. For all of them, it was find that the ratio of CA by number of floors in about 10,86% of the total area of the parcel. Areas of common use aren't included. This value represents the practiced TO of all the developments. Therefore, the analysis demonstrates that the volume of the tower is directly related to the CA and the height of the building. Those indexes are not in the documents issued by SEUMA nor are a cited value in the urban laws although they can be relevant for densification studies.

b) For parcels between 1.000m² and 1.500m², the prevailing uses are multi-family residential and hotels. There was the same amount of building for both uses. Both also reach the maximum CA but they don't reach the maximum height, which varies from 17 to 20 floors. For this class of occupation, as the size of the terrains decreases there is a tendency for reduction of the tower height although the

maximum CA remains the same. Also, the maximum height is not reached because if so, the setbacks would have to be larger impacting on the floor area.

c) For parcels between 600 m² and 1.000 m², there is an increased number of building of hotel and commercial uses. Most of the developments presented a low CA and varied heights. Few developments reached the maximum CA and the amount of 16 floors. For these cases, the floor plan area is possibly lower than the requirement for multi-family residential use and large size hotel use.

d) For parcels lower than 600m², there are random activities such as small shopping centers, retail stores, provision of services, which do not exceed 3 floors and a reduced CA.

e) For special projects, there is already one approval and another one under analysis by SEUMA. For this class, there are no patterns of occupation; so that, through the use of OODC any other urban parameter may be used.

There is no register of building permits for single-family residential use in these zones in SEUMA system.

5. DEVELOPMENT - SCENARIOS AND 3D SIMULATIONS

Considering the context of Fortaleza, two approaches are presented for the 3D simulations. Firstly, a simulation to represent the study area with the maximum parameters allowed by the current urban law and considering the current division of parcels, and a second simulation of future possible scenarios considering possible aggregations of parcels of underutilized parcels. Both simulations were based on the 5 classes of occupation, and potential for construction currently allowed for the zone by the set of urban indexes and parameters. Underutilized parcels are the vacant parcels, or with units of multi-family residential use with up to 10 floors, besides single-family residential use, commercial use, and services with CA = 1,0.

The process of the procedural rule for the first 3D model is shown in Figure 3.

The second model simulates in a 10 years perspective, possible real estate market aggregations to increase the parcels' areas and enables higher towers. It attends to

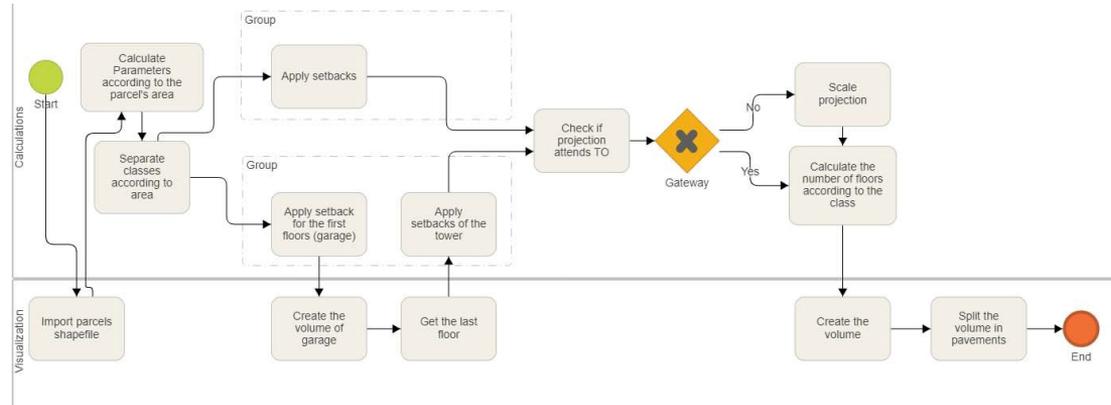


Figure 3 - Process diagram of procedural rule for maximum volumes.



Figure 4 - Areas for possible real estate market aggregation.

the following criteria:

- exclusion of public buildings and cultural buildings under heritage protection;
- identification of parcels with an area up to 1.000m² (as they do not reach the maximum utilization rate);

- identification of parcels with an area of over 1000m² that are underused;
- identification of units with hotel use that allows a CA of 6,0 and up to 40 floors;
- identification of hotel uses that have vacant or

underutilized neighbors.

After the identification of these terrains, they were grouped with "available" neighbors. The goal was to reach a larger area for the unit in order to set conditions for the multi-family residential and large size hotel uses. These terrains represent 38% of the area of the ZO-4 and are identified (Figure 4). The remaining area is considered consolidated as most of buildings have around 23 floors and present a low vulnerability to transformations for the next years. The process diagram of the procedural rule of this scenario is shown by Figure 5.

6. RESULTS AND DISCUSSION

The study of the parameters of land occupation in Fortaleza demonstrates that the maximum occupation, using the maximum values of indexes and parameters, are only possible for parcels of large areas (over 1.500m²). These units, represent most of the total units in the study area as we can see through figure 6, which identify these units in the simulation of the current scenario of the study area.

Also, parcels of over 1.500m² have a great potential for transformation due their possibility of reaching the

maximum level of occupation. Moura (2016) states that in the haste and the urge to make the most of what is authorized by law, the real estate market assumes the maximum volumes which are transposed directly into the architectural form.

The following pictures identify each one of the classes of occupation in the first scenario of the current division of parcels (Figure 6, Figure 7, Figure 8, Figure 9, Figure 10, Figure 11, Figure 12 and Figure 13).



Figure 6 - Parcels of an area over 1.500m² in the simulation of the existing buildings.

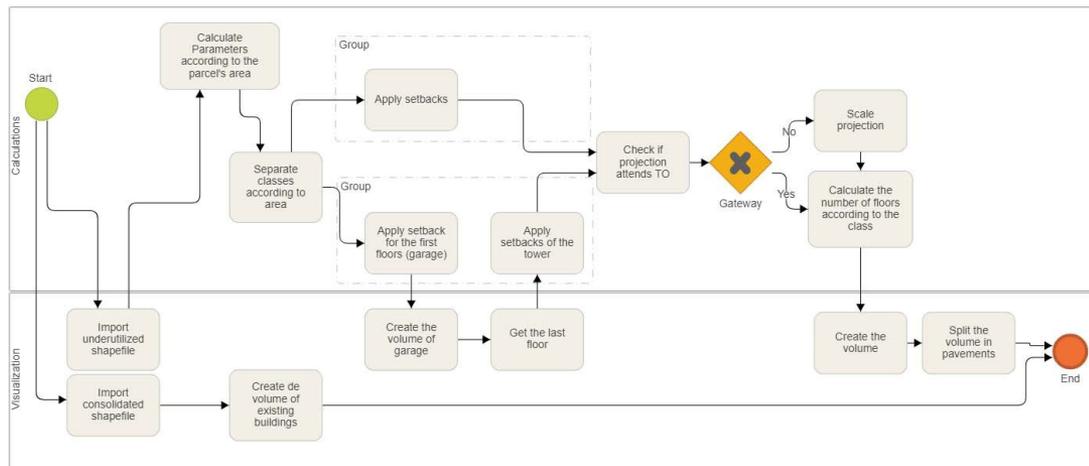


Figure 5 -Process diagram of procedural rule 5 classes of occupation.



Figure 7 - Building of maximum occupation, located in parcels of area over 1.500m².



Figure 8 - Buildings of high occupation, located in parcels of area between 1.000m² and 1.500m².



Figure 9 - Buildings of medium occupation, located in parcels of area between 600m² and 1.000m².



Figure 10 - Buildings of minimum occupation, located in parcels of area under 600m².

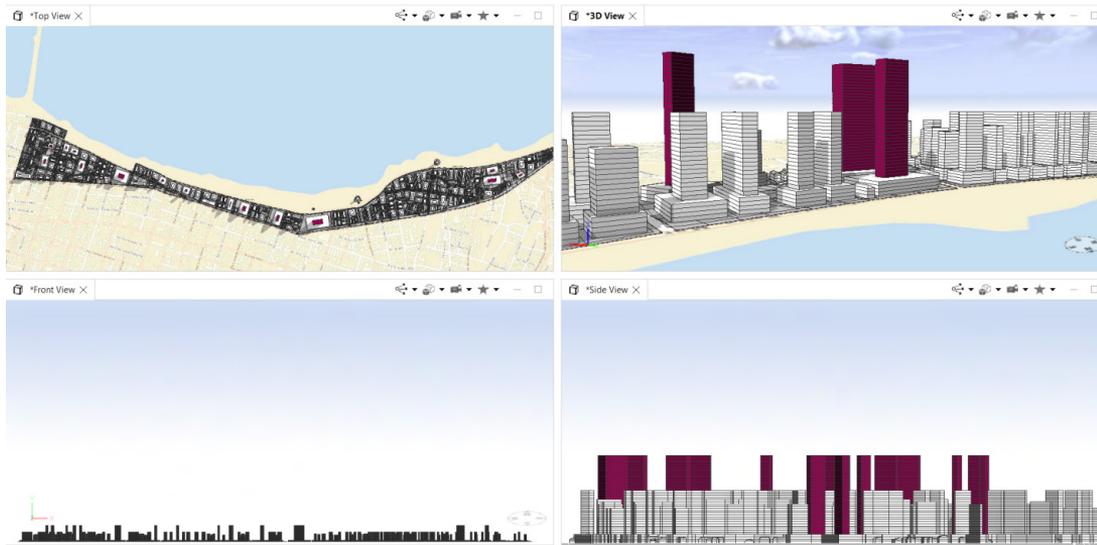


Figure 11 - Buildings with conditions to be considered as special projects.

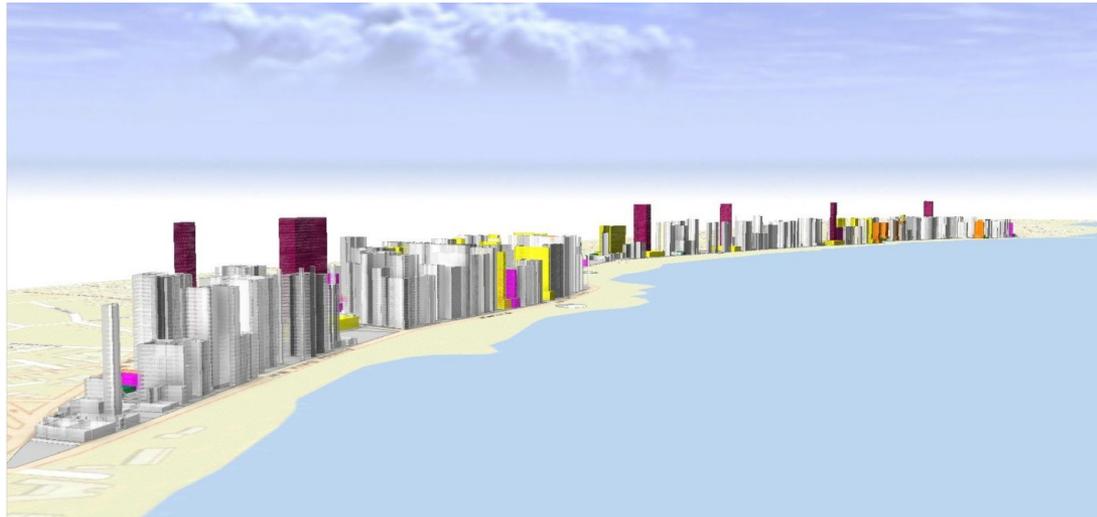


Figure 13 - simulation of future possible scenarios considering possible aggregations of parcels.



Figure 12 - Resulting scenario of first simulation.

For parcels of lower area, the CA is reached but the number of floors (height) is reduced. For these cases, as the parcel's area reduce, the developments lose not only their height but also the total CA. Therefore, these parcels have more risk of being aggregated.

This first simulation demonstrates that the densification of the ZO-4 may represent a physical barrier for the beachfront, limiting the view of coastal landscape. Moreover, Fortaleza has no studies that measure the necessity of proportional public areas in relation to the densification. In fact, there are no parameters that take into account aspects such as accessibility, recreational areas, and urban services.

The results of simulation of future possible scenarios considering possible aggregations of parcels are shown by Figure 13.

The study of aggregation between parcels indicates that a significant percent of the ZO-4 is vulnerable and may face intense transformation in the next few years. It reinforces the idea that any urban regulation should consider that all the parcels under the same condition can take advantage of that instrument. The current use of the instrument ONALT emphasizes that. The scenario for the future 10 years demonstrates a loss of local identity through a great amount of transformations and an accentuated homogeneity of residential use. Due to the privileges of special projects, the residential use will prevail over other activities.

7. CONCLUSIONS

The densification incentive in cities such as Fortaleza, where there is no infrastructure and urban services throughout the whole territory, is crucial due to the urban growth. However, the form in which the territorial parceling took place a long time ago did not foresee the current densification. Developments currently under approval are comparable to international metropolis projects and compromises the local infrastructure.

The population that uses the beachfront including residents, tourists, fishermen, athletes, are not aware of the urban regulations and they do not understand the result of urban parameters for the landscape. Therefore, they do not participate in decision-making concerning urban legislation. Usually they are manipulated in a positive or negative way through the media regarding the major developments. Likewise, professionals from diverse areas also do not fully understand the urban rules, so that they avoid involving in the decision-making process losing the opportunity of negotiating mitigation measures, for example.

Given that urban regulations for Fortaleza present lots of parameters, the intense study of the definition and relation among them was crucial for the creation of procedural rules. Moreover, they were detailed in way that facilitate their application for whole city of Fortaleza only requiring the alteration of parameters values according to the zoning codes. As understanding the result of the rules is difficult even for architects and urban planners, the translation of these information through 3D visualization may turn the process of urban planning more democratic. As they can be applied for any zoning of the city, they will be available to the municipality and may contribute for simulations that can offer an appropriate knowledge of Fortaleza's landscape for the citizen and other stakeholders promoting the articulation among different groups of the society.

Urban environment modeling requires the availability of proper data to generate information. The public agencies of the municipality of Fortaleza present a great amount of data which were essential for the development of all the research's simulations. Ranging from data about the buildings, such as number of

floors, built area, type of activity, sewerage solution, or material of construction, to characteristics of the soil, like altimetry or water table levels. Also, projects that apply for permits are licensed in a automatic way generating a database that may be used for various purposes. The platform for public transparency from the planning and urban licensing agency, called "Portal da Transparência," is periodically updated.

The Parametric Modeling proved to be a great tool for urban landscape planning allowing experts to compose rules that translate the urban regulations to architectural configurations in a complex urban environment. Through an automated process, it allowed a quick visualization of the landscape and technical validation of the impacts of urban permissive regulations. From a participatory point of view, the tool also allows an interaction with the citizen showing the effects of the proposed urban and environmental rules in an efficient way.

ACKNOWLEDGEMENTS

The paper is a contribution to CNPq Project "Geodesign e Modelagem Paramétrica da Ocupação Territorial: Geoprocessamento para a proposição de um Plano Diretor da Paisagem para a região do Quadrilátero Ferrífero-MG", Process 401066/2016-9, Universal Call, 1/2016. The authors also thank Fapemig for the Process PPM XI, TEC-PPM-00600-17.

We also thank the Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente – SEUMA for access to the system of

NOTES

[1]. The authorization to apply this normative in special projects is controlled by ordinary law.

REFERENCES

- Ahmed, F.C. & Sekar, S.P. (2015). *Applied Spatial Analysis and Policy*, 8(4), 393–408. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12061-014-9122-2>.
- Biljecki, F., Stoter, J., Ledoux, H., Zlatanova, S., & Çoltekin, A. (2015). Applications of 3D City Models: State of the Art Review. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(4), 2842-2889.
- Lei 10.257 de 10 de julho de 2001 (*Estatuto da Cidade*). Regulamenta os Arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Brasília: Câmara dos Deputados.
- Lei 062 de 02 de fevereiro de 2009. *Institui Plano Diretor Participativo do Município de Fortaleza e dá outras providências*. Fortaleza: Diário Oficial do Município de Fortaleza, 13 de março de 2009, nº 14020.
- Lei 10.431 de 22 de dezembro de 2015. *Outorga Onerosa do Direito de Alterar o Uso do Solo*. Fortaleza: Diário Oficial do Município de Fortaleza. Retrieved March, 2018 from http://portal.seuma.fortaleza.ce.gov.br/fortalezaonline/portal/legislacao/Consulta_Adequabilidade/2-
- Lei Ordinaria N10.341_Outorga Onerosa de 22 de Dezembro de 2015.pdf
- Grêt-Regamey, A., Celio, E., Klein, T. M., & Hayek, U.W. (2013). Understanding ecosystem services trade-offs with interactive procedural modeling for sustainable urban planning. *Landscape and urban Planning*, 109, 107 – 116.
- Moura, A. C. M. (2014). Modelagem Paramétrica da Ocupação Urbana do planejamento urbano autoral à decodificação de valores coletivos, de valores absolutos a relativos. In *Anais do XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia*, (vol. 1, pp. 1-15). Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Cartografia.
- Moura, A. C. M. (2015). Geodesign in Parametric Modeling of urban landscape. *Cartography and Geographic Information Science*, v. 42, 323-332.
- Moura, A. C. M.; & Motta, S. R. (2016). Modelagem Paramétrica no Planejamento da Paisagem Urbana: Potencial de Implantação da Computação Evolucionária. In: A. C. Moura (Org.) (2016). *Tecnologias de Geoinformação para Representar e Planejar o Território Urbano* (pp. 277-300). Rio De Janeiro: Interciência.
- Müller, P., Wonka, P., Haegler, S., Ulmer, A., & Van Gool, L. (2006). Procedural modeling of buildings. In *ACM SIGGRAPH 2006 Papers, SIGGRAPH '06* (pp. 614-623). DOI: 10.1145/1179352.1141931
- Zyngier, C. M. (2016). *Paisagens urbanas possíveis: códigos compartilhados através dos sistemas de suporte ao planejamento e do geodesign*. (Doctoral dissertation). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, Brazil.
- Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente – *Relatório de Resultados 2017*. Retrieved November, 2017 from https://urbanismoemeioambiente.fortaleza.ce.gov.br/images/urbanismo-e-meio-ambiente/dados-abertos/2017/relatorio_de_resultados_2017.pdf
- Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente – *Relatório de processos de Alvará de Construção deferidos*. Retrieved November, 2017 from <https://urbanismoemeioambiente.fortaleza.ce.gov.br/infocidade/58-relatorio-de-processos-de-alvara-de-construcao-deferidos>.
- Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente – *Atas da comissão Permanente de Avaliação do Plano Diretor*. - Retrieved March 2018 from <https://urbanismoemeioambiente.fortaleza.ce.gov.br/images/urbanismo-e-meio-ambiente/planejamento/ata-77-reuniao-cppd.pdf>.

O Uso de Modelos SIG 3D para Análise Espacial: Um Estudo de Caso da Cidade de Fortaleza, Brasil

1. INTRODUÇÃO

As paisagens urbanas moldam o ambiente urbano do cotidiano de nossas cidades. Entre outros fatores, eles são resultado da combinação de regras previstas pela regulamentação urbana de uma cidade. No Brasil, as regras que moldam o ambiente construído são definidas pelo Plano Diretor e pela Lei de Uso e Ocupação do Solo (LUOS). Geralmente, eles indicam, de acordo com o zoneamento, um conjunto de índices e parâmetros para a ocupação da terra, considerando a escala da parcela.

Mesmo para arquitetos e urbanistas, cujos projetos têm que seguir o código de zoneamento, em algum momento esses índices são de difícil compreensão e decodificação (Zyngier, 2016). Para o cidadão em geral, portanto, é realmente um enorme desafio julgar os impactos de um conjunto de regras. O desenvolvimento de modelos que utilizam a base de dados SIG associada à modelagem territorial tridimensional, modelos 3D

GIS, como a Modelagem Paramétrica da Ocupação Territorial (Moura, 2014), surge como uma importante ferramenta computacional de apoio ao planejamento urbano, pois inclui a vertical dimensão, e permite a comparação entre cenários existentes e autorizados através de simulação dinâmica de mudanças e decisões. Por causa disso, a visualização 3D tem sido uma ferramenta de suporte relevante no processo de decodificação de regulamentações urbanas, a fim de favorecer a interpretação dos índices e parâmetros.

Este artigo apresenta um estudo de caso do município de Fortaleza, no Brasil, com o objetivo de analisar através do modelo 3D GIS o conjunto de parâmetros urbanos atualmente praticados e seu impacto considerando as principais características locais e discutir os resultados morfométricos da regulação urbana para a paisagem considerando o ambiente legalmente construído, ou seja, a parte da cidade que passa pela aprovação do projeto. Fortaleza, a quinta cidade

mais populosa do Brasil, cresce em escala vertical, pois a cidade favorece o adensamento de áreas com infraestrutura e serviços urbanos, por meio da definição de parâmetros muito permissivos. Assim, a paisagem urbana vem mudando rapidamente.

A utilização de modelos tridimensionais que permitam tanto um processo interativo entre profissionais, como informar cidadãos, deve ser considerada uma ferramenta pelas autoridades de Planejamento Urbano. Portanto, a pesquisa explora a metodologia de modelagem paramétrica da paisagem urbana, incluindo simulações 3D, para expandir a visualização de futuras paisagens e apoiar o processo de decisão pelas diversas partes interessadas do contexto urbano, incluindo cidadãos e planejadores.

As simulações foram realizadas utilizando ArcGIS e CityEngine, e desenvolvidas em parceria com o Laboratório de Geoprocessamento da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais,

que vem colaborando com diversos grupos em todo o Brasil para o desenvolvimento de estudos comparativos entre a paisagem construída e a paisagem autorizada pelos parâmetros urbanos. Os estudos têm o objetivo principal de promover uma melhor compreensão do impacto desses parâmetros definidos por regulamentações urbanas, como Planos Diretores e Leis de Uso e Ocupação, e seu papel no processo de produção de paisagens sob alta transformação.

Em primeiro lugar, foi criada uma regra para representar o cenário existente usando a projeção dos edifícios que foram classificados por seu tamanho e extrudados, criando um volume de acordo com o número de andares. Segundo, uma nova regra foi criada para simular o volume autorizado pela regulamentação urbana e da definição de parâmetros para o respectivo zoneamento. Há também uma terceira regra de caso que está em processo de investigação, que analisa as possibilidades de dinâmica imobiliária que incorpora lotes de acordo com a dimensão de seus vizinhos. Para este caso, a regra pode simular as possibilidades de alcançar um volume final mais alto através da soma de dois ou mais lotes.

Até o momento, o estudo apontou a necessidade de novas investigações sobre as condições favorecedoras do crescimento expressivo volumétrico, sob a ótica da morfologia dos lotes urbanos e dos parâmetros definidos pelas regulamentações. À medida que a pesquisa evolui, como os casos de sucesso abordados pela literatura, pode-se verificar a relevância do investimento em comunicação da informação que favorece muito não só a visualização pelos diversos atores da paisagem urbana legal, mas também sua efetiva participação na informação. o processo decisório relativo ao planejamento paisagístico. Desta forma, os resultados da pesquisa podem apoiar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade.

2. MODELAGEM PARAMÉTRICA DA PAISAGEM URBANA

Ferramentas de modelagem 3D tornam-se mais comuns à medida que planejadores urbanos começam a pensar em 3D para lidar com problemas urbanos cada vez maiores, particularmente quando se lida

com o ambiente construído (Ahmed, 2014). As aplicações de modelos 3D da cidade em estudos de planejamento urbano variam em um longo alcance, incluindo estimativa de sombra para a determinação de envelopes solares, projetos de áreas verdes, visualização como ferramenta de comunicação de informações urbanas aos cidadãos (Biljecki et al, 2015).

Embora os modelos 3D e visualizações sejam considerados mais confiáveis do que as representações tradicionais e levem a um entendimento superior dos dados espaciais, os planejadores urbanos relutam em usar ferramentas 3D devido à complexidade em relação à modelagem e integração de dados, seus custos e à falta de habilidades apropriadas disponíveis para incorporar modelos 3D em processos de planejamento cotidianos (Ahmed, 2014). A modelagem 3D manual é especialmente desafiadora para a simulação de cenários urbanos. Devido à complexidade de um contexto urbano, um modelo de cidade 3D pode consumir muito tempo e exigir trabalho pesado. Nesse sentido, o uso de modelagem paramétrica oferece uma alternativa à tradicional modelagem 3D manual.

A modelagem paramétrica utiliza algoritmos para produzir modelos 3D, utilizando um framework definido por gramáticas e regras para compor as configurações arquitetônicas (Müller et al., 2006). Através de um processo automatizado, torna a modelagem de ambientes urbanos mais eficiente. Segundo Grêt-Regamey et al. (2013) abordagens paramétricas de modelagem de procedimentos aumentam o poder da modelagem de cidades, pois permitem uma rápida visualização, avaliação e fluxos de trabalho interativos do complexo contexto da cidade, além disso, as regras interativas se tornam especialmente poderosas, quando podem ser usadas em um processo participativo, utilizando a expertise e o conhecimento de uma ampla gama de partes interessadas que avaliam suas preferências por cenários.

A modelagem paramétrica também pode ser usada como uma forma de ajudar o cidadão a entender o uso de índices morfométricos ou parâmetros na composição de formas de edifícios urbanos. Moura (2014) argumenta que, como os códigos de zoneamento não podem seguir o ritmo da mudança territorial, é necessário que a ocupação conte com novas capacidades de simulação em um processo chamado Modelagem Paramétrica da Ocupação Territorial (MPOT

- Modelagem Paramétrica da Ocupação Territorial).

Moura (2015) afirma que a gestão da paisagem urbana brasileira é absolutamente morfométrica e pouco compreendida pelo cidadão que desconhece o processo de tomada de decisão. A Modelagem Paramétrica é o uso de métricas e valores geométricos de forma que, quando combinados, estruturam regras que representam a forma de ocupação do solo (Moura, 2016). É composto pela aplicação de geotecnologias para visualização e tomada de decisão sobre as referências máximas aceitáveis para atividades no território urbano. A parametrização é baseada na definição de envelopes máximos que definem essas referências para o projeto e construção do edifício, de acordo com os índices urbanos e parâmetros de ocupação.

O uso da modelagem paramétrica permite a visualização de índices e parâmetros urbanos por meio de simulação 3D, pois gera os possíveis resultados para a paisagem urbana a partir da combinação de variáveis (Moura, 2016). Essa aplicação representa uma abordagem adequada considerando o contexto atual da cidade de Fortaleza, no Brasil

3. CONTEXTUALIZANDO AS REGRAS URBANAS DO BRASIL

A lei urbana brasileira estabelece a obrigatoriedade dos municípios quanto ao adequado planejamento territorial, desde a aplicação de parâmetros urbanos a serem cumpridos pelos proprietários de terras no parcelamento, uso e ocupação do solo, até a instituição dos instrumentos urbanos que reforcem a função social do solo como a Concessão Onerosa do Direito de Construir, ou Imposto Predial e Territorial Urbano Progressivo no Tempo (Outorga Onerosa do Direito de Construir).

O parcelamento do solo urbana consiste na subdivisão da terra em unidades legalmente independentes, ou parcelas. Para áreas públicas doadas ao município, a soma final da área total é relativa à área exata real da parcela. Portanto, esse processo não considera a densificação planejada para a parcela pelos índices e parâmetros de regulação urbana. Por outro lado, as parcelas privadas são lotes de área mínima que não têm construção, definida pelo código de zoneamento, em

que o proprietário definirá a área ocupada final, desde que siga a regulamentação urbana. Após a implantação do parcelamento do solo, pode haver remembramento de lotes ou parcelas; isto é, o agrupamento de lotes para a criação de novos lotes maiores.

No atual contexto brasileiro da dinâmica imobiliária, é comum a substituição de edificações existentes por novas no processo de agregação de parcelas, principalmente para zonas com infraestrutura e serviços urbanos. Normalmente, essas áreas permitem densificação mais intensa por meio da definição do Coeficiente de Aproveitamento (CA - Coeficiente de Aproveitamento), um índice que indica a quantidade total de construção que pode ser construída. Essa prática de favorecer a densificação é estabelecida pelo Estatuto das Cidades, como um dos objetivos da política urbana brasileira (BRASIL, 2001).

Em Fortaleza, o Plano Diretor Participativo (PDP) define os parâmetros urbanos para cada uma das zonas que compõem o território da cidade. Além do CA, o PDP também estabelece outros parâmetros, como (a) o índice de permeabilidade (TP - Taxa de Permeabilidade), que é uma taxa da parcela que deve ser permeável; (b) Taxa de ocupação (TO - Taxa de Ocupação), que é a taxa da parcela ocupada pela projeção do prédio (térreo); (c) limite de altura (H); (d) fração de lote (FL - Fração do Lote) restringe o número de unidades em uma parcela; e (e) dimensões mínimas do lote. Parâmetros como TP, TO, CA e H associados aos recuos, definidos pelo LUOS, compõem a forma física da ocupação do solo em Fortaleza. Os recuos variam de acordo com a atividade, a área construída e a classificação da rua na qual a parcela está inserida. Além disso, dependendo da altura final do edifício, pode haver incrementos nos recuos. Portanto, quanto maior o número de andares, maior o recuo, que é aplicado a todos os andares.

Para as atividades classificadas como “Projeto Especial”, conforme PDP de Fortaleza, é permitida a aplicação do instrumento denominado Outorga Onerosa de Alteração do Uso do Solo (OOAUS), que permite superar os limites construtivos dos parâmetros sob contrapartida financeira. Um exemplo de projeto especial é o uso residencial multi-familiar com área acima de 10.000m². Através do uso do OOAUS, um edifício com uma altura e CA

maiores e recuos menores do que os definidos pela regulamentação, ainda pode ser aprovado. Os projetos especiais são avaliados pela Comissão de Avaliação do PDP (CPPD), responsável pela análise e aprovação dos projetos, de acordo com o Plano Diretor Participativo.

4. A ÁREA DE ESTUDO

Para atingir o objetivo principal da pesquisa, o estudo de caso simula, por meio de um modelo 3D, uma área da cidade que está sob um grande processo de ocupação para visualizar diferentes cenários como suporte à tomada de decisão. Portanto, foi escolhida uma área da Macrozona da Ocupação Urbana que permitiria uma maior intensificação da ocupação, bem como um aumento do nível de densidade construída, segundo o PDP de Fortaleza (figura 1).

Figura 1 – Indicação da área de estudo na Macrozona de Ocupação Urbana de Fortaleza.

Figura 2 – Área de estudo.

A área de estudo está inserida na Zona de Orla (ZO-4). Entre outras quinze zonas, a ZO-4 é a que apresenta maior CA, permitindo inclusive um aumento deste índice para o uso hoteleiro. De acordo com o PDP, ZO-4 é definido como uma área ao lado da praia que, devido às características do solo, aspectos da paisagem, potencial turístico e papel na estrutura urbana, requer parâmetros específicos.

Segundo documentos da SEUMA (Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente), responsável pelo licenciamento urbano e ambiental de Fortaleza, recentemente, houve a aprovação de um empreendimento em ZO-4 com o dobro do CA máximo, (CA =6.0), com 40 pavimentos. Esta aprovação deve-se a um relatório técnico favorável do CPPD baseado no instrumento OOAUS. Este instrumento torna a ZO-4 ainda mais vulnerável à dinâmica imobiliária. Além disso, o empreendimento aprovado demoliu um antigo hotel de mais de 20 andares. Há a perspectiva de novos empreendimentos ainda maiores para a

mesma área, aproveitando o mesmo instrumento.

4.1 PARÂMETROS URBANOS FORTALEZA

Para parametrizar as regras urbanas de Fortaleza utilizando um software de modelagem 3D, foi necessário entender melhor a prática do mercado imobiliário em Fortaleza considerando o zoneamento da área de estudo, seus parâmetros urbanos de ocupação e usos. Portanto, a pesquisa reuniu uma coleção de projetos de construção permitindo classificar suas informações de acordo com a área da parcela, localização, uso, área total construída do projeto e descrição dos parâmetros urbanos para cada um dos empreendimentos.

O acesso a essas informações através do sistema interno da cidade foi autorizado pela SEUMA. De acordo com os relatórios (Relatórios de Resultados de 2017 - Fortaleza), de 2015 a 2017, em Fortaleza, 661 licenças de construção foram emitidas através do procedimento tradicional (processo manual), enquanto licenças de construção on-line (automatizadas) começaram a ser emitidas em 2016 para pequenas atividades, totalizaram 537 autorizações. A maioria das autorizações emitidas, 62% do total, são para uso residencial unifamiliar localizado em zonas com maior disponibilidade de unidades domiciliares e menor infraestrutura, como Zonas de Ocupação Moderada e Zonas de Requalificação Urbana.

O uso residencial multi-familiar representa 10% do total, o comércio (lojas, centros comerciais) é de 6%, serviços como hotéis e escritórios são 5%, atividades institucionais (escolas, hospitais) correspondem a 1% e cerca de 16% são para outras atividades. Ainda de acordo com o relatório, as licenças de construção para grandes empreendimentos com área total acima de 8.000,00 m², geralmente estão localizadas em áreas com menor disponibilidade de lotes unitários, como a ZO-4, a Zona de Ocupação Consolidada e a Zonas de Ocupação Preferencial. Assim, esses empreendimentos só se tornam viáveis através da demolição de edifícios existentes.

Todos os documentos de aprovação de licenças de construção são arquivados no sistema SEUMA. Os grandes empreendimentos foram identificados, e os dados relevantes foram coletados para a análise

dos parâmetros praticados para esses projetos de construção. Ao longo dos arquivos, a pesquisa constatou que, dependendo da área das parcelas, os parâmetros urbanísticos praticados apresentavam alguns padrões, definindo as seguintes 5 classes de ocupação:

a) Para as parcelas acima de 1.500m², a maioria dos empreendimentos destina-se ao uso residencial multi-familiar. Esses empreendimentos atingem o CA máximo da zona e o número de andares, que tem 24 andares ou 72 metros de altura. Para todos estes empreendimentos, verificou-se que a relação CA por número de andares resulta em 10,86% da área total da parcela. Áreas de uso comum não estão incluídas. Este valor representa o TO praticado de todas as edificações. Portanto, a análise demonstra que o volume da torre está diretamente relacionado à CA e à altura do prédio. Esses índices não estão nos documentos emitidos pela SEUMA nem são um valor citado nas leis urbanas, embora possam ser relevantes para estudos de densificação.

b) Para parcelas entre 1.000m² e 1.500m², os usos prevaescentes são de residências multifamiliares e hotéis. Havia a mesma quantidade de construção para ambos os usos. Ambos também atingem o CA máximo, mas não atingem a altura máxima, que varia de 17 a 20 andares. Para esta classe de ocupação, como o tamanho dos terrenos diminui, há uma tendência de redução da altura da torre, embora o CA máximo permaneça o mesmo. A altura máxima não é alcançada, porque se assim for, os recuos teriam que ser maiores impactando na área da planta baixa.

c) Para parcelas entre 600m² e 1.000m², há um aumento do número de edifícios de uso hoteleiro e comercial. A maioria dos empreendimentos apresentou baixo CA e alturas variadas. Poucos empreendimentos atingiram o CA máximo e a quantidade de 16 andares. Para estes casos, a área de planta baixa é possivelmente menor do que a necessidade de uso residencial multi-familiar e uso de hotel de grande porte.

d) Para parcelas inferiores a 600m², existem atividades aleatórias, como pequenos centros comerciais, lojas de varejo, prestação de serviços, que não excedem 3 andares e um CA reduzido.

e) Para projetos especiais, já existe a aprovação de um empreendimento e outro em análise pela SEUMA. Para esta classe, não há padrões de ocupação; de modo que, através do uso de OODC, qualquer outro parâmetro urbano possa ser usado.

Não há registro de licenças de construção para uso residencial unifamiliar nessas zonas no sistema SEUMA.

5. DESENVOLVIMENTO - CENÁRIOS E SIMULAÇÕES

Considerando o contexto de Fortaleza, duas abordagens são apresentadas para as simulações 3D. Em primeiro lugar, uma simulação para representar a área de estudo com os parâmetros máximos permitidos pela lei urbana atual e considerando a atual divisão de parcelas, e uma segunda simulação de possíveis cenários futuros considerando possíveis agregações de parcelas de parcelas subutilizadas. Ambas as simulações foram baseadas nas 5 classes de ocupação e no potencial de construção atualmente permitido para a zona pelo conjunto de índices e parâmetros urbanos. Parcelas subutilizadas são as parcelas sem construções, ou as que apresentam uso residencial multifamiliar com até 10 andares, além dos usos residencial unifamiliar, comercial e serviços com CA = 1,0.

O processo da regra para o primeiro modelo 3D é mostrado na figura 3.

Figura 3 - Diagrama do processo da regra para volumes máximos.

O segundo modelo simula, numa perspectiva de 10 anos, possíveis agregações do mercado imobiliário para aumentar as áreas das parcelas e possibilitar torres mais altas, atendendo aos seguintes critérios:

- exclusão de edifícios públicos e edifícios culturais tombados pelo patrimônio histórico;
- identificação de parcelas com área até 1.000m² (por não atingir a taxa máxima de utilização);
- identificação de parcelas com áreas superiores a 1000m² que estão subutilizadas;
- identificação de atividades com uso hospedagem que

permite um CA de 6,0 e até 40 andares;

- identificação de usos de hospedagem que têm vizinhos vagos ou subutilizados.

Após a identificação desses terrenos, eles foram agrupados com vizinhos “disponíveis”. O objetivo era chegar a uma área maior para a unidade, a fim de definir as condições para os usos residenciais multi-familiares e para hotéis de grande porte. Esses terrenos representam 38% da área do ZO-4 e estão identificados na figura 4 a seguir. O restante da área é considerado consolidado, pois a maioria dos prédios possui cerca de 23 andares e apresenta baixa vulnerabilidade a transformações para os próximos anos. O diagrama do processo da regra procedural deste cenário é mostrado na figura 5.

Figura 4 - Áreas para possível agregação do mercado imobiliário.

Figura 5 - Diagrama de processo da regra para 5 classes de ocupação.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O estudo dos parâmetros de ocupação do solo em Fortaleza demonstra que a ocupação máxima, utilizando os valores máximos de índices e parâmetros, só é possível para parcelas de grandes porte (acima de 1.500m²). Essas unidades representam a maioria das unidades totais na área de estudo, como podemos ver na figura 6, que identifica essas unidades na simulação do cenário atual da área de estudo.

Figura 6 – Terrenos com área superior a 1.500m² com simulação de prédios existentes.

Além disso, terrenos maiores de 1.500m² têm um grande potencial de transformação devido à possibilidade de atingir o nível máximo de ocupação. Moura (2016) afirma que na pressa e no desejo de aproveitar ao máximo o que está autorizado por lei, o mercado imobiliário assume os volumes máximos que são transpostos diretamente para a forma arquitetônica.

As figuras a seguir identificam cada uma das classes de ocupação no primeiro cenário da atual divisão de parcelas.

Figura 7 – Edificações com ocupação máxima, em terrenos com área acima de 1.500m².

Figura 8 – Edificações com ocupação máxima, em terrenos com área entre 1.000m² a 1.500m².

Figura 9 – Edificações com ocupação média, em terrenos de área entre 600m² e 1.000m².

Figura 10 – Edificações com baixa ocupação, em terrenos com área abaixo de 600m².

Figura 11 - Edifícios com condições para serem considerados como projetos especiais.

O cenário resultante da primeira simulação é mostrado na figura 12.

Figura 12 - Cenário resultante da primeira simulação.

Para parcelas de área inferior, o CA é atingido, mas o número de andares (altura) é reduzido. Para estes casos, à medida que a área da parcela diminui, os empreendimentos perdem não apenas sua altura, mas também o CA total. Portanto, essas parcelas têm mais risco de serem agregadas.

Esta primeira simulação demonstra que a densificação da ZO-4 pode representar uma barreira física para a praia, limitando a visão da paisagem costeira. Além disso, Fortaleza não possui estudos que mensurem a necessidade de áreas públicas proporcionais à densificação. De fato, não existem parâmetros que levem em conta aspectos como acessibilidade, áreas de lazer e serviços urbanos.

Os resultados da simulação de possíveis cenários futuros considerando possíveis agregações de parcelas são mostrados na figura 13.

Figura 13 - simulação de possíveis cenários futuros considerando possíveis agregações de parcelas.

O estudo da agregação entre parcelas indica que uma porcentagem significativa do ZO-4 é vulnerável e pode enfrentar intensa transformação nos próximos anos. Reforça a ideia de que qualquer regulamentação urbana deve considerar que todas as parcelas sob a mesma condição podem tirar proveito desse instrumento. O uso atual do instrumento OODC

ênfata isso. O cenário para os próximos 10 anos demonstra uma perda de identidade local através de uma grande quantidade de transformações e uma acentuada homogeneidade do uso residencial. Devido aos privilégios de projetos especiais, o uso residencial prevalecerá sobre outras atividades.

7. CONCLUSÕES

O incentivo ao adensamento em cidades como Fortaleza, onde não há infraestrutura e serviços urbanos em todo o território, é crucial devido ao crescimento urbano. No entanto, a forma em que o parcelamento territorial ocorreu há muito tempo não previa a densificação atual. Os empreendimentos atualmente sob aprovação são comparáveis aos projetos de metrópole internacional e comprometem a infraestrutura local.

A população que utiliza a orla marítima, incluindo moradores, turistas, pescadores, atletas, não tem conhecimento dos regulamentos urbanos e não entende o resultado dos parâmetros urbanos para a paisagem. Por conseguinte, não participam na tomada de decisões relativas à legislação urbana. Normalmente eles são manipulados de forma positiva ou negativa através da mídia sobre os principais empreendimentos. Da mesma forma, profissionais de diversas áreas também não entendem completamente as regras urbanas, reduzindo o seu envolvimento no processo decisório e a possibilidade de negociar medidas de mitigação, por exemplo.

Dado que a regulamentação urbana de Fortaleza apresenta muitos parâmetros, o intenso estudo da definição e relação entre eles foi crucial para a criação de regras processuais. Além disso, foram detalhados de forma a facilitar sua aplicação para toda a cidade de Fortaleza, exigindo apenas a alteração dos valores dos parâmetros de acordo com os códigos de zoneamento. Como a compreensão do resultado das regras é difícil, mesmo para arquitetos e urbanistas, a tradução dessas informações através da visualização 3D pode tornar o processo de planejamento urbano mais democrático. Como podem ser aplicados para qualquer zoneamento da cidade, eles estarão disponíveis para o município e poderão contribuir para

simulações que possam oferecer um conhecimento adequado da paisagem de Fortaleza para o cidadão e demais partes interessadas, promovendo a articulação entre diferentes grupos da sociedade.

A modelagem do ambiente urbano requer a disponibilidade de dados adequados para gerar informações. Os órgãos públicos do município de Fortaleza apresentam grande quantidade de dados essenciais para o desenvolvimento de todas as simulações da pesquisa. Há um banco de dados sobre os edifícios, como número de andares, área construída, tipo de atividade, solução de esgoto ou material de construção, e sobre características do solo, como altimetria ou níveis de lençol freático. Além disso, os projetos que se candidatam a licenças são licenciados de maneira automática, gerando um banco de dados que pode ser usado para várias finalidades. A plataforma de transparência pública da Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente, denominada “Portal da Transparência”, é atualizada periodicamente.

A modelagem paramétrica mostrou-se uma ótima ferramenta para o planejamento da paisagem urbana, permitindo que especialistas compusessem regras que traduzissem os regulamentos urbanos para configurações arquitetônicas em um ambiente urbano complexo. Através de um processo automatizado, permitiu uma rápida visualização da paisagem e validação técnica dos impactos das regulamentações urbanas permissivas. Do ponto de vista participativo, a ferramenta também permite uma interação com o cidadão mostrando os efeitos das regras urbanas e ambientais propostas de forma eficiente.

AGRADECIMENTOS

O artigo é uma contribuição para o projeto CNPq “Geodesign e Modelagem Paramétrica da Ocupação Territorial: Geoprocessamento para a Proposição de um Plano Diretor da Paisagem para a Região do Quadrilátero Ferrífero-MG”, Processo 401066 / 2016-9, Chamada Universal, 1/2016. Os autores também agradecem à Fapemig pelo Processo PPM XI, TEC-PPM-00600-17.

Agradecemos também à Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente - SEUMA pelo acesso ao sistema de aprovação de licenças de construção.