

RENATO FERREIRA DE SÁ

**SINTAXE ESPACIAL E TRIDIMENSIONALIDADE: ESTUDO EXPLORATÓRIO
DAS FERRAMENTAS DIGITAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientadora: Denise Mônico dos Santos

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2022**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

S111s Sá, Renato Ferreira de, 1993-
2022 Sintaxe espacial e tridimensionalidade: estudo exploratório
de ferramentas digitais / Renato Ferreira de Sá. – Viçosa, MG,
2022.

1 dissertação eletrônica (125 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Denise Mônaco dos Santos.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Arquitetura e Urbanismo, 2022.

Referências bibliográficas: f. 110-125.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2022.618>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Espaço (Arquitetura) - Simulação por computador.
2. Imagem tridimensional - Análise. 3. Software. I. Santos,
Denise Mônaco dos, 1967-. II. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Arquitetura e Urbanismo. Programa de
Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

CDD 22. ed. 720.284

Bibliotecário(a) responsável: Alice Regina Pinto Pires CRB-6/2523

RENATO FERREIRA DE SÁ

SINTAXE ESPACIAL E TRIDIMENSIONALIDADE: ESTUDO EXPLORATÓRIO DE FERRAMENTAS DIGITAIS

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 27 de julho de 2022.

Assentimento:



Renato Ferreira de Sá
Renato Ferreira de Sá
Autor



Denise Mônaco dos Santos
Denise Mônaco dos Santos
Orientadora

AGRADECIMENTOS

A Deus, causa primeira de todas as coisas.

Aos pais Tadeu Pereira de Sá e Maria Eugênia Ferreira de Sá, cuja minha formação humana e acadêmica devo.

Ao irmão Luciano, companheiro e incentivador de todas as horas.

Aos irmãos de alma Raphael Alex Silva e Gregory Simão de Paula por se fazerem apoiadores das minhas intensões e companheiros valorosos.

Aos amigos Jaime Pacheco e Juliana Carvalho por me presentarem com livros importantes para esta pesquisa.

Ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Viçosa

À minha orientadora Profa. Dra. Denise Mônaco dos Santos, sem a qual este trabalho não seria possível.

Ao grupo de pesquisa Nó.lab e a todos os seus membros, Professores e colegas, em especial Wallace Dornelas que me iniciou no universo algorítmico/paramétrico e Ana Carolina Vicente pelo apoio nos dias difíceis de confinamento e trabalho à distância.

Aos pesquisadores Dra. Marcela Noronha Pinto de Oliveira e Sousa (USP), Dr. Pirouz Nourian (*Delft University of Technology*), Dr. Franklim Morais (Escola Superior Artística do Porto), Richard Schaffranek, Adriane Eloah e Me. Alexandre Castro (UFRN) pelo auxílio no decorrer da jornada.

À Vida, que a cada dia me oferece oportunidade de novos aprendizados.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

SÁ, Renato Ferreira de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2022. **Sintaxe Espacial e tridimensionalidade: Estudo exploratório de ferramentas digitais**. Orientadora: Denise Mônaco dos Santos.

Este trabalho investiga o porquê de ainda serem recorrentes publicações que alegam a falta de recursos tridimensionais em Sintaxe Espacial mesmo após 25 anos das primeiras discussões e propostas de ferramentas digitais para este fim. Para responder a esta questão foi desenvolvida uma pesquisa de caráter exploratório que se dividiu em duas etapas. Na primeira buscou-se compreender o estado da arte e o cenário das aplicações das ferramentas digitais em Sintaxe Espacial e como estas estiveram ligadas ao desenvolvimento da Teoria. A metodologia desta etapa consistiu-se em uma revisão de literatura sistematizada sem metanálise nos anais dos 12 Simpósios Internacionais de Sintaxe Espacial. A escolha desta fonte de dados se deve à autoridade da mesma frente à comunidade de pesquisadores da área e pelo fato de ter abrangência internacional. Foram também consultados trabalhos de outras fontes, quando pertinentes, além de relatos pessoais dos próprios criadores de algumas ferramentas. Estabeleceu-se assim, um panorama histórico e estado da arte das ferramentas digitais em Sintaxe Espacial, que foi possível devido a criação das de variáveis como: 1) Ano de origem da ferramenta; 2) estrutura (*standalone software* ou *plugin*); 3) ambiente (CAD, SIG, BIM ou algorítmio/paramétrico) e capacidade analítica (tridimensional ou bidimensional). Uma vez catalogadas e sistematizadas, percebeu-se a lacuna nas análises tridimensionais que incluam a topografia. Sendo assim, a segunda etapa consistiu em submeter partes do tecido urbano da cidade de Ipatinga-MG a uma análise prática com a ferramenta *CONFIGURANIST*, *plugin* para *Grasshopper/Rhinoceros* que permite inserção do elemento topográfico urbano. A partir disso, são avaliados traços gerais da ferramenta, tendo como plano de fundo a informações do histórico e desenvolvimento das ferramentas. Os resultados do trabalho apontam que à medida que as cidades se tornam mais complexas, surge também a necessidade de abordagens capazes de captar suas diversas propriedades. Estas abordagens, em especial com a Sintaxe Espacial, estão intrinsecamente associadas ao seu ferramental digital. A abrangência dessas análises depende do aprimoramento de suas ferramentas, mas também devem ser

acompanhadas de discussões e embasamento teórico que as suporte. Em totalidade, as ferramentas 3D encontradas para Sintaxe Espacial realizam análises de isovistas. Elas são *standalone softwares* ou complementos para *Grasshopper/Rhinoceros*. Análises com topografia em Sintaxe Espacial são escassas ou quase nulas, mas outras ferramentas em linhas analíticas próximas estão sendo usadas para suprir a limitação. Conforme se relatou neste trabalho, à par das ferramentas que possibilitaram o aprimoramento das análises sintáticas, outras houve que não levaram à frente o aprofundamento das métricas, resultando em esforços que pouco foram absorvidos pela comunidade dos pesquisadores. De todas as ferramentas digitais 3D encontradas, o *plugin CONFIGURBANIST* foi a que mais se aproximou do contexto sintático e que possibilitou a inclusão do relevo urbano em suas análises. Ainda que a proposta trazida por Nourian para inclusão do elemento topográfico não seja exatamente “sintática” ilustra o esforço para se tentar compreender a influência do relevo urbano na escolha de rotas entre os pedestres.

Palavras-chave: Sintaxe Espacial. Análises tridimensionais. Ferramentas digitais.

ABSTRACT

SÁ, Renato Ferreira de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2022. **Space Syntax and three-dimensionality: exploratory study of digital tools**. Adviser: Denise Mônaco dos Santos.

This work investigates why publications claiming the lack of three-dimensional resources in Space Syntax are still recurrent, even after 25 years of the first discussions and proposals for digital tools for this purpose. To answer this question, an exploratory research was developed which was divided into two stages. In the first one, we sought to understand the state of the art and the scenario of applications of digital tools in Space Syntax and how these were linked to the development of the Theory. The methodology of this stage consisted of a systematic literature review without meta-analysis in the proceedings of the 12 International Space Syntax Symposia. The choice of this data source is due to its authority vis-à-vis the community of researchers in the area and because it has an international scope. Works from other sources were also consulted, when relevant, in addition to personal reports from the creators of some tools. Thus, a historical overview and state of the art of digital tools in Space Syntax was established, which was possible due to the creation of variables such as: 1) Year of origin of the tool; 2) structure (standalone software or plugin); 3) digital environment (CAD, GIS, BIM or algorithmic/parametric) and analytical capacity (three-dimensional or two-dimensional). Once cataloged and systematized, the gap in three-dimensional analyzes that include topography was noticed. Therefore, the second stage consisted of submitting parts of the urban fabric of the city of Ipatinga-MG, Brazil to a practical analysis with the CONFIGURANIST tool, a plugin for Grasshopper/Rhinoceros that allows the insertion of the urban topography. From this, general features of the tool are evaluated, having as a background information from the history and development of the tools. The results indicates that while cities become more complex, there is also a need for approaches capable of capturing their various properties. These approaches, especially with Space Syntax, are intrinsically associated with its digital tools. The scope of these analyzes depends on the improvement of their tools, but they must also be accompanied by discussions and theoretical basis that support them. In total, the 3D tools found for Space Syntax perform isovist analysis. They are standalone software or add-ons for Grasshopper/Rhinoceros. Analysis with topography in Spatial Syntax is scarce or

almost nil, but other tools in close analytical lines are being used to overcome the limitation. As reported in this work, in addition to the tools that made it possible to improve syntactic analyses, there were others that did not carry out the deepening of metrics, resulting in efforts that were little absorbed by the research community. Of all the 3D digital tools found, the CONFIGURBANIST plugin was the one that came closest to the syntactic context and made it possible to include urban relief in its analyses. Although the proposal brought by Nourian to include the topographic element is not exactly “syntactic”, it illustrates the effort to try to understand the influence of urban relief on the choice of routes among pedestrians.

Keywords: Space Syntax. Three-dimensional analyses. Digital tools.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Imagem esquemática dos encontros de fluxos	20
Figura 2 - Construção de um VGA	25
Figura 3 - Exemplo de mapa axial.....	27
Figura 4 - Análise angular de segmentos	29
Figura 5 - Modelo de <i>Road Center Lines</i>	30
Figura 6 - Relações espaciais em grafos justificados.....	31
Figura 7 - Conectividade em um mapa axial	33
Figura 8 - utilização e interface do PANGEA 3D	59
Figura 9 - PANGEA 3D e análise do interior de uma edificação	59
Figura 10 - Análise VGA de <i>mixed graph</i>	61
Figura 11 - Análise VGA de <i>mixed graph</i> com diferentes alturas de edificações	62
Figura 12 - Posicionamento dos sensores e interface do Nebulla.....	63
Figura 13 - Análises de isovistas tridimensionais com <i>DepthSpace3D</i>	64
Figura 14 - Análise de isovistas 3D em ambientes internos.....	65
Figura 15 - Estudo de vegetação como barreiras visuais no <i>DepthSpace3D</i>	65
Figura 16 - Conectividade visual e influência da permeabilidade em diferentes estações do ano	66
Figura 17 - <i>LOS 3D visibility analysis tool</i>	67
Figura 18 - Análise com <i>SpiderWeb</i> para múltiplos pavimentos	69
Figura 19 - Modelo de Greenberg, Natapov e Fisher-Gewirtzman (2017)	71
Figura 20 - Funcionamento do <i>Easiest Path</i>	73
Figura 21 - Hiking Function de Tobler (1993).....	74
Figura 22 - Hiking Function adaptada por Nourian <i>et al.</i> (2015).....	74
Figura 23 - Análise espaço-temporal 4D de Higgins	76
Figura 24 - Parte da rede urbana de Hong Kong adaptada à topografia.....	77
Figura 25 - Transformação volumétrica.....	77
Figura 26 - Adição da circulação interna dos edifícios	77
Figura 27 - Mapa de localização de Ipatinga - MG.....	88
Figura 28 - Seleção de bairros	89
Figura 29 - Análises sintáticas de Escolha e Integração de Ipatinga-MG	89
Figura 30 - Modelo de código disponibilizado no <i>CONFIGURBANIST</i>	90
Figura 31 - Arquivo com malha modelo disponibilizada no <i>CONFIGURBANIST</i>	91

Figura 32 - Componentes do <i>CONFIGURBANIST</i> - destaque para <i>StreetNetwork</i>	91
Figura 33 - Componente <i>Network Distance Calculator</i> e componente <i>Walker</i>	92
Figura 34 - Funcionamento do <i>Network Distance Calculator</i> com o modelo disponibilizado pelo <i>CONFIGURBANIST</i>	93
Figura 35 - Funcionamento do componente <i>Walker</i> em análise <i>flat</i> e topográfica	94
Figura 36 - Mapa de <i>Road Center Lines</i> de Ipatinga - MG.....	96
Figura 37 - Análise <i>FlatLandscape</i> com o componente NDC em Ipatinga	97
Figura 38 - Componente <i>Betweenness</i> apresenta o mesmo erro do componente <i>Network Distance Calculator</i> quando se associa toda malha de Ipatinga	98
Figura 39 - Preparação do arquivo no <i>Rhinoceros</i> . Malha urbana e topografia sobreposta	99
Figura 40 - Análise <i>flatLandscape</i> com o componente NDC no bairro Bom Jardim	99
Figura 41 - Erro na análise <i>Topographic</i> com o componente NDC do bairro Bom Jardim	100
Figura 42 - Análise <i>FlatLandscape</i> com o componente <i>Walker</i> no bairro Bom Jardim	101
Figura 43 - Análise <i>Topographic</i> com o componente NDC do bairro Bom Jardim ..	102
Figura 44 - Análise <i>FlatLandscape</i> com o componente <i>Betweenness</i> no recorte urbano exemplo	104
Figura 45 - Métrica de Escolha para análise angular com raio métrico (n) realizada no <i>SSToolkit/DepthMapX</i> para QGIS no recorte urbano exemplo	105

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Elementos espaciais básicos em Sintaxe Espacial	27
Quadro 2 - Síntese de métricas em Sintaxe Espacial	34
Quadro 3 - Síntese e Cronologia das ferramentas digitais em Sintaxe Espacial.....	79
Quadro 4 - Ferramentas digitais em Sintaxe Espacial e interoperabilidade	81
Quadro 5 - Critérios para escolha de ferramenta digital 3D em Sintaxe Espacial	87
Quadro 6 - Sistematização dos resultados das análises com CONFIGURBANIST	106

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AJAX	<i>Accessibility analysis of Junctions and Axial Lines</i>
APF	Algoritmo de proximidade física
BIM	Building Information Modelling
CAD	<i>Computer Aided-design</i>
iVALUL	<i>Intangible Value of Urban Layout</i>
JASS	<i>Justified Analysis of Spatial Systems</i>
LPV	Linguagem de Programação Visual
NDC	<i>Network Distance Calculator</i>
PST	<i>Place Syntax Tool</i>
RCL	<i>Road Center Lines</i>
sDNA	<i>Spatial Design Network Analysis</i>
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SSToolkit	<i>SpaceSyntaxToolkit</i>
SPOT	<i>Spatial Positioning Tool</i>
UCL	<i>University College of London</i>
UEL	<i>University of East London</i>
UNA	<i>Urban Network Analysis</i>
VGA	<i>Visibility Graph Analysis</i>
VR	<i>Virtual reality</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivo geral.....	15
1.2	Objetivos específicos	15
1.3	Aspectos Metodológicos	16
1.4	Estrutura do trabalho	17
2	A SINTAXE ESPACIAL E PROBLEMÁTICA TRIDIMENSIONAL.....	18
2.1	Origem e aprimoramentos	18
2.2	Principais conceitos.....	24
2.2.1	Isovistas e <i>Visibility Graph Analysis</i>	24
2.2.2	Mapa Convexo	26
2.2.3	Mapa Axial.....	26
2.2.4	Mapa de segmentos	28
2.2.5	Road Center Lines (RCL)	29
2.2.6	<i>Justified Graphs</i>	30
2.3	Métricas em Sintaxe	31
2.3.1	Integração (ou <i>Closeness</i>).....	31
2.3.2	Escolha (ou <i>Betweenness</i>)	32
2.3.3	Controle.....	33
2.3.4	Conectividade	33
2.4	Estado da arte: Potenciais e Problemática	34
2.5	Necessidade de análises tridimensionais: Uma revisão a partir de autores.....	38
2.6	Considerações do capítulo.....	44
3	A SINTAXE ESPACIAL E A TRIDIMENSIONALIDADE EM AMBIENTES DIGITAIS	46
3.1	Primeiras tentativas.....	46
3.2	Aprofundamento de métricas	46
3.3	Campos visuais e isovistas	47
3.4	Aprimoramento em Mapas axiais.....	48
3.5	Difusão das ferramentas e das análises SIG	50
3.6	Progressos com <i>justified graphs</i>	53
3.7	Interoperabilidade algorítmico/paramétrica	54

3.8	Outras soluções.....	55
3.9	Evolução dos recursos tridimensionais.....	57
3.9.1	Tridimensionalidade e Isovistas.....	57
3.9.2	Tridimensionalidade e deslocamento vertical	69
3.10	Recursos digitais fora da Sintaxe Espacial.....	71
3.11	Resultados	78
3.12	Discussão.....	84
4	ANÁLISE PRÁTICA COM CONFIGURBANIST	87
4.1	Recorte do estudo	88
4.2	Código modelo do CONFIGURBANIST.....	90
4.3	Análises.....	94
4.3.1	Teste com a malha urbana completa	95
4.3.2	Teste com o Bairro Bom Jardim.....	98
4.3.2.1	Análise 3: Network Distance Calculator - <i>FlatLandscape/Topographic</i>	99
4.3.2.2	Análise 4: Componente Walker - <i>FlatLandscape/Topographic</i>	101
4.3.3	Tentativas de solução da problemática.....	102
4.3.4	Comparação das análises <i>flat</i>.....	103
4.4	Conclusões e Sistematização dos resultados	105
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	107
	REFERÊNCIAS.....	110

1 INTRODUÇÃO

A Teoria da Sintaxe Espacial tem gerado consideráveis contribuições para o entendimento da acessibilidade espacial ao longo de seus 38 anos de existência. Os avanços na abrangência de suas aplicações e robustez da sua metodologia tem sido realizadas por autores que a investigam profundamente. Neste sentido, o tema da inclusão da tridimensionalidade em ferramentas digitais da Sintaxe Espacial tem sido abordado por vários pesquisadores que evidenciam o caráter reducionista da abordagem bidimensional, argumentando que análises 3D são recomendáveis para captar aspectos essenciais do espaço, tais como topografia, altura de edificações, deslocamentos verticais em elevadores e escadas etc.

No entanto, apesar de se encontrar publicações atuais que ainda apontam a necessidade da criação de técnicas e métodos analíticos que incorporem a terceira dimensão em Sintaxe Espacial, ferramentas digitais para este fim têm sido propostas pelo menos desde 1997. Contudo, apesar das soluções existentes, observa-se uma descontinuidade entre a criação e o desenvolvimento dessas ferramentas, fazendo com que a discussão sobre tridimensionalidade ainda seja retomada, mesmo após 25 anos desde a primeira proposta para solucionar esta problemática.

Diante disso, pergunta-se: os elementos tridimensionais do espaço influem, de fato, nas análises de Sintaxe Espacial? Se sim, como devem ser inseridos nas ferramentas digitais e qual a contribuição dessas ferramentas para o contexto digital da Teoria e de outras metodologias digitais atuais? Esta dissertação investiga as causas desta descontinuidade no desenvolvimento destes recursos digitais em Sintaxe Espacial, sobretudo nos que realizam análises tridimensionais. Objetiva também traçar potencialidades e limitações analíticas de certo número delas quando aplicadas em um estudo prático.

A pressuposto desta pesquisa é de que estas ferramentas carecerem de base teórica para inserção dos elementos da terceira dimensão na Teoria da Sintaxe Espacial. Alguns autores levantam que a causa de tal ausência seja devido à incompletude dos recursos analíticos ou devido à dificuldade de adaptação destas ferramentas aos diferentes contextos urbanos e necessidades analíticas. Ainda assim, não existem abordagens teóricas que objetivam responder diretamente a estas questões.

Acredita-se que este trabalho contribui rumo à solução da problemática ao apresentar um panorama do desenvolvimento das ferramentas digitais da Sintaxe desde sua origem até o momento presente, sejam elas tridimensionais ou não. Este panorama permite traçar como a Sintaxe se relacionou com estas ferramentas digitais ao longo de sua evolução, bem como as características que podem favorecer ou prejudicar a difusão e o desenvolvimento destes recursos. Além disso, compara e deduz de suas possibilidades analíticas, seus potenciais e limitações, propondo sugestões para desenvolvimentos futuros.

O aprimoramento das ferramentas digitais da teoria da Sintaxe Espacial, em especial no que tange à inclusão da terceira dimensão em suas análises, muito pode contribuir para o desenvolvimento dos processos digitais de projeto, abordagem que ganha destaque na arquitetura e urbanismo contemporâneos. Tal aprimoramento possibilita análises mais amplas e precisas, contribuindo para concepção de ambientes cada vez mais coerentes com os anseios e necessidades atuais.

Para isso, foram seguidos os seguintes objetivos:

Objetivo geral

Compreender o estado da arte e o cenário das aplicações das ferramentas digitais 3D da Sintaxe Espacial e investigar o embasamento teórico, limites e potencialidades de uma destas ferramentas que considere a topografia do espaço em suas análises.

Objetivos específicos

- a) Fazer o levantamento sistematizado da existência de ferramentas digitais que levem em conta análises de elementos tridimensionais do espaço no campo da Sintaxe Espacial através da revisão de literatura e sistematizá-los;
- b) Examinar o embasamento teórico utilizado pelos criadores das ferramentas digitais ao criá-las.
- c) Desenvolver um estudo prático aplicado de uso de uma destas ferramentas que contemple a tridimensionalidade, tendo como estudo de

caso a cidade de Ipatinga - MG para analisar as potencialidades e limitações da ferramenta;

- d) Delinear, a partir dos resultados obtidos, as lacunas existentes por tais *softwares* e os possíveis caminhos para o aprimoramento e continuidade e aprofundamento da terceira dimensão no contexto da Sintaxe Espacial.

1.3 Aspectos Metodológicos

Este trabalho se caracteriza como uma pesquisa de caráter exploratório, que em um primeiro momento utilizou-se de uma revisão de literatura sistematizada sem metanálise nos anais dos 12 Simpósios Internacionais de Sintaxe Espacial que ocorrem bianualmente desde 1997. Esta fonte de dados foi escolhida dado seu alcance e visibilidade internacional, tendo como foco específico a metodologia de Hillier e Hanson (1984). Além disso, oferece a conveniência de reunir as publicações de pesquisadores com renome e autoridade na área. Também foram consultados outros trabalhos em outras plataformas quando citados pelos trabalhos presentes dos 12 Anais, além de relatos pessoais dos próprios criadores de algumas ferramentas.

As ferramentas levantadas foram sistematizadas através de quadros e diagramas com as seguintes variáveis de classificação: 1) Ano de origem; 2) estrutura (*standalone software* ou *plugin*); 3) ambiente *Computer Aided-design* (CAD), Sistema de Informações Geográficas (SIG), Building Information Modelling (BIM) ou algorítmico/paramétrico e capacidade (tridimensional ou bidimensional). Esta sistematização permitiu traçar um panorama e o estado da arte da aplicação das ferramentas digitais em Sintaxe Espacial.

No segundo momento, tendo as ferramentas catalogadas conforme as variáveis estipuladas, pôde-se selecionar uma ferramenta 3D para estudo prático através de um estudo de caso. Para isso, utilizou-se do plugin *CONFIGURBANIST*. Apesar de não ser uma ferramenta criada especificamente para realizar análises Sintáticas, o *CONFIGURBANIST* foi escolhido uma vez que ela é a ferramenta mais próxima do contexto sintático que possibilita inclusão do elemento topográfico através das métricas *Betweenness* (Escolha) e *Closeness* (Integração) de um tecido urbano sobreposto a um modelo digital de terreno. Estas análises foram realizadas com uma metodologia proposta pelo próprio autor, que visou explorar, em etapas, a capacidade

da ferramenta em lidar com diferentes escalas do ambiente urbano e a compatibilidade de seus resultados com aqueles obtidos pelo *DepthMapX* e *SpaceSyntaxToolkit*.

1.4 Estrutura do trabalho

Esta dissertação é composta por três capítulos principais além dessa Introdução e das Considerações Finais. O Capítulo 2: *A Sintaxe Espacial e a problemática tridimensional* revisa os principais conceitos e métricas da Teoria da Sintaxe Espacial a fim de embasar a discussão da tridimensionalidade. Ressalta a contemporaneidade da metodologia proposta por Hillier e a pertinência de se estudar o tema em pauta. Traz ainda o posicionamento de autores acerca da necessidade das análises tridimensionais e o direcionamento para as abordagens do capítulo 3.

No Capítulo 3: *A Sintaxe Espacial e a Tridimensionalidade em Ambientes Digitais* são analisadas as ferramentas digitais criadas ao longo dos 38 de existência da Sintaxe. É abordado o contexto em que foram criadas, seus objetivos e potenciais analíticos a partir das descrições encontradas no material analisado. A partir disso é possível traçar um panorama das contribuições digitais para a Teoria e suas análises, o estado da arte das ferramentas tridimensionais, bem como uma abordagem crítica sobre as melhorias necessárias.

O Capítulo 4: *Análise Prática com CONFIGURBANIST*, traz os resultados das análises realizadas com o *plugin CONFIGURBANIST* para *Rhinoceros/Grasshopper* detalhando os resultados obtidos bem como os desafios advindos da tentativa de explorar os limites e potencialidades da ferramenta.

Por fim, no Capítulo 5: *Considerações Finais*, são apresentadas as conclusões gerais do trabalho, as dificuldades encontradas e também as perspectivas para pesquisas futuras.

2 A SINTAXE ESPACIAL E PROBLEMÁTICA TRIDIMENSIONAL

A primeira parte deste capítulo retoma conceitos necessários em Sintaxe Espacial para se compreender a problemática da tridimensionalidade, abordada a partir do item 2.4 e do capítulo 3.

Origem e aprimoramentos

A Teoria da Sintaxe Espacial (*Space Syntax*, no original) vem a público a partir da publicação da obra *The Social Logic of Space* (Cambridge University Press, 1984), livro que reúne o escopo teórico seminal das primeiras conclusões advindas dos estudos de uma equipe liderada por Hillier e Hanson na *University College of London* (UCL). O trabalho foi realizado ao longo dos anos de 1970/1980 e abordava as relações lógicas da configuração espaciais e os efeitos sociais dela advindos. A ideia central introduzida pela literatura da Sintaxe Espacial sugere que a configuração espacial de uma rede de ruas determina a centralidade dos locais que, por sua vez, influencia a forma como as pessoas se movem.

Esta relação é desenvolvida de natureza relacional. Analisa propriedades espaciais a partir das relações que partes do espaço estabelecem com todas as outras partes de um mesmo sistema, definindo as barreiras e permeabilidades do conjunto. É, portanto, um conjunto de técnicas que buscam compreender as relações espaço-sociedade e as leis que os regem. Conforme destaca Hillier (2014), o espaço não é apenas o plano de fundo onde se desenvolvem as atividades humanas, mas um fator intrínseco a estas próprias atividades, podendo se afirmar que cada tipo de atividade humana tem uma geometria que lhe é própria.

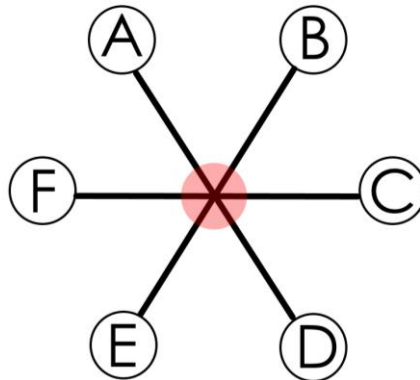
Uma cozinha ou uma sala de estar, por exemplo, possuem localizações estratégicas dentro de uma residência, uma vez que comumente se deseja que tais ambientes sejam os responsáveis por receber ou reunir pessoas. Funcionam, até mesmo como reguladores do acesso de estranhos aos ambientes mais íntimos, definindo espaços de maior ou menor privacidade (HILLIER, 2014). Uma vez percebidas estas relações, os autores propuseram as métricas de integração, escolha e profundidade, dentre outros, conceitos cujos significados têm sido extensivamente trabalhados em publicações ao longo dos quase 40 anos de existência da Teoria como em Turner e Penn (1999), Hillier e Lida (2005), Hillier (2007) etc.

Desta mesma forma, espaços e acessos alocados em uma cidade desempenham diferentes funções de acordo com sua localização. A malha viária estabelece uma hierarquia de caminhos de acordo com a sua acessibilidade. Os espaços que dependem de poucas mudanças de direções (passos topológicos) para serem acessados são espaços mais inteligíveis e, portanto, mais acessíveis. Estes espaços são, geralmente, escolhidos como intermediários para se acessar outros espaços e tendem a ter altos valores de acessibilidade, integração e intermediação (*betweenness*). De outro modo, aqueles espaços profundos, em que são necessários mais passos topológicos para acessá-los, tendem a estarem fora dessa rota de escolha, sendo, portanto, espaços com baixa integração, baixa taxa de escolha como caminhos intermediários entre quaisquer outros dois espaços (HILLIER, 2007).

A parcela de movimento gerada pela configuração da estrutura espacial é chamada na Teoria de Movimento Natural. Esta configuração pode determinar ou até mesmo “obrigar” os circulantes a utilizarem tal ou qual rota para se deslocarem de um ponto ao outro. Em uma malha, por exemplo, com os pontos A, B, C, D, E e F dispostos em uma extremidade (Figura 1), não conectados diretamente uns aos outros, mas com seus caminhos convergindo a um centro comum, levaria necessariamente todos que circulam no espaço a se encontrarem no ponto de convergência da malha. Este “ponto de encontro” dos fluxos geraria no local com a predisposição para a origem de uma “centralidade comercial”, por exemplo. Hillier (2007) considera esta relação de Configuração x Atração como uma força poderosa na formação da cidade, determinando certos tipos de uso do solo e a densidade ocupacional deles.

Uma vez que o foco da teoria é o estudo e entendimento das Leis espaciais que regem o movimento de pessoas, a busca por um princípio universal (Lei, no conceito científico) ocorreu na escala do edifício e da cidade. Disso resulta que a Teoria não se restringe ao estudo de edificações, mas igualmente ao ambiente urbano. Ademais, é notável que neste campo as contribuições da Sintaxe Espacial para melhor compreensão do aspecto social do espaço da cidade têm sido consideráveis.

Figura 1 - Imagem esquemática dos encontros de fluxos



Fonte: Produzido pelo autor (2022).

Legenda: Sem possibilidade de ligação direta entre os pontos, o movimento é condicionado a um centro comum que recebe o fluxo de toda circulação espacial, formando um espaço propício ao desenvolvimento de comércios, por exemplo.

Segundo os preceitos da Sintaxe Espacial, a configuração é o fator de maior peso na definição do movimento no espaço, e, portanto, a origem da sua vitalidade. É neste sentido que a Teoria busca abordar a lógica social sob a perspectiva das “economias de movimento”. Este termo foi cunhado pelos próprios autores Hillier (2007), para designar o significado social do espaço gerado a partir da circulação de pessoas (pedestres ou veículos) em determinado ambiente. Reforça a ideia de que a configuração espacial é o mais poderoso determinante na geração do movimento e, portanto, mantenedor do significado social, não sendo plausível afirmar o contrário.

Estas afirmações fundamentam-se a partir das observações de que o movimento humano é sobremaneira guiado por fatores geométricos e topológicos em preferência aos de natureza métrica. Em sua essência, o cérebro humano decodifica a facilidade de se percorrer um caminho pela quantidade de mudança de direções que precisará realizar, e não pela distância linear e métrica dele, conforme comumente se pensa. Neste sentido, quanto maior a quantidade de mudanças de direções, mais passos topológicos ele realizará e, portanto, mais “complexo” é o entendimento do mesmo (HILLIER; LIDA, 2005).

Estabelecendo de forma sistemática estas relações, foi possível realizar a estruturação delas de forma matemática e topológica. Isto significou transformar relações espaciais até então descritas apenas através de discursos e palavras em relações numéricas, quantificando acessibilidade e deslocamentos. Para realização

de tal, estipulou-se valores numéricos a cada um destes ambientes de forma que ao se considerar o todo (conjunto de todos os espaços e suas relações, portanto, do sistema) obtenha-se o valor destas relações traduzidos em números.

Hillier e Hanson (1984) justificou a necessidade de uma teoria analítica na arquitetura e no urbanismo a partir da ideia de que as teorias anteriores aos anos de 1980 eram demasiadamente especulativas e incompletas para abordarem assuntos que devem ser alvo de estudos quantitativos e compreensões multidisciplinares. “Fortemente normativas” e “fracamente analíticas” são os termos utilizados por Hillier e Hanson (1984, tradução nossa), para caracterizar as teorias urbanas que marcaram o século XX, teorias estas que se preocuparam mais em determinar como esses espaços deveriam ser que em como eles realmente são. Em suma, as críticas da Teoria recaem não sobre as normas em si, mas sobre a falta de embasamento empírico para estruturá-las.

O autor defende que esta tendência normativa e não embasada levou o campo de discussão da arquitetura e do urbanismo para um ambiente com excessiva criação de princípios determinísticos ou modelos teóricos com foco em princípios estilísticos, sendo responsáveis por delinear o modo como a arquitetura deveria se dar, sem que necessariamente tivessem qualquer embasamento empírico (HILLIER, 2007). Segundo o autor este excesso de regras determinísticas que indiscutivelmente foram e são absorvidas na realização da arquitetura, sem uma avaliação posterior do que realmente funcionou, contribuíram pouco para a construção de um corpo de conhecimento robusto em arquitetura e urbanismo.

Um corpo de conhecimentos satisfatoriamente embasado e guiado por estudos de observação e análises, seria responsável por mostrar, ou pelo menos contribuir para elucidar como a Arquitetura realmente é e por quais Leis os fenômenos sociais e espaciais são regidos. No entanto, conforme se observa, basta a reprodução de um único destes modelos teóricos equivocados para que culmine com o fracasso, como foi o caso evocado por Hillier (2007, p. 39) das tão discutidas arquiteturas modernistas.

Assim, a Sintaxe Espacial surge com o propósito de contribuir para o desenvolvimento de uma abordagem mais criteriosa e desenvolvimentos metodológicos, mas empíricos e seguros no campo da Arquitetura e Urbanismo. Hillier (2007, p. 3) explica sua tentativa de encontrar as “Leis” da arquitetura, no sentido estrito de como se entendem as Leis científicas. Claramente, seu propósito não é

reduzir a arquitetura à uma abordagem mecanicista ou estritamente formal, mas tornar claras relações espaciais subjetivas que são pouco entendidas ou apreendidas por nós apenas de forma inconsciente.

Para alcançar tal fim, seu esforço foi o de observar certas regularidades manifestadas no fenômeno espacial para investigar suas possíveis causas e, por consequência, deduzir as leis que as regem. Sendo assim, dos vocábulos “Teoria analítica”, pode-se depreender um corpo de conhecimento com forte evidência empírica que confere à ideia (ou teoria) o status de científica. É este, justamente, o intento de Hillier e equipe com as publicações da então chamada Teoria da Sintaxe Espacial que trouxe como núcleo a ideia de configuração espacial como ordenadora dos fenômenos sociais do espaço.

Desde sua publicação em 1984, a Teoria da Sintaxe Espacial tem ganhado destaque em âmbito mundial e chamado a atenção de pesquisadores que têm se voltado ao seu aprimoramento e aplicação constantes ao longo dos anos. Tal foi seu alcance que o interesse pelos seus princípios gerou a realização de simpósios internacionais que desde 1997 têm acontecido de forma bianual e cujos anais têm se dedicado a publicações e estudos desenvolvidos nos mais diversos aspectos da Teoria, feitos nos mais diferentes centros de pesquisas mundo afora (*School of Architecture and the Built Environment*, KTH, Suécia; *Delft University of Technology*, Países Baixos; *Georgia Institute of Technology*, EUA; *Istanbul Technical University*, Turquia; Universidade de Brasília e Universidade Federal de Pernambuco, Brasil; *Pontificia Universidad Católica de Chile*, Chile; *Beijing Jiaotong University*, China e *Sejong University*, Seoul, Coreia do Sul).

É vasto o número de pesquisadores que ao longo dos anos têm se utilizado de seus métodos de análise e contribuindo para seu desenvolvimento teórico, metodológico e para sua aplicabilidade interdisciplinar. Estes pesquisadores tiveram, de certa forma, tanto peso para o desenvolvimento da teoria que existe atualmente um considerável contingente de novos conceitos e métodos analíticos nela incluídos que vieram graças ao empenho dos seus continuadores, tais como Turner e Penn (1999) Hillier, Penn, Hanson, Grajewisk e Xu (1993), Turner (2001), Figueiredo e Amorim (2005) e Hillier e Lida (2005).

Os anos de 1970 e 1980 marcaram também o surgimento de outras linhas de abordagem até certo ponto semelhantes. A Linguagem de Padrões de Alexander, Ishikawa e Silverstein (2013) e a Gramática das formas de Stiny e Gips (1972) se

assemelham à Sintaxe no sentido de que buscam tornar claro o processo de criação do espaço e colaborar para a racionalização e compreensão de suas relações intra e extra sociais. Tais relações, uma vez mensuráveis, possibilitaram sua associação com recursos computacionais em suas análises.

A mesma época foi marcada pelo franco desenvolvimento de recursos digitais e computacionais que foram incorporados pela Teoria possibilitando a automatização de cálculos e desenhos, aprimorando as análises elaboradas em seu escopo metodológico. A utilização da capacidade computacional de processamento na Teoria ocasionou a evolução dos recursos associados a metodologia nos anos que se sucederam, ganhando maior visibilidade e aumento de pesquisas na área, uma vez que na Sintaxe enxergaram uma forma promissora de se aprofundar na lógica de funcionamento da acessibilidade espacial.

As métricas da Teoria vêm sendo sucessivamente testadas de forma a se avaliar sua capacidade preditiva e suas limitações metodológicas. Asami *et al.* (2003) contribuem para demonstrar a robustez e capacidade preditiva dos métodos sintáticos. Apesar dos pontos apontados por eles como sendo merecedores de aprimoramento (consideração de elementos tridimensionais do espaço, por exemplo), demonstram que as métricas da Sintaxe Espacial têm considerável precisão na identificação das diferentes características de centralidade urbana.

Trigueiro (2012) relata o emprego da análise sintática espacial em Natal-RN por ocasião da implantação de uma segunda ponte sobre o rio Potengi. Segundo a autora, após avaliar a situação urbana da região em aproximadamente uma década após a execução da ponte, foi possível verificar que as análises sintáticas realizadas na época não só foram satisfatórias na interpretação do caráter configuracional do espaço, como também foram capazes de prever aspectos urbanos relativos ao crescimento da especulação imobiliária local, fator que pode ser notado atualmente pela completa transformação do *skyline* da região.

Outro exemplo é encontrado no trabalho de Ourique *et al.* (2017, p. 2104), em que se realizou a comparação do movimento de pessoas no mundo real com aqueles feitos em ambientes de realidade virtual através de imersão com óculos 3D em realidade virtual. Os resultados não só foram comparados entre si como também às métricas de Integração e Escolha trabalhadas pelas análises da Sintaxe Espacial. Os resultados corroboram para a capacidade preditiva das análises sintáticas, sendo considerado pelos autores como uma “correlação positivamente alta”. Vale notar que

a precisão e robustez dos dados sintáticos já vinham sendo defendidas por Hillier (1999), ocasião em que o autor argumentou a favor de que os aspectos métricos e geométricos estão subtendidos nos mapas axiais. Ainda assim, os anos foram férteis de trabalhos que procuraram o aprimoramento dos eixos axiais (TURNER; PENN, 1999; KOLOVOU *et al.*, 2017) contribuindo para sua precisão e melhor aplicabilidade em situações complexas.

Estes são alguns exemplos de estudos que demonstram a frequência com que análises sintáticas em diferentes realidades e contextos espaciais tem mostrado que o sistema de barreiras e permeabilidades espaciais conduzem o movimento no espaço e promovem encontros e esquivanças, definindo diferentes níveis de acessibilidade e centralidade. Estes resultados têm corroborado para reforçar as ideias propostas desde Hillier e Hanson (1984) e apontar a relação configuração-movimento como uma provável Lei espacial proposta desde o início da Teoria. Entende-se, portanto, que o espaço pode gerar ou controlar o movimento que nele acontece. Ambos os padrões, no entanto, advêm da ideia básica de que a configuração geométrica do espaço molda padrões de movimento e co-presença, conforme explicado e detalhado também por Hillier e Lida (2005) e Hillier (2014).

Principais conceitos

A Sintaxe Espacial se utiliza de três elementos básicos para interpretação do espaço: o mapa convexo, o mapa axial e as Isovistas.

2.2.1 Isovistas e *Visibility Graph Analysis*

Isovistas são linhas de visão que percorrem um espaço aberto a partir de um ponto permitindo conexão visual com outros pontos do espaço. Conceitos destas percepções visuais e suas relações com a acessibilidade começaram a ser trabalhadas em Tandy (1967) e Gibson (1979). Baseado nessas ideias iniciais, Benedikt (1979, p. 47) propôs o conceito das Isovistas no campo da arquitetura, definindo-as como “o conjunto de todos os pontos visíveis a partir de um determinado ponto de vista”. Turner (2001) apontou que as isovistas são uma maneira intuitivamente atraente de pensar sobre um ambiente espacial porque fornecem uma descrição do espaço 'de dentro', do ponto de vista dos usuários como eles percebem,

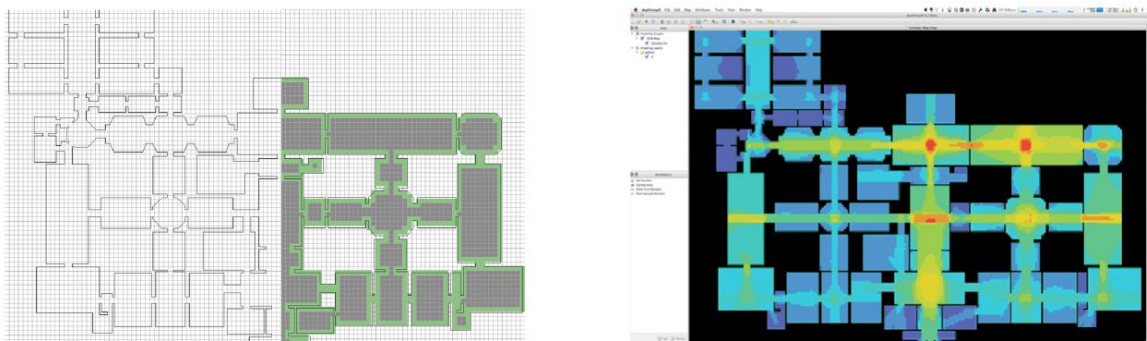
interagem com ele e se movem por ele. Desde então, as isovistas tem sido recurso amplamente utilizado como indicador de acessibilidade espacial.

Apesar de vislumbrar os potenciais do conceito de isovistas para compreender aspectos de acessibilidade espacial, o trabalho de Benedikt (1979) não apresentou nenhuma diretriz formal para se interpretar ou analisar os resultados das análises. Para suprir essa limitação, Turner e Penn (1999) e Turner, Doxa, Osullivan e Penn (2001) trabalharam os conceitos das isovistas a partir das ideias de Hillier e Hanson (1984) implantaram a metodologia dos *Visibility Graph Analysis* (VGA), aprofundando os fundamentos computacionais dos *visibility graphs* e isovistas, incorporando-os oficialmente nas análises da Sintaxe Espacial.

O método VGA produz um gráfico de locais mutuamente visíveis em um *layout* espacial denominado gráfico de visibilidade. O VGA (Figura 2) é implementado e amplamente utilizado por acadêmicos e profissionais por meio do *software* de análise de rede espacial *DepthmapX* de código aberto e multiplataforma (VAROUDIS, 2012; TURNER, 2001). Sua principal contribuição é investigar pontos de maior acessibilidade sob o conceito de que espaço visado, é espaço acessado.

Este conceito viria a ser aprofundado com Dalton e Dalton (2009), Varoudis e Penn (2015), Fisher-Gewirtzman (2016) e outros com a incorporação de elementos espaciais que permitem acessibilidade visual, mas impedem o acesso, tais como barreiras baixo do nível dos olhos, janelas, alambrados etc. Ainda assim, o conceito de isovistas e campo de isovistas é do interesse das análises espaciais uma vez que oferecem um modo de interpretar gráfica e computacionalmente a relação entre acessibilidade visual e sua relação com o espaço em torno.

Figura 2 - Construção de um VGA



Fonte: Varoudis e Penn (2015, p. 3).

Legenda: Na esquerda, grid para construção de um mapa de isovistas. Na direita, representação dos resultados de um mapa de isovistas realizado no *DepthMapX*.

2.2.2 Mapa Convexo

Os mapas convexos foram introduzidos por Hillier e Hanson (1984) e se tornaram um dos principais elementos de análise da Sintaxe Espacial. Espaços convexos são representações poligonais de espaços abertos contínuos, em que cada parte de um espaço deve ser visível de todas suas outras partes internas. A regra para desenhar um espaço convexo é que cada polígono deve apresentar a melhor relação área-perímetro, começando com o de maior área (*fattest*). Em uma segunda etapa subsequente, esse sistema de espaços convexos é coberto por um conjunto unidimensional de linhas axiais. Cada espaço convexo deve ser coberto por pelo menos uma linha axial, enquanto cada linha precisa ser a linha mais longa possível (KRENTZ, 2017).

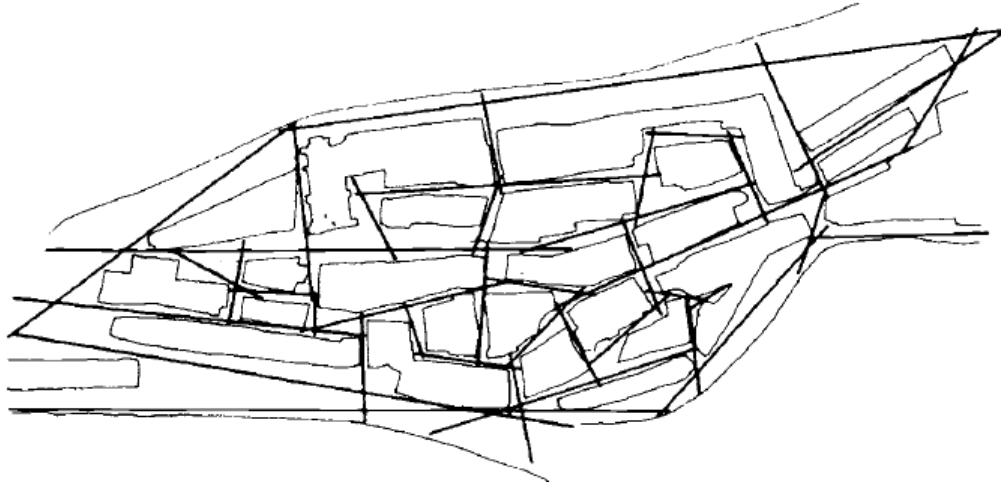
Apesar dos mapas convexos não serem utilizados tão comumente como as Isovistas e dos mapas axiais, desde 1987 o *software SpaceBox* já permitia criação e realização de análises convexas, conforme atestam Penn *et al.* (1997). Apesar disso, os algoritmos para criação de mapas convexos foram duramente criticados segundo Krenz (2017, p. 2 e 3). Carranza e Koch (2013) relataram dificuldades para se traduzir na íntegra, o processo descrito por Hillier e Hanson (1984) para criação de mapas convexos em algoritmos que poderiam automatizar estas análises. Ainda assim, os autores precisaram adaptar alguns conceitos, propondo modelos de automatização para trabalhos futuros.

2.2.3 Mapa Axial

O primeiro modelo de linha axial foi introduzido por Hillier e Hanson (1984) e definido como um sistema das menores e mais longas linhas cobrindo todos os espaços abertos. Estas linhas são o resultado de um processo de duas etapas onde o sistema espacial sob investigação é representado pela primeira vez através de uma organização bidimensional de espaços convexos. Basicamente, uma linha axial é uma linha de visão atravessando os pontos extremos de um ambiente, partindo do pressuposto de que as pessoas usam as linhas como um conceito mental para orientar e se mover pelas cidades, os mapas axiais representam um modelo de espaço urbano essencialmente como uma rede de espaços lineares. Um mapa axial é um conjunto de linhas axiais que cobrem completamente o espaço aberto de uma cidade. Este

mapa pode ser analisado usando métodos baseados em gráficos (BIELIK; SCHNEIDER; KÖNIG, 2012).

Figura 3 - Exemplo de mapa axial



Fonte: Hillier e Hanson (1984, p. 91).

Legenda: Traçado de mapa axial composto pela menor quantidade das maiores linhas capazes de cruzar os espaços vazios.

Os mapas axiais demonstraram ser ótimo recurso para capturar aspectos de acessibilidade espacial. Segundo Penn *et al.* (1997) o *Syntactica software Package* já realizavam análises axiais em 1987. O conceito dos mapas axiais foi aperfeiçoado por Dalton (2001) ao dividir uma linha axial em vários seguimentos e ponderar as medidas de acessibilidade espacial a partir do ângulo de conexão de cada linha axial. Os processos de desenho do mapa axial foram duramente criticados até que foram automatizados pelo *DepthMap 7* (TURNER, 2007).

Quadro 1 - Elementos espaciais básicos em Sintaxe Espacial

(continua)

Quadro Síntese: elementos espaciais básicos para Sintaxe Espacial		
Nome	Implantado por	Definição
Isovistas	Turner <i>et al.</i> (2001)	Linhas de visão que percorrem o espaço vazio. Indica o grau de acessibilidade visual. Um conjunto de isovistas forma um campo de isovistas e é representado através das análises VGA.

Quadro 1 - Elementos espaciais básicos em Sintaxe Espacial

(conclusão)

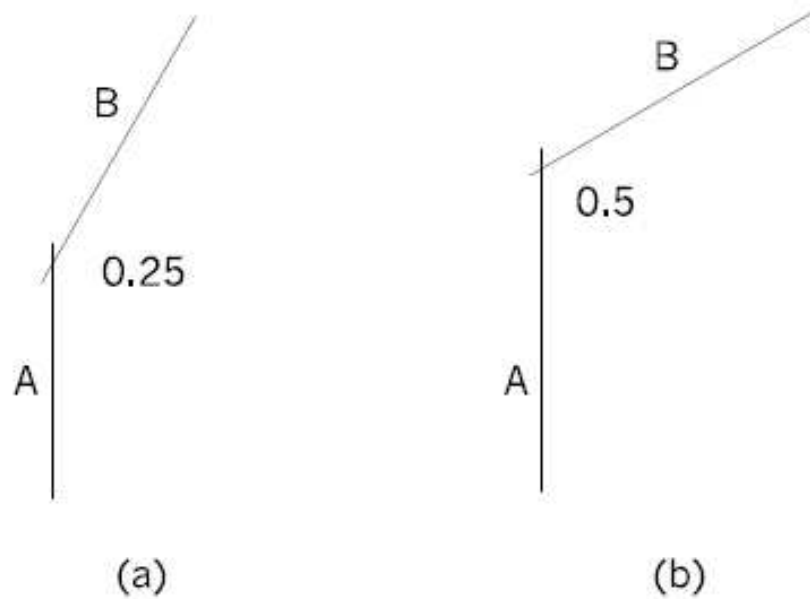
Quadro Síntese: elementos espaciais básicos para Sintaxe Espacial		
Nome	Implantado por	Definição
Espaço convexo	Hillier e Hanson (1984)	Maior polígono delimitado pelo cruzamento das linhas axiais. O conjunto de espaços convexos forma um mapa convexo.
Linha axial	Hillier e Hanson (1984)	Maior linha a cruzar um espaço vazio. Representa o deslocamento retilíneo de uma pessoa através do espaço. O conjunto de linhas axiais forma o mapa axial de onde se deriva as diversas métricas de acessibilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

2.2.4 Mapa de segmentos

A Análise angular de segmentos deriva das análises axiais permitindo maior precisão nas métricas de acessibilidade. Dalton (2001) propôs que as linhas axiais fossem quebradas toda vez que interseccionavam com outra. Disso resultam vários segmentos que podem ser avaliados individualmente permitindo que uma mesma linha axial tenha diferentes padrões de acessibilidade ao longo de seu tamanho total. Além disso, foram implantados pesos (*weights*) através de fatores numéricos segundo o ângulo de incidência de dois ou mais segmentos (Figura 4). Este fator é proporcional à abertura do ângulo de encontro, uma vez observado que o pedestre não só tende a evitar mudanças de direção no percurso, bem como quando é necessária, opta pelas mudanças de direção mais suaves, ou pelos ângulos maiores (TURNER, 2001). Desde então, a distância angular em oposição à distância topológica inicial tem sido repetidamente confirmada como uma melhor aproximação do movimento humano e, conseqüentemente, como um melhor preditor do fluxo de movimento de pedestres e veículos sendo amplamente usada nas análises sintáticas urbanas (HILLIER; LIDA, 2005; BIELIK *et al.*, 2019).

Figura 4 - Análise angular de segmentos



Fonte: Turner (2001).

Legenda: Uma conexão que une duas linhas axiais a 30° uma da outra é ponderada por 0,25 (b) Uma conexão a 60° é ponderada por 0,5.

2.2.5 Road Center Lines (RCL)

Os *Road Center Lines* (RCL), são representações lineares de vias e acessos urbanos obtidas através do traçado do eixo central de cada um destes espaços. Sua utilização dentro da Sintaxe Espacial foi proposta por Dalton (2001) e trabalhado como recurso potencial para substituir o modelo axial (DALTON; PEPONIS; DALTON, 2003; TURNER, 2005, 2007; DHANANI *et al.*, 2012). Os RCL tem sido ainda empregado com a metodologia de análise angular de seguimentos e utilizados em preferência aos mapas axiais. Isso se deve a facilidade de obtenção destes dados e especialmente devido ao vasto número de plataformas SIG que os disponibilizam gratuitamente, tal como o *OpenStreetMap*.

Figura 5 - Modelo de *Road Center Lines*

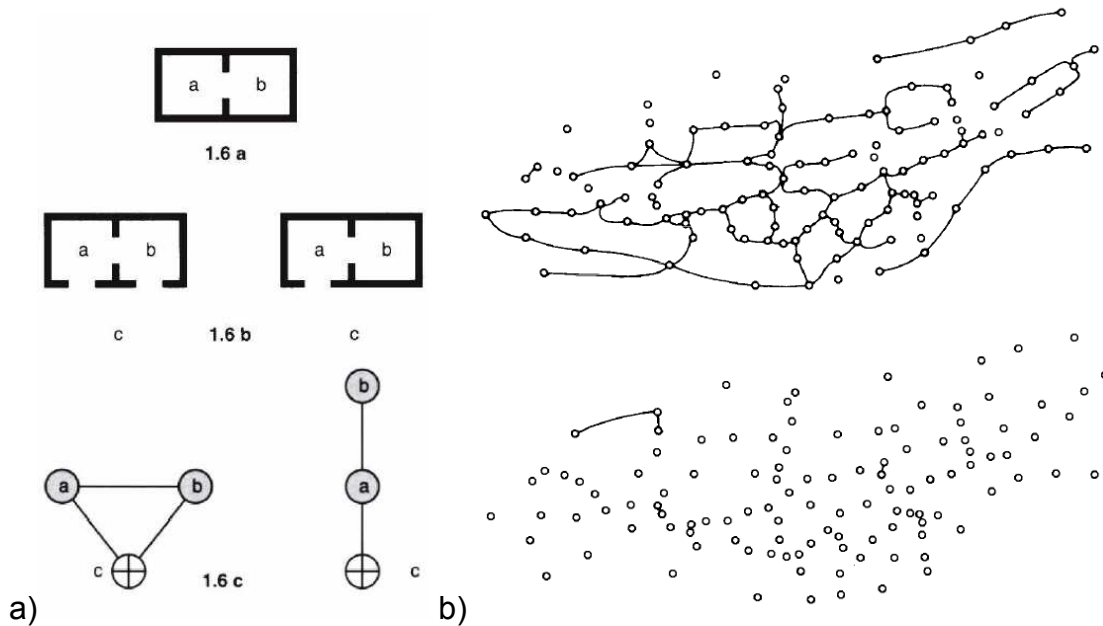


Fonte: Dhanani *et al.* (2012).

2.2.6 *Justified Graphs*

Um *justified graph*, é a representação gráfica simplificada de um sistema de espaços onde cada espaço é simbolizado por um nó (node) ligados através de linhas aos outros espaços que com eles tem ligação direta. O espaço que se deseja analisar é chamado raiz (*root*) e a partir dele estabelece-se a construção de todo restante do gráfico (HILLIER, 2014). A imagem X exemplifica a confecção de um grafo justificado a partir da relação de dos espaços *a* e *b* com o espaço *c*. Este sistema foi implantado por Hillier e Hanson (1984) e permite analisar a profundidade espacial, determinada pela quantidade de passos topológicos necessários para alcançá-lo a partir do espaço raiz. Apesar de ter sido proposto para representação de espaços urbanos ou de edificações, tem sido utilizado para análises em ambientes arquitetônicos, enquanto análises urbanas têm acontecido com os *Road Center Line*.

Figura 6 - Relações espaciais em grafos justificados



Fonte: Hanson (1998).

Legenda: Relações espaciais de um sistema sendo mostradas através de um grafo justificado. A) Espaços de um edifício. B) Espaços urbanos. Cada ponto representa um espaço e as ligações entre eles são representadas por linhas.

2.3 Métricas em Sintaxe

As métricas em Sintaxe Espacial podem ser divididas em duas categorias de acordo com as relações que estão sendo avaliadas em seus elementos: medidas globais e medidas locais. Nas medidas locais são avaliadas métricas de acessibilidade de determinado elemento (uma linha axial ou *road center line* por exemplo) com relação aos outros elementos que fazem conexão direta com ele. Nas medidas globais, por fim, são avaliadas as relações deste elemento com todos os outros elementos do sistema. Para as medidas globais tem-se Integração e Escolha e para as locais Controle e Conectividade (HILLIER *et al.*, 1987).

2.3.1 Integração (ou *Closeness*)

A medida de Integração também pode ser referida como *Closeness*, termo advindo da teoria matemática dos grafos, mas com a mesma equivalência que Integração (HILLIER; LIDA, 2005; ZHANG; CHIARADIA, 2019). É uma métrica sintática que mede a distância média de um elemento a outros de um mesmo sistema.

Esta distância pode ser topológica ou métrica. Ao se avaliar a relação de um elemento com todos os outros elementos do sistema, denomina-se Integração global ($R=n$). Ao se avaliar a relação deste elemento com alguma quantidade determinada de elementos ao seu redor denomina-se integração de raio definido, sendo esse raio um valor em metros ou em passos topológicos (BIELIK; SCHNEIDER; KONIG, 2012).

O valor de Integração ou *Closeness*, é encontrado através do cálculo de Relativa assimetria. Os valores encontrados estarão entre 0 e 1. Valores próximos a 0 são espaços mais rasos, portanto mais fáceis de serem acessados e com maior Integração. Os valores próximos a 1 indicam espaços profundos, com acessibilidade mais restrita e, portanto, baixa integração (HILLIER; HANSON, 1984). Estes valores são obtidos com o cálculo:

$$RA = 2(MD-1) / k-2$$

Onde:

RA = Relativa Assimetria

MD = Profundidade Média

K = quantidade de espaços do sistema

2.3.2 Escolha (ou *Betweenness*)

A Escolha (*Choice*, no original) ou *Betweenness centrality* na teoria matemática dos grafos Hillier e Lida (2005), indica a probabilidade de um elemento (linha axial ou seguimento) ser escolhido em um trajeto mais curto entre dois pontos. É calculada a partir da soma de todos os percursos mais curtos possíveis que utilizam o espaço como parte de sua rota. São obtidos através da fórmula (BIELIK *et al.*, 2019):

$$C_{Betweenness} [i] = \sum_N^i \frac{n_{jk}[i]}{n_{jk}}$$

Onde: N é o número de segmentos no sistema; n_{jk} é o número de caminhos mais curtos entre os nós j e k , e $n_{jk}[i]$ é o número desses caminhos mais curtos que passam pelo segmento i .

Quadro 2 - Síntese de métricas em Sintaxe Espacial

Quadro síntese: métricas básicas		
Métricas	Significado	Alcance
Integração (<i>closeness</i>)	Indica o quão próximo uma linha está de todo resto do sistema ($R=n$) ou de outros espaços dentro de um determinado raio ($R=x$).	Global
Escolha (<i>betweenness</i>)	Indica a probabilidade de um espaço ser escolhido como intermediário de todos os caminhos possíveis entre dois pontos.	Global
Controle	Indica o grau em que um espaço controla a acessibilidade sobre outros espaços próximos a ele.	Local
Conectividade	Fornece a quantidade de espaços que se ligam diretamente a ele.	Local

Fonte: Do autor, 2022.

2.4 Estado da arte: Potenciais e Problemática

Desde seu início a Teoria tem recebido, constantes revisões e refinamentos, como é natural a qualquer outra teoria no campo científico. São muitos os trabalhos que ao longo de todos seus anos têm colaborado para novas abordagens metodológicas dentro da teoria, e um número igualmente significativo daqueles que tem se dedicado a verificar e apontar possíveis pontos de melhoria. Alguns exemplos são, Turner e Penn (1999), Turner *et al.* (2001), Dalton (2001), Batty (2005), Figueiredo e Amorim (2005) e Hillier e Lida (2005), Kolovou *et al.* (2017), entre outros.

Desta forma, o campo de possibilidades para aplicação da Teoria da Sintaxe Espacial difundiu-se entre diversas linhas do conhecimento e usos. Além dos estudos iniciados com Hillier e sua equipe com foco em acessibilidade espacial, a Sintaxe tem sido aplicada com outras abordagens, tais como na arqueologia para entendimento da cultura de povos ancestrais através da hierarquia espacial de suas cidades e edificações (PALIOU; LIEBERWIRTH; POLLA, 2014); no uso de *big data* na tecnologia da informação (KOUTSOLAMPROS *et al.*, 2017); na integração dos grafos justificados em processos de projeto com aplicações BIM (LI *et al.*, 2009); em jogos

de videogames (VAN BILSEN, 2009); na correlação de acessibilidade espacial urbana e taxas de criminalidade Melo Junior e Silva (2018), gramática da forma (HEITOR; DUARTE; PINTO, 2003; LEE; OSTWALD; GU, 2013), Linguagem de Padrões (BIELIK; SCHNEIDER; KÖNIG, 2012) etc.

É vasta a quantidade de trabalhos com críticas à Teoria. Muitas delas, no entanto, fogem do escopo do qual a Sintaxe se propõe a trabalhar. Ressalta-se que nenhuma teoria intenta explicar por completo os diversos aspectos de uma realidade plural que muitas vezes exige uma abordagem multidisciplinar, como é o caso da Arquitetura e do Urbanismo. Sendo assim, não é objetivo da metodologia sintática, por exemplo, explicar toda a realidade urbana e nem mesmo se estabelecer como uma Teoria da Cidade, conforme discutido por autores como Medeiros (2013) e Moraes Netto (2012). Seu objetivo se volta para o entendimento da acessibilidade espacial, sua configuração e os efeitos daí advindos.

Neste sentido, antes de adentrar na problemática do trabalho é importante deixar claro aqueles pontos que devem ser alvo de atenção dos pesquisadores e cuja observação sejam susceptíveis de promoverem progressos à Teoria. Para organização dessas ideias, foi utilizado o critério de Medeiros (2013, p. 160-174) que reuniu as críticas que foram feitas por outros pesquisadores desde os anos de 1980 e as organizou da seguinte maneira:

- a) A abordagem é exclusivamente topológica e despreza aspectos geométricos;
- b) A Sintaxe descarta informações tridimensionais;
- c) A Sintaxe desconsidera informações de uso do solo;
- d) O problema em se desenhar manualmente o mapa axial, gerando diferenças que podem prejudicar os resultados das análises;
- e) O problema ao delimitar a malha urbana que está sendo analisada. Uma vez que os espaços são malhas contínuas, como determinar limites de circulação para confecção dos mapas? Este é o chamado efeito de borda;
- f) Variáveis afins para o movimento: os modelos sintáticos representam apenas um tipo de movimento, enquanto a cidade é composta por vários tipos;
- g) A Sintaxe é mais precisa para capturar taxas de acessibilidade em ambientes urbanos densos, em contrapartida aos rarefeitos;
- h) Determinação dos raios nas análises;

- i) A metodologia sintática é incapaz de apreender aspectos de centralidade em realidades urbanas diferentes como é o caso de Veneza, onde os acessos são feitos também por cursos d'água.

A maior parte destas lacunas já foram solucionadas ou estão sendo trabalhadas. O *DepthMapX* já possibilita a realização de análises métricas na metodologia sintática, solucionando a limitação das abordagens exclusivamente topológicas.

Conforme argumenta Medeiros (2013), a acusação de que a Sintaxe não aborda as informações de uso do solo, não procede. Segundo o autor:

Como etapa metodológica, recomenda-se, além da representação e quantificação (correspondente à construção do mapa axial e à análise da matriz matemática), as etapas de correlação e observação. Cabe ao pesquisador, finalizada a análise do mapa, correlacionar a informação com as variáveis que tenha interesse. (MEDEIROS, 2013, p. 163)

Trabalhos que aprofundam e exploram essa relação de informações sintáticas com uso do solo podem ser encontrados em Gil *et al.* (2015), Koning, Ye, Roald (2017) e Saadallah (2017).

Discussões sobre representação e desenho de mapas axiais iniciaram paralelamente com os desenvolvimentos das ferramentas digitais e a partir da necessidade de se representar ambientes urbanos cada vez maiores e mais complexos. Turner (2007) solucionou o problema do desenho manual dos mapas axiais com o algoritmo para desenho automático inserido a partir do *DepthMap 7*. Ao longo do tempo a comunidade de pesquisadores gradualmente passou a utilizar mapas de *road center lines* em preferência dos mapas axiais. A metodologia evitou muitos problemas advindos de uma melhor falta de padronização de mapas axiais bem como facilitou a aquisição de dados de malhas urbanas cada vez mais frequentes e disponibilizados em plataformas SIG (KOLOVOU *et al.*, 2017).

Uma vez que a malha urbana é um sistema integrado de vias com outras malhas, sejam elas de outras cidades ou dentro de um mesmo município, o recorte escolhido para análise pode distorcer os resultados, especialmente nas bordas do mapa, que tenderão sempre a apresentar resultados de menor conectividade. Esta distorção é chamada de efeito de borda e pode invalidar alguns resultados

(MEDEIROS, 2013, p. 166). A solução para isso reside em estabelecer um padrão metodológico para delimitação das bordas do sistema. Segundo Medeiros (2013) a solução poderia estar na adoção de raios nas análises.

A crítica de que os mapas axiais simplificam o modal de movimento além do desejável (MEDEIROS, 2013, p. 168) também não procede atualmente. Os *Road Center Lines* usados com análise angular de seguimentos em substituição aos mapas axiais têm se demonstrado como recursos aceitáveis para captura da acessibilidade urbana (KOLOVOU *et al.*, 2017). O assunto tem ganhado atenção também no âmbito do transporte público (CHEN; KARIMI, 2019; CHOUBASSI; DIBBLE; BAZZONI, 2019), deslocamento de pedestres (STAVROULAKI *et al.*, 2019), ciclistas (NOURIAN, 2016; MANUM *et al.*, 2017) e outros.

O argumento de que a Sintaxe é falha em captar valores de acessibilidade em cidades de baixa densidade, bem como a problemática levantada tendo como exemplo a cidade de Veneza podem ser corrigidos levando-se em conta os contextos a serem analisados nestas cidades, evitando-se tomar os valores de acessibilidades isolados e como absolutos (MEDEIROS, 2013). O mesmo vale para a definição dos raios a se utilizar nas análises. Seja topológico ou métrico, deve-se buscar na literatura dados que embasam o emprego de determinados raios para o fim que se almeja nas análises. Vale notar que Medeiros (2013) não faz estas críticas, mas as compila com o intento de demonstrar que estas lacunas já estão solucionadas.

Contudo, à par destas frequentes revisões e aprimoramentos, o problema da consideração de elementos tridimensionais no espaço, em especial à da topografia urbana, ainda tem sido recorrente. Os anais dos Simpósios Internacionais da Sintaxe Espacial têm sido férteis em trazerem trabalhos que ressaltam a necessidade de abordagens desse tipo. No entanto, à par das soluções que tem sido proposta, pouco tem sido aceito, ou pelo menos é isso que se infere dada a recorrência da problemática na sua literatura especializada.

Neste sentido, este trabalho se debruça sobre esta problemática na tentativa de esclarecer alguns aspectos sobre esta questão que tem sido nebulosa e igualmente vasta, dado o longo período em que vem sendo discutida. Ainda assim, vale notar que a maioria das soluções propostas são ferramentas digitais, sendo pouco encontrados trabalhos que levam este assunto ao nível de uma discussão teórica aprofundada como seria esperado para importância do assunto.

Diante disso, cabe a pergunta: uma vez que Sintaxe Espacial avalia o deslocamento de pessoas no espaço e é deste deslocamento que advém os diferentes níveis de acessibilidade e centralidade, seriam os elementos tridimensionais do espaço um fator influenciador desse movimento? Se sim, como eles devem ser inseridos nas análises da Teoria? Os próximos itens trazem a abordagem de diversos autores que trabalharam a questão com o intuito de embasar e direcionar as discussões sobre o tema.

2.5 Necessidade de análises tridimensionais: Uma revisão a partir de autores

Como qualquer outra abordagem teórico-metodológica, a Sintaxe Espacial é uma representação mais ou menos simplificada da realidade, e o risco de perda de certos detalhes é inerente à tentativa da criação de modelos representativos (MEDEIROS 2013, p.157). Holanda (2012) citado por Amorim (2012, p. 10) lembra que “não há teoria ‘pau pra toda obra’”, e que “nenhuma pode tudo” e que “todas têm potencialidades e limitações”. Cabe, portanto, questionar se os aspectos tridimensionais do espaço realmente afetam a compreensão espacial segundo a lógica que a Sintaxe se propõe a abordá-lo.

Medeiros (2013, p. 161-163), afirma que o questionamento da necessidade das abordagens tridimensionais na Teoria é pertinente. No entanto, afirma que esta seria uma das perdas naturais inerentes à redução de um modelo teórico. Para Medeiros (2013, p. 157 -163), as tentativas de incorporação de elementos tridimensionais como relevo e variações topográficas nos mapas sintáticos não lograram êxito, mas que apesar da desconsideração destes elementos tridimensionais, a validade do escopo epistemológico da Teoria não foi afetado. Hillier (2007, p. 125), ao relembrar os princípios básicos de sua Teoria, define-a como proposta analítica que aborda a influência da configuração do espaço sobre o movimento, destacando-a como fator preponderante. Hillier (2014) afirma que o espaço é, “em primeiro plano e acima de tudo”, configuracional. Essa afirmação resulta do fato de que o espaço possui propriedades intrínsecas a si mesmo e aquelas advindas da forma como ele se relaciona com outros espaços, uma vez que essas relações geram e ordenam o movimento que nele e através dele acontece.

Ainda assim, tem sido vasto o número de pesquisadores que recorrentemente tem voltado a este ponto. Apesar das afirmações de Hillier (2014) e Medeiros (2013)

a literatura é rica de pesquisadores que ressaltam a necessidade de inclusão de análises tridimensionais em Sintaxe Espacial. Observa-se numeráveis tentativas de se propor soluções para amenizar o problema, mas pouca continuidade em seus desenvolvimentos.

As tentativas de incorporação de análises tridimensionais em Sintaxe Espacial não são recentes. Desde os anos 1990, o problema tem sido trabalhado na tentativa de amenizar as perdas intrínsecas às análises bidimensionais e conforme está exposto na revisão de literatura realizada para este trabalho, a quantidade de autores encontrados que argumentam a favor da necessidade de análises tridimensionais, excede o número daqueles que se conformam com sua abordagem bidimensional (PENN *et al.*, 1997).

Estudando a cidade de Istanbul, Asami *et al.* (2003) consideraram as variações topográficas da superfície como fator de essencial no entendimento da cidade estudada. Os autores apontam forte correlação dos dados altimétricos no entendimento da centralidade espacial daquele contexto. Para eles, este fator é de grande importância no estudo de cidades vernaculares tradicionais tais quais as Islâmicas, onde culturalmente as variações topográficas desempenham um importante papel social e religioso. Uma vez que as linhas axiais são concebidas a partir de um mapa bidimensional, e, portanto, incapazes de captar as mudanças tridimensionais no espaço, consideraram como sendo “urgente” a necessidade de um método que incorpore variações topográficas e outras condições tridimensionais do espaço tais como altura dos edifícios como métricas que indiquem centralidades.

Varoudis e Psarra (2014) discorrem vasta discussão sobre a necessidade de análises visuais em três dimensões e questionam a capacidade das análises VGA tradicionais. Conforme apontam, o espaço não só é pensado de forma tridimensional como estes elementos afetam diretamente a forma como utilizamos o espaço. Conforme lembram, nem todo espaço visto pode ser acessado e por isso apontam para a necessidade do desenvolvimento de um método de análise visual menos reducionista e que contemple melhor a complexidade das relações visuais do espaço. Os autores apontam ainda para uma série de trabalhos em Sintaxe Espacial que desde os anos de 1990 tem proposto a inclusão de análises tridimensionais no campo das isovistas. Segundo eles, tais tentativas foram “excessivamente simplistas”, empregando, em sua maioria, ligações manuais para estabelecer as relações entre

espaços verticais, e que por isso não teriam alcançado a profundidade e embasamento necessários para criação de um modelo de análise satisfatório.

Fisher-Gewirtzman e Natapov, (2014) conduziram uma comparação entre a análise de visibilidade 2D e 3D em um local urbano com condições topográficas substancialmente significativas. O objetivo era averiguar se análises de isovistas tridimensionais realmente podem gerar colaborações substanciais para melhoria das análises. Os resultados apontaram que em áreas com desníveis, tanto 2D quanto 3D tiveram resultados semelhantes, mas que em áreas inclinadas a análise de visibilidade 2D não capturou ou não conseguiu capturar a verdadeira natureza do ambiente 3D.

Dalton *et al.* (2015) argumenta que os trabalhos anteriores focados nos estudos com isovistas, foram incapazes de identificar se a isovista 3D é capaz de melhor captar as informações do ambiente. Segundo eles, as isovistas bidimensionais de Benedikt (1979) eram um avanço significativo para a época, mas que atualmente melhores tecnologias permitem aprofundamentos nas análises. Para este propósito os pesquisadores desenvolveram um software nomeado de nebula utilizado especificamente para a realização das análises de isovistas 3D em ambientes reais. A análise foi realizada através de scanners 3D posicionados internamente em um espaço de uma edificação real.

O objetivo da pesquisa foi verificar se as isovistas tridimensionais capturam melhor as informações de campos visuais melhor que as isovistas tradicionais 2D e, em caso afirmativo se isso invalidaria os métodos anteriores de isovistas tradicionais. Os resultados apontaram que as maiores diferenças entre os dois métodos se deram onde os ambientes apresentam maior complexidade volumétrica e espacial, tais como átrios, a partir dos quais se visualiza vários outros pavimentos da edificação. De forma geral, os pesquisadores consideraram os resultados de suas análises 3D como muito próximos aos de isovistas 2D. No entanto, não se arriscam a traçar conclusões definitivas, apontando, porém, que não há evidências para que os métodos clássicos de isovistas 2d sejam pouco precisos. Complementam sugerindo que os métodos 2D são úteis e que os 3D funcionariam como complemento.

Ruivo (2015) também reitera as limitações das análises visuais 2D especialmente em edifícios de múltiplos pavimentos. A autora utilizou análise visual no interior de treze edificações na cidade de Porto e apontou para insuficiências da metodologia bidimensional para prover resultados satisfatórios de integração do espaço interior dos edifícios com seu exterior. Buscou suprir tal falha com um software

de análises de campos visuais tridimensionais e alega que ele se deu como um complemento potencial para a metodologia tradicional 2D.

Greenber, Natapov, Fisher-Gewirtzman (2017) analisam elementos da paisagem urbana que pudessem afetar a caminhabilidade do pedestre. Seu objetivo foi avaliar os elementos tridimensionais do espaço que mais influenciam o bem-estar do caminhante. Utilizando óculos de realidade virtual, conduziu uma análise comparativa, convidando pessoas a caminharem por este ambiente cujas características ambientais modificavam-se constantemente propiciando diferentes percepções visuais. Diferentes fatores como inclinação dos caminhos, altura dos edifícios do entorno e árvores foram considerados. Os resultados mostraram que os elementos que mais influenciaram na caminhabilidade e bem-estar do pedestre foram as árvores, altura dos edifícios e densidade do ambiente. Sua abordagem não é estritamente sintática, mas traz como base de seus trabalhos os conceitos de isovistas.

Krukar, Bhatt, Schultz (2017), alegam que a transição das análises 2D para 3D teria sido, até então, impulsionada por uma extrapolação direta do conceito isovista 2D, juntamente com uma variedade de suposições implícitas que são válidas apenas no caso 2D. De tais tentativas, fracamente fundamentadas, resultaria no fato de muitos pesquisadores, conforme apresentado nos parágrafos anteriores, não conseguiram propor uma solução definitiva para as análises de isovistas 3D, seja através de uma ferramenta digital, seja através de proposições teóricas. Os autores propõem uma discussão de natureza teórica trazendo aspectos que possam contribuir no esclarecimento da problemática. Conforme apontam, é preciso considerar antes a influência que a estrutura do corpo humano exerce no modo como percebemos o espaço. Primeiramente apontam para o fato de que nosso campo visual é mais amplo em dimensões horizontais que verticais. Isso significa que o nível de facilidade com que captamos as informações visuais nos dois campos são diferentes.

Horizontalmente falando essa maior amplitude se deve à própria simetria dos olhos, estabelecida de forma igualmente horizontal. Disso decorre que a captação de informações visuais da esquerda para direita ou da direita para esquerda são relativamente equivalentes. No campo vertical, porém, o mesmo ocorre uma vez que a localização dos olhos no alto do corpo torna diferente a percepção do ambiente se olharmos de cima para baixo ou o contrário. Conforme argumentam os autores, as análises atuais de isovistas 3D não consideram tais aspectos uma vez que as

informações horizontais são consideradas na mesma proporção de que as horizontais e não se observa nenhuma consideração à assimetria vertical na percepção do espaço (KRUKAR; BHATT; SCHULTZ, 2017, p. 166.3).

Cavic, Sileryte, Beirão (2017) questionam a ausência da consideração tridimensional na metodologia de geração dos espaços convexos propostos por Hillier e Hanson (1984). Conforme questionam, a representação bidimensional e achatada da metodologia de Hillier deixa de considerar elementos importantes ao espaço urbano e aos espaços públicos, tais sejam: diferenças topográficas, aberturas visuais e seus derivados.

Pafka, Dovey e Aschwanden (2018) desenvolvem uma discussão sobre os limites da Sintaxe Espacial no estudo de ambientes urbanos. Os autores destacam o poder analítico da ferramenta, mas afirmam que ela será melhor empregada uma vez compreendidos seus limites. Os mapas axiais são apontados por eles como excessivamente reducionistas para apreensão da real natureza do movimento na cidade. Igualmente aos autores anteriormente citados, alegam que as cidades são, tridimensionais e sua rede de movimentos acontece simultaneamente em níveis sobrepostos e em modalidades diferentes. Caminhada, ciclismo, transporte público são algumas variações deste processo. Soma-se a isso as variações topográficas que os eixos axiais são incapazes de compreender. Os autores propõem como possível amenização ao problema o diálogo da sintaxe com outras disciplinas, promovendo uma abordagem multidisciplinar de seus estudos. Ademais, apontam para necessidade de posteriores desenvolvimentos que lhe amenizem um pouco a simplificação advinda de se abordar o espaço real de três dimensões em modelos bidimensionais.

Outro trabalho a abordar a importância do relevo nas análises sintáticas é de Nourian *et al.* (2015). Para eles, apesar de todos avanços e méritos da Sintaxe, dois aspectos importantes dos ambientes construídos não são abordados em modelos e análises da Teoria, a saber, atributos geográficos como uso do solo e densidade e aspectos físicos como inclinação de rotas. Conforme lembra os autores, o esforço físico do pedestre ou ciclista é fator importante na escolha de caminhos, e por isso, em estudos desta natureza, seria necessário levar em conta tanto os aspectos cognitivos, quanto os físicos da mobilidade, ou seja, topologia e topografia respectivamente.

Greenberg, Natapov e Fisher-Gewirtzman (2017) também defendem a ideia de que os mapas axiais bidimensionais são excessivamente simples e que informações importantes são desconsideradas. Para eles, a ausência do elemento topográfico é prejudicial pois não leva em conta o esforço necessário que o pedestre deve empregar para transpô-lo. Outro aspecto apontado por eles assim como Asami *et al.* (2003) é a forma como as diferentes altitudes influem na consciência espacial, uma vez que diferentes níveis de altitude do espaço geram diferentes obstáculos aos campos visuais.

Ruivo *et al.* (2018) relembram que a problemática 3D em sintaxe espacial é recorrente na literatura e que muitas vezes as soluções têm sido propostas com a adaptação de softwares e recursos existentes. Os autores conduzem estudos de caso em ambientes de diferentes escalas e relatam a incapacidade das análises bidimensionais de assimilarem as complexidades espaciais em seu todo.

Zhang e Chiaradia (2019), Wang *et al.* (2019), Bruyns *et al.* (2019) e Zhang e Chiaradia (2022) mencionam as dificuldades de se utilizar os métodos tradicionais em duas dimensões para se analisar ambientes urbanos densamente complexos como é o caso de Hong Kong, Xangai e outras cidades asiáticas. Nestes ambientes a circulação de pedestres quase nunca se restringe ao sistema viário da cidade. Para se referir a tais ambientes, Bruyns *et al.* (2019) utilizam os conceitos de “Cidades volumétricas” (*Volumetric cities*) para diferenciá-las dos tradicionais “achatados” (*Flat cities*). Os conceitos de *Flat cities* e *Volumetric cities* são emprestados de Read (2005) e Shelton, Karakiewicz, Kvan (2013) respectivamente. Uma cidade ‘volumétrica’, (em tradução livre), seria aquela onde os deslocamentos intraurbanos adquirem complexidades verticais não presentes nas cidades “achatadas”. Em uma “*volumetric city*”, por exemplo, apenas uma pequena parcela do movimento é realizada ao nível do solo (BRUYNS *et al.*, 2019). Existe outra parte de deslocamentos (talvez, sua maioria) que é realizada em camadas paralelas à das ruas, tais como passarelas, elevados, redes de metrô subterrâneas, conexões aéreas entre edifícios etc. Embasado em literatura vasta, Bruyns *et al.* (2019, p. 8) listou as principais dificuldades encontradas no trato com ambientes urbanos complexos através da Sintaxe Espacial. Entre elas estão: a) questões relativas à escala; b) Topografia; c) representação de transportes multimodais e d) Diferenciação de usos de solo. Chama atenção ainda para impossibilidade de se detalhar elementos do eixo Z.

Zhang e Chiaradia (2019) validam o sucesso dos métodos tradicionais da Sintaxe Espacial, em especial o mapa axial, tantas vezes demonstrado como preciso quando aplicado em estudos de caso de cidades europeias. No entanto, também advogam por revisões conceituais para adaptá-lo as realidades urbanas sensivelmente diferentes como no caso das cidades “multiníveis”. Wang *et al.* (2019) relembram que o crescente contingente populacional e a constante pressão no ambiente urbano por espaços cada vez mais multifuncionais e complexos tem marcado sensivelmente o contexto asiático. Nestes ambientes, portanto, os métodos tradicionais “achatados” seriam incapazes de assimilar a real parcela de deslocamento de pessoas na cidade. Soma-se ainda que a ocorrência destas redes de deslocamentos atinge tal complexidade que a função “*unlink*” se torna insuficiente. Conforme defendem os autores, necessário, portanto, seria a busca por ajustes metodológicos necessários para a reaplicação deste método de rede em paisagens urbanas de alta densidade.

2.6 Considerações do capítulo

O levantamento apresentado neste capítulo abordou a origem da Teoria da Sintaxe Espacial, seus principais conceitos e métodos e como eles evoluíram ao longo do tempo. As constantes críticas e apontamentos à teoria ao longo dos anos conduziram-na a uma abordagem teórica e metodológica mais refinada e condizente com a complexidade do espaço, seja arquitetônico ou urbano. Da mesma forma são encontrados autores que desde 1997 tem tentado preencher a lacuna da falta de análises tridimensionais. Ainda assim, apesar de o assunto estar em discussão há 25 anos e diferentemente das outras lacunas apontadas por Medeiros (2013), o problema permanece sem solução definitiva. A revisão de literatura empregada trouxe uma amostra de 16 trabalhos cujos autores alegam ter sido limitados pelos recursos teóricos e metodológicos bidimensionais, tendo eles igualmente sugerido que análises sintáticas tridimensionais são necessárias para suprir tais limitações.

Do referencial estudado nota-se ainda que à medida que as cidades e os espaços se tornam mais complexos, a necessidade de abordagens analíticas mais precisas e profundas aparece. Indiscutivelmente, conforme se reconhece, a Sintaxe Espacial tem limitações, deve ser utilizada com atenção ao contexto empregado e sem generalizações. Sendo assim, apesar das análises bidimensionais terem sido

suficientes em vários contextos, demonstraram ser necessárias em vários outros, onde seu emprego traz potenciais melhoria na compreensão de seus resultados.

Diante do fato, este trabalho adota posição favorável às análises tridimensionais em Sintaxe Espacial, como promissoras complementações aos resultados já bem aceitos de suas métricas de duas dimensões. O problema, no entanto, se apresenta com referência às soluções propostas. Foram encontradas algumas ferramentas digitais para Sintaxe Espacial que utilizam métricas 3D, mas poucas discussões teóricas que embasaram o desenvolvimento delas. Acredita-se que uma análise mais cuidadosa sobre cada recurso digital encontrado para Sintaxe Espacial ao longo de sua existência proporcionará um panorama amplo e interessante para entendimento da sua adaptação aos meios digitais. O capítulo seguinte se encarrega de expor essa compilação e discussões referentes à Sintaxe e sua expansão a partir das suas ferramentas digitais.

3 A SINTAXE ESPACIAL E A TRIDIMENSIONALIDADE EM AMBIENTES DIGITAIS

3.1 Primeiras tentativas

A união da Sintaxe Espacial com recursos digitais data desde os primeiros anos da Metodologia. Penn *et al.* (1997, p. 3) mencionam o *Syntactica software package* de 1987, e o *SpaceBox* de 1989 como ferramentas *standalone* oriundas de estudos que desde 1985 buscaram automatizar os processos analíticos da Sintaxe. Sabe-se que uma atualização do *Syntactica* deu origem ao *SpaceBox*, porém descrições mais detalhadas sobre o *Syntactica* são escassas. Infere-se de seus recursos analíticos simples dado a fato de ser a primeira ferramenta digital para a Metodologia que se tem notícia. Ainda de acordo com relatos como o de Batty (2005), as primeiras ferramentas exigiam desenho manual do mapa axial, realizam análises de áreas no tamanho máximo aproximado de um bairro (500 linhas, segundo BATTY, 2005) e demandavam bastante tempo para computação das métricas, o que confirma que eram recursos simples.

Já o *SpaceBox* é citado também por Desyllas e Duxbury (2001) como *software* para criação e análise de mapa axial do tipo *all line map*. Um *all line map* é um mapa onde são traçadas todas as linhas de visão mais longas que se pode traçar entre quaisquer dois vértices de construção intervisíveis. Isso podia ser calculado automaticamente pelo *SpaceBox*. Menção a essa ferramenta é encontrada também em Krenz (2017, p. 2), segundo o qual sua criação data do ano de 1988 pelo pesquisador Sheep Dalton, além de acrescentar que a ferramenta era capaz também de gerar mapas convexos além dos axiais, um avanço em relação a seu antecessor *Syntactica software package*.

3.2 Aprofundamento de métricas

Ampliando as possibilidades analíticas o *Axman* surge também em 1988 considerando as métricas de Profundidade, Conectividade, Integração ($R=n$) e Controle de mapas axiais. Desenvolvido por Nick Dalton na *University College of London* para a plataforma *MacIntoshi*, o *software* foi criado para análise de mapas axiais urbanos, e graças as métricas analisadas sobressaiu em popularidade dentre

os *softwares* de análise àquela época. O *Axman* foi amplamente difundido e utilizado conforme atestam Turner (2007), Medeiros (2013, p. 150), Kigawa e Seo (2019, p. 4), apesar de nenhum deles fazer uso direto da ferramenta. Apesar do avanço para a época, a ferramenta ainda não possibilitava a criação automática do mapa axial, sendo que este deveria ser desenhado em software CAD e depois importado. O *Axman* serviu ainda de inspiração para a criação de ferramentas futuras: *WebMap*, *WebMapAtHome* (DALTON, 2007), *Confeego* (GIL; STUTZ; CHIARADIA, 2007) e *Segmen* (LIDA, 2007).

3.3 Campos visuais e isovistas

Conceitos primários de percepções visuais no espaço foram trabalhados desde Tandy (1967) e Gibson (1979). Baseado nessas ideias, Benedikt (1979, p. 47) propôs o conceito das Isovistas como sendo “o conjunto de todos os pontos visíveis a partir de um determinado ponto de vista”. Desde então, as isovistas tem sido recurso amplamente utilizado como indicador de acessibilidade espacial.

No entanto, foi Penn *et al.* (1997), Turner e Penn (1999) e Turner *et al.* (2001) que aprofundaram os fundamentos computacionais dos *visibility graphs* e isovistas e os incorporou dentro da Sintaxe Espacial. Desde estes trabalhos, os VGA (*Visibility Graph Analysis*) tem sido empregado na Teoria como importante recurso de análise espacial. Sua principal contribuição é investigar pontos de maior acessibilidade sob o conceito de que espaço visado, é espaço acessado. Este conceito, no entanto, bem aceito em sua generalidade, viria a ser questionado e mais bem trabalhado no futuro.

O progressivo estabelecimento das relações entre as isovistas e os padrões de movimento propostos por Hillier e Hanson (1984) fortaleceram a percepção das fortes correspondências existentes entre o espaço visado e a interação do ser humano. Estas relações foram matematicamente formalizadas com a criação das *visibility graph analysis* (VGA) em Turner *et al.* (2001). Apesar de tentativas anteriores de incorporação de isovistas em Sintaxe Espacial, como a realizada por Penn *et al.* (1997), foi Turner, no início dos anos 2000 que sistematizou uma abordagem matemática para geração das isovistas. Desde então, o *DepthMap*, cuja primeira versão data de 1998, passou por sucessivos aprimoramentos a fim de executá-las, conforme relata Turner (2007).

Com foco no progresso das análises de isovistas, Dalton e Dalton (2001) apresentam o *Omnivista* (*Omnis*, do Latim = todos; *visto*, do Italiano ou *videre*, também do Latim = Visão/ Vistas), um *software* criado por eles em 2001 para *Macintosh* para geração de isovistas 2D. A ferramenta permitia análise de isovistas de 3 formas distintas: na primeira permitia a geração de isovistas a partir de um único ponto, útil para examinar as possibilidades do campo visual de determinado ponto do espaço; na segunda preenchia-se um espaço navegável com uma grade de pontos visíveis e gerar um campo de isovistas a partir de cada um desses pontos; na terceira, por fim, realizava a geração de isovistas ao longo de um percurso, que permitia visualizar como o campo visual se altera à medida em que se caminha no espaço.

O *Omnivista* apresentou ainda a novidade de importar caminhos gerados a partir de dispositivos *Virtual reality* (VR) de ambientes ou caminhos previamente desenhados em softwares CAD. Oferecia como resultado dados numéricos e uma série de imagens que podiam ser combinadas para se formar uma animação das várias isovistas possíveis, simulando o caminho percorrido ao longo da rota. Teve sua primeira versão completada em 1999. Apesar da inovação e completude das análises, não foram encontradas outras referências à ferramenta além desta, dando a entender que sua continuidade foi interrompida.

Desenvolvido e apresentado como protótipo por Markhede e Carranza (2007), o *Spatial Positioning Tool* (SPOT) foi um *software* de análise espacial criado para análises de isovistas 2D em 2007. A ferramenta foi criada para plataforma *Windows* e *Mac* e se propunha a comunicar com outros programas CAD através da exportação e importação de dados, imagens e diagramas. Os autores enfatizaram o SPOT na condição de ferramenta em desenvolvimento e apontam para trabalhos futuros a necessidade de se desenvolver as métricas de Integração e grafos de isovistas. No material revisado não foram encontrados outros autores que fizeram uso da ferramenta.

3.4 Aprimoramento em Mapas axiais

As análises topológicas de mapas axiais eram alvo de maior atenção no início dos anos 2000. As análises axiais foram repensadas com Dalton (2001) que estabeleceu o método de análise angular de segmentos. Diferentemente dos mapas axiais compostos por grandes linhas que cruzavam várias outras, um mapa de

segmento divide uma linha cada vez que ela intersecciona com outra, aumentando a precisão das análises e permitindo que vários valores de acessibilidade pudessem ser atribuídos ao que antes nos mapas axiais era uma única linha. Além disso, estabeleceram um peso (*weight*) baseado na angulação entre os eixos. Posteriormente foram implantadas na Teoria as análises métricas em complemento às topológicas. O *DepthMap* recebeu atualizações com a inclusão dessas novas possibilidades e manteve ainda os métodos anteriores introduzidos pelos *softwares* que o antecederam. O próximo avanço nas análises de mapas viria com a substituição das linhas axiais pelas *Road Center Lines* em Dalton (2003) e Turner (2007) graças a popularização de dados georreferenciados.

Em 2002, surge o *Mindwalk*, de autoria de Lucas Figueiredo, *software* que também ganhou grande aceitação entre os utilizadores da sintaxe e cujo grande diferencial foi possibilitar seu acesso gratuito em escala mundial. Enquanto a maioria dos recursos digitais de análise na sintaxe espacial até então eram de acesso restrito ou pago, o *Mindwalk* chegou a alcançar ao menos 69 países, conforme informação presente em Schaffranek e Vasku (2013). O *software* era executado de forma individual, abstendo-se da necessidade de outros *softwares* de suporte. Incorporou análises de medidas sintáticas trazidas pelos desenvolvimentos anteriores, importando e exportando mapas em arquivos DXF em 2 dimensões.

Neste mesmo período e com objetivos semelhantes, é criado em 2002 o *Webmap*, *software* de aquisição livre e também para processamento de mapas axiais, conforme informa Dalton (2007). O *software* executava análises axiais com as medidas padrões de Hillier e Hanson (1984) (Integração, conectividade e controle) e foi desenvolvido para funcionar de forma a não depender de outras ferramentas de suporte, apesar de os resultados obtidos em suas análises serem de inteira compatibilidade com os *softwares* da geração anterior, como o *Axman*. Seus desenvolvimentos e aprimoramentos originariam o *WebmapAtHome*.

Batty (2005) apresenta o *Accessibility analysis of Junctions and Axial Lines* (AJAX), *software* para análises urbanas criado em 2005 que permite que os usuários executem as análises sintáticas tradicionais, com a relação *linhas x linhas* e apresenta uma novidade para a época: análises a partir dos pontos, ou junções criadas ao contado de duas ou mais linhas. Os autores chamaram atenção para interface simples e amigável para pesquisadores com pouca familiaridade com esta natureza das

análises. No entanto a ferramenta permitia apenas análises de mapas com tamanho máximo linhas axiais.

O *WebMapatHome* foi apresentado por Dalton (2007), ferramenta focada na criação e análise de mapas axiais. *Standalone software* que diferente do seu antecessor *WebMap* por dispensar o uso da internet para execução das análises. Elaborado para atender a iniciantes em Sintaxe Espacial e análises computacionais, o *software* permitia comunicação com outros softwares CAD ou SIG através da exportação de arquivos formato DXF. Dalton e Dalton (2009) relatam a utilização do *software* para realização de análises sintáticas e não há menções posteriores de uso do *WebMapatHome*.

A geração automática de mapas axiais chegaria apenas com a sétima versão do *DepthMap* em 2007 (TURNER, 2007). Apesar de o *software* existir desde 1998, no início limitou-se ao processamento de isovistas. Além da possibilidade de se criar mapas axiais automaticamente, as análises podiam também ser feitas a partir da importação de arquivos 2D em formato DXF e os resultados eram dados pelos grafos de visibilidade em escalas de cores que diferenciavam o grau das medidas topológicas e das métricas sintáticas analisadas (TURNER, 2007). Tais aprimoramentos se deram a partir da incorporação sucessiva de algoritmos que possibilitaram a superação de dificuldades apresentadas por ferramentas anteriores para análises de malhas urbanas mais complexas.

3.5 Difusão das ferramentas e das análises SIG

Apesar dos avanços apresentados, o *DepthMap* (1998), era então propriedade exclusiva da *UCL*, tendo maior alcance apenas a partir de 2012 com a nova versão *DepthMapX* de Varouldis (2012), quando foi disponibilizado gratuitamente, conforme ainda acontece atualmente. A versão tornou-se um dos *softwares* mais bem conhecidos e utilizados dentro da Sintaxe. Sua versão atual (*DepthMapX* 8.0, 2022) realiza análise de isovistas 2D, mapas axiais e de seguimentos, com passos topológicos e métricos em raios locais e universais ($R = n$). A ferramenta incorporou também o recurso “*unlink*” usado para desconectar seguimentos que se cruzam, mas não se conectam, tais como viadutos, pontes, passarelas de pedestres, túneis etc. Além dessas possibilidades, com o *DepthMapX*

foi possível fazer a interoperabilidade dessa ferramenta com ambiente SIG através de Gil *et al.* (2015) com o *plugin Space Syntax Toolkit for GIS* (SSToolkit).

Outros softwares SIG como *ArcView* e o *MapInfo* também receberam complementos para utilização da Sintaxe Espacial em ambientes SIG. A primeira associação data de 1999, com o *plugin Axwoman* criado por Jiang, Claramut e Batty (1999). Inicialmente foi desenvolvido como extensão para o *software* SIG *ArcView*. E realizava análises de mapas axiais e convexos, porém era incapaz de gerá-los automaticamente conforme atesta Li *et al.* (2009).

Ainda sobre interoperabilidade entre Sintaxe Espacial e SIG, o *Place Syntax Tool* (PST), foi um *plugin* criado por Stähle, Marcus, Karlstrom (2005). A ferramenta segue a mesma linha do *Axwoman* de Jiang, Claramut e Batty (1999), porém como uma extensão para o *software MapInfo*. Manum e Nordstrom (2013) usaram o *Place Syntax Tool* para realizar análises sintáticas e compará-las com dados empíricos do movimento de ciclistas. Os resultados sugeriram que tanto a ferramenta quanto a Sintaxe têm potencial para prever circulação de bicicletas, assim como comumente realiza para pedestres. Law *et al.* (2019) também relata o uso da ferramenta para computar métricas de Escolha Angular em uma localidade urbana.

Visando a construção de uma ferramenta com suporte de profissionais da área, a *Space Syntax Limited Ltda* propõe outro *plugin* para o *MapInfo*, desenvolvendo-o sob acompanhamento e consultoria de arquitetos e pesquisadores da *Space Syntax Limited*. O *Confeego* (2007), desenvolvido sob iniciativa privada, mas disponibilizado livremente para fins acadêmicos. A ferramenta, no entanto, foi considerada complexa, não sendo indicada para pesquisadores com pouco conhecimento em Sintaxe Espacial ou SIG conforma apontam Gil, Stutz e Chiaradia (2007). Ainda assim, o fato desta ter sido desenvolvida com profissionais que atuam no mercado juntamente com os pesquisadores, aponta para amenização de um problema que segundo alguns pesquisadores (KIM, 2017) é a causa para falta de êxito de muitas ferramentas: o caráter exclusivista que pouco considera o contexto e a necessidades de outros pesquisadores e profissionais senão daqueles que as criam.

iVALUL, acrônimo para *Intangible Value of Urban Layout* (CHIARADIA *et al.*, 2008), foi um complemento para o *software* SIG *MapInfo* desenvolvido para fazer parte de um projeto de mesmo nome coordenado pela *Space Syntax Limited* e apoiado pela *University College of London* (UCL) juntamente com a *University of East London* (UEL). O projeto *iVALUL* buscou integrar informações socioeconômicas ao *layout*

urbano, focando na validação dos temas: segurança patrimonial; segurança pessoal; valores dos centros urbanos; valor de propriedades residenciais e o design no domínio público (CHIARADIA *et al.*, 2008). Baseado no complemento *Confeego* de Gil, Stutz e Chiaradia, (2007), o *iVALUL* automatizava e padronizava as várias etapas dos processos de avaliação do layout urbano expostas acima.

Apesar de permitir o recurso de “*unlink*”, mesma ideia presente no *DepthMapX*, a ferramenta lidava apenas com informações bidimensionais. Após a preparação dos arquivos de *input* (malha urbana), *iVALUL* permitia o processamento de diferentes tipos de análises, inclusive trabalhar em conjunto com o *DepthMap* para geração de métricas de *Betweenness* e *Cloenes*. Chiaradia *et al.* (2008) apontam que a ferramenta apresentada por eles estava em fase inicial, apesar das promissoras potencialidades. Apontam ainda como etapa futura para seu desenvolvimento, melhor organização dos componentes da ferramenta e a confecção de um manual para tornar pública a ferramenta fora do projeto de mesmo nome dentro do qual ela foi construída. No entanto, ressalta-se que não foram encontradas referências posteriores que mencionassem o uso do *iVALUL* no âmbito da Sintaxe Espacial.

O *SSToolkit*, é um complemento para o *QuantumGIS* que realiza análises sintáticas e estatísticas. Desenvolvida e apresentada por Gil *et al.* (2015) a ferramenta integra as análises do *DepthMapX* no *QGIS* possibilitando que as análises sejam lidas nesta plataforma e trabalhadas estatisticamente. Não há dúvidas de que, apesar de a ferramenta funcionar em dependência com o *DepthMapX*, facilita e possibilita um rápido fluxo de informações entre este último e o *QGIS*. Vale notar que o *plugin* tem código aberto, está disponível para *Windows*, *Linux*, *Mac OSX* e *Android* e pode ser adquirido livremente pela plataforma *QGIS*. A ferramenta ainda está disponível para uso no período de redação deste trabalho (2022) e recebe constantes atualizações, o que possibilita seu uso através das várias atualizações do *QGIS*.

Destes, O *Axwoman* ainda permanece em funcionamento e suas versões mais recentes ganharam compatibilidade com *software ArcGis* conforme atesta Jiang (2015). Ainda assim, há poucos relatos sobre a utilização e continuidade da ferramenta, diferente do *SSToolkit* de Gil *et al.* (2015).

3.6 Progressos com *justified graphs*

JASS, acrograma para *Justified Analysis of Spatial Systems* é citado e utilizado por Umbelino (2017, p. 3) para cálculo de medidas de integração e profundidade em *justified graphs*. Um *justified graph* é a representação espacial das diferentes profundidades geradas pela configuração espacial. Tal representação é comumente utilizada para representação interna de cômodos de determinado edifício ou residência. Não foram encontradas informações outras sobre a ferramenta, mas segundo Umbelino (2017) sua origem data do ano de 2003.

Ainda com foco nos *justified graphs*, o AGRAPH foi um *software* criado por Manum, Rusten e Benze (2005) para permitir a criação simples e rápida de *justified graphs* em cima de imagens importadas, tais como uma planta baixa de uma residência. A ferramenta permitia a criação e edição dos nós, e o cálculo das métricas sintáticas tradicionais. Os resultados podiam ser exportados em formato de imagem contendo a tradicional linguagem em cores da Sintaxe bem como transferir valores de suas análises para tabelas de Excel.

Surgido em 2005, seus recursos foram aprimorados em 2009 com Manum (2009), quando adicionou-se a possibilidade de análises com mapas axiais. Apesar dos autores alegarem sobre a simplicidade relativa da ferramenta e que ela não intentava substituir as outras existentes, um importante recurso foi apresentado: a função '*disconnect/unlink*'. Autores como Moreira e Serdoura (2017) e Arfaoui, Mazouz e Dhouib (2019) relatam uso do AGRAPH para realização de análises sintáticas. Em ambas as situações a ferramenta foi escolhida graças à facilidade na produção dos *justified graphs* e acrescentadas suas potencialidades com o uso do *DepthMap*. Os primeiros recorreram ao *DepthMap* para refinamento dos resultados obtidos pelo AGRAPH e os segundos para realização de análises VGA. Os autores relatam que a utilização dos dois *softwares* resultou em uma união positiva na obtenção e interpretação dos resultados.

Nota-se que a ferramenta foi criada sob necessidades surgidas em uma pesquisa de PhD na Escola de Arquitetura e Design de Oslo no início dos anos 2000, conforme atestam Manum, Rusten e Benze (2005). Surgida de uma necessidade específica, é interessante notar o relativo sucesso da ferramenta, que aponta para importância de códigos simples e inteligíveis, bem como funcionais que permitam posteriores desenvolvimentos, mas que também sejam atrativos para pesquisadores,

conforme exemplo relatado por Moreira e Serdoura (2017) e Arfaoui, Mazouz e Dhouib (2019).

No campo BIM, *ArchiSpace* foi uma ferramenta criada e apresentada por Li *et al.* (2009) para integrar Sintaxe Espacial em etapas iniciais de processos de projeto residenciais. Conforme propõem os autores, o *ArchiSpace* realiza análises topológicas de ambientes internos das edificações, oferecendo a possibilidade de cálculos de profundidade topológica de ambientes arquitetônicos, conforme a ideia dos *Justified Graphs*. Os autores esclarecem que a ferramenta foi criada visando uma integração rápida da Sintaxe Espacial inspirada nos processos BIM, além de permitir que pessoas que pouco conhecimento na Teoria possam utilizá-la. A ideia por trás da ferramenta era abreviar etapas analíticas que até o momento necessitavam ser feitas em outros *softwares* além dos que se usam para projetar, exigindo exportação e conversão de arquivos, fator que interfere no fluxo e velocidade de trabalho.

A ferramenta objetivou possibilitar ao *designer* analisar suas alternativas de projeto instantaneamente a qualquer momento durante o estágio inicial do projeto. Todas as suas análises eram realizadas em âmbito bidimensional. Ressalta-se não foram encontradas informações se a ferramenta funciona como *software* ou um *plugin*, nem mesmo foram encontradas outras referências sobre usos posteriores ou outras menções dentre os autores analisados. Não houve outras referências ao *Archispace* nos trabalhos consultados.

3.7 Interoperabilidade algorítmico/paramétrica

Como uma das primeiras tentativas para migrar processos de projeto urbano e Sintaxe Espacial para o ambiente paramétrico, o *DeCodingSpaces* é um complemento construído para *Rhinoceros/Grasshopper* que integra análises espaciais em ambiente CAD e paramétrico. Criado e apresentado por Bielik, Schneider e König (2012), sua origem surge da necessidade de otimização do fluxo de trabalho em processos de projetos paramétricos, dada a necessidade de integrar simultaneamente grande variedade de elementos durante desenho urbano obtendo-se respostas mais rápidas. A ferramenta utiliza-se dos mesmos mapas de segmentos advindos da Sintaxe Espacial como base para computar análises angulares e métricas de *closeness* (Integração) e *betweenness* (Escolha). A partir dos resultados obtidos o aplicativo permite modificações na configuração das vias, criação de

quadras e estipulação da densidade construída na área. O aplicativo recebeu desenvolvimentos posteriores e incorporou a possibilidade de realização de isovistas 3D (DECODINGSPACES TOOLBOX, 2022).

Ainda dentro do ambiente *Rhinoceros/Grasshopper*, Nourian, Rezvani e Sariyildiz (2013) desenvolvem e apresentam o *plugin Syntactic*. A ferramenta faz parte do grupo de *plugins* gerados entre 2012 e 2017 para integração da Sintaxe Espacial em ambientes paramétricos. O *Syntactic* computa métricas de Integração e Escolha para ambientes internos de edificações. A ferramenta possibilita tais análises através dos diagramas de bolhas, uma nova representação interativa dos então conhecidos “*justified graphs*”. No *Syntactic*, porém, o usuário da ferramenta pode interagir com cada bolha e alterar suas posições na estrutura espacial, obtendo respostas instantaneamente.

Cebi e Kozikoglu (2017, p. 10.1) relataram o uso do *Syntactic* para avaliar o potencial de ferramentas baseadas na teoria dos grafos em processos de projetos arquitetônicos. Os autores concluem que a ferramenta, bem como sua proposta têm grande potencial para otimizar a disposição espacial na prática de projetos arquitetônicos. Atualmente, o *Syntactic* é componente essencial para o funcionamento de um *plugin* mais abrangente e capaz de realizar análises urbanas, o *CONFIGURBANIST* de Nourian (2016).

SaVisibilityUtd, ou, *Spatial Analysis Visibility United* criado e apresentado por Kim (2017), se propõe a integrar análises visuais de diferentes metodologias de análises espaciais. Da Sintaxe Espacial inclui as análises de Isovistas 2D e VGA. Os criadores demonstram intenção de criar uma ferramenta acessível para arquitetos e urbanistas no geral para fácil difusão das análises visuais e por isso desenvolvem-na como complemento ao *AutoCAD* dada a familiaridade destes profissionais com esta ferramenta. O *SaVisibilityUtd* é focado apenas em análises visuais.

3.8 Outras soluções

Além das ferramentas citadas, existiram outras ainda cujas informações são escassas e por isso mesmo são pouco detalhadas. O *Spatialist* (1999), por exemplo, foi um *software* criado para análises de mapas axiais e campos visuais. Utilizado por Trova *et al.* (1999) e citado também por Feng e Zhang (2017, p. 1), existem poucas referências e poucos detalhes sobre sua utilização e métricas realizadas. Apesar

disso, sabe-se da sua estrutura como *standalone software* e a possibilidade de execução apenas para análises bidimensionais.

Li *et al.* (2009, p. 2) e Medeiros (2013, p. 150) fazem referência às ferramentas *NetBox*, *Pesh* e *OrangeBox* como ferramentas também utilizadas para análises sintáticas bidimensionais. Foram ferramentas desenvolvidas no contexto das primeiras tentativas de automatização da Sintaxe e, apesar das poucas informações encontradas sobre data exata de criação e possibilidades analíticas, estima-se, pela data de publicação das pesquisas que as mencionam, que sua origem data do período que compreende os anos finais de 1990 e o início dos anos 2000.

Fathom e *Ovation* são outras duas ferramentas que apesar das poucas informações encontradas, são citadas por Desyllas e Duxbury (2001) e Medeiros (2013, p. 150). Os autores as apontam como ferramentas específicas para Sintaxe Espacial, sendo esta última desenvolvida pelo *Space Syntax Laboratory* e utilizada para cálculo de Integração em mapas axiais enquanto a primeira realizava *visibility graph analysis* (DESYLLAS; DUXBURY, 2001, p. 7 e 10). Não há data exata para criação destes *softwares*, mas estima-se pelo final dos anos de 1990 pelo ano de publicação do trabalho de Desyllas e Duxbury (2001).

Lida (2007) desenvolve e apresenta o *Segmen* como ferramenta experimental. Realiza análise de métricas configuracionais em mapas axiais e de segmentos. Na plataforma *Mac* funciona como uma lista de rotina para programação e em *Windows* como *standalone software*. A vantagem de se apresentar como uma rotina de programação e código aberto é que o *Segmen* poderia ser reprogramado por outros pesquisadores. Apesar da vantagem de ser uma ferramenta de código aberto, no material revisado não foram encontradas quaisquer menções de outros autores que o citassem ou dele fizessem uso.

Syntax2D é um *software* também de plataforma livre e código aberto desenvolvido pela *University of Michigan* e apresentado por Wineman *et al.* (2007). O *software* realiza cálculos tradicionais de Sintaxe Espacial, tais como Isovistas e Mapas axiais. O *software* foi criado no objetivo minimizar a distância existente entre os vários criadores de ferramentas digitais para Sintaxe Espacial, sendo uma “base comum” onde todos os pesquisadores possam reprogramá-lo de acordo com as novas necessidades e análises existentes. Relato de uso do *Syntax2D* foi encontrado em Ünlü *et al.* (2019), onde a ferramenta foi usada para cálculo de Isovistas 2D.

3.9 Evolução dos recursos tridimensionais

A problemática tridimensional em Sintaxe Espacial tem sido abordada sob duas perspectivas: inclusão de isovistas 3D e acessibilidade através de deslocamentos verticais. A primeira questiona o efeito visual das diferentes alturas dos obstáculos no caminhar, assim também como a existência de barreiras translúcidas que permitem contato visual, mas impedem o acesso. A segunda estuda a influência do relevo e deslocamentos verticais como topografia, elevadores e escadas na acessibilidade de pedestres e ciclistas.

3.9.1 Tridimensionalidade e Isovistas

A primeira tentativa de solução para a problemática tridimensional aparece com Penn *et al.* (1997) através da criação de uma ferramenta digital. Os autores propuseram o PANGEA 3D, *software* CAD com o código fonte aberto que realizava análise de campos visuais em um ambiente virtual tridimensional. A ferramenta permitia construir, editar e mover formas volumétricas simulando um ambiente urbano. À cada volume inserido podia-se atribuir informações de localização, dimensões, opacidade e cor, sendo passíveis de alterações posteriores pelo próprio usuário, que também podia modificar formas já existentes. O *software* utilizava de uma interface intuitiva onde cada ferramenta era representada por um ícone condizente com sua função. Segundo os autores, a interface amigável e intuitiva servia para permitir que pesquisadores sem profundos conhecimento em programação pudessem fazer uso do programa.

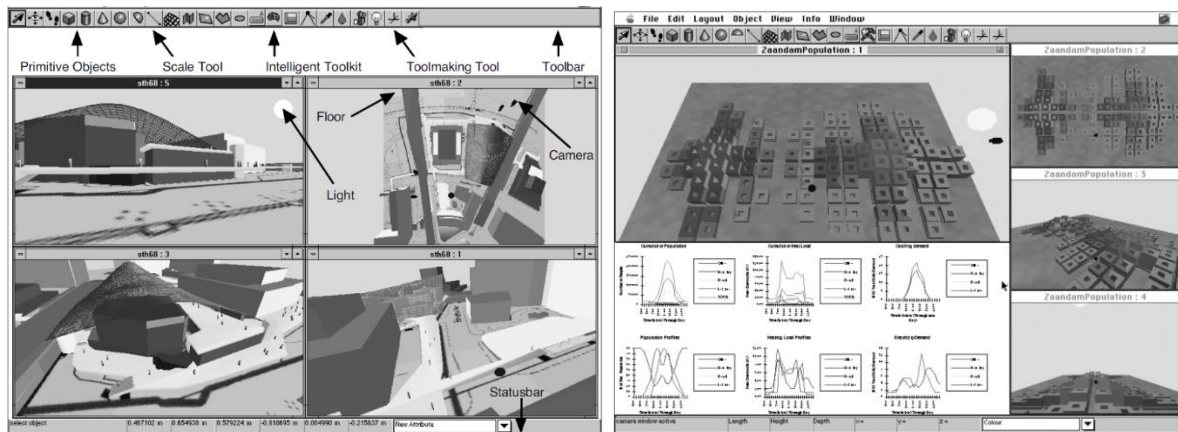
Seu principal diferencial para a problemática 3D foi a função “*Isovist Camera*” que possibilitava posicionar a câmera em posição semelhante à perspectiva do pedestre. A câmera permitia ajustes e rotação em 360° para melhor adaptar-se à posição do visualizador. A partir de um ambiente pré-definido e modelado volumetricamente, a câmera poderia ser posicionada e percorrer uma rota curta programada pelo usuário simulando as percepções visuais que a pessoa teria ao caminhar pelo espaço. Com isso, era possível estabelecer cálculos de área e perímetro do campo visado. Ao ser realizada uma análise no interior de edificação, poderiam ser inseridos elementos de *layout* como móveis, divisórias e outros

elementos de diferentes alturas. A razão área/perímetro pode ser importante para se determinar a 'fatness' ou 'spikiness' da isovistas.

Semelhante a outros *softwares* CAD, o *PANGEA* possuía uma caixa de diálogos que interagiu com o usuário dando dicas dos próximos passos a se realizar. De igual maneira, as ideias dos *layers* eram também presentes, porém sob o nome de *collections*. As coleções se agrupavam de acordo com conjuntos matemáticos semelhantes e poderiam ser desativas temporariamente para não sobrecarregar o *software*. O programa foi pensado para fazer interoperabilidade com outros *softwares* em uso na época, aceitando importação e exportação de arquivos em formato *dxf*. Segundo Penn *et al.* (1997, p. 13) o *software* chegou a ser utilizado em análises urbanas reais por engenheiros (Battle McCarthy) e o escritório *Richard Rogers Partnership*. Citam ainda o exemplo da cidade de Zaanstad, Holanda, cujo *masterplan* utilizou-se do aplicativo para análises de densidade populacional.

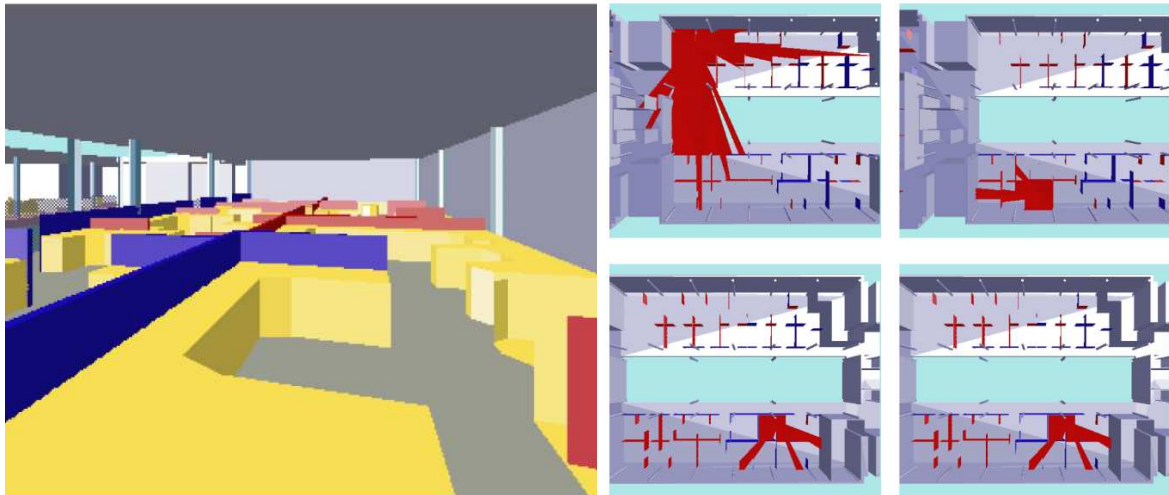
A construção do *PANGEA 3D* exigiu adaptação de conceitos sintáticos aos códigos computacionais (algoritmos). Para isso foi preciso readaptar alguns termos-chaves da Sintaxe como os mapas axiais e convexos (PENN *et al.*, 1997). Este apontamento dos autores é relevante uma vez que indica um processo necessário de tradução dos conceitos sintáticos para o meio digital. Esse trabalho, no entanto, contou com a experiência dos pesquisadores ao longo de 10 anos, uma vez que os pesquisadores envolvidos na sua criação são os mesmos responsáveis pelo *Syntactica software package* (1987) e do *SpaceBox* (1989) (PENN *et al.*, 1997, p. 3). Apesar do seu significativo avanço para época ao apresentar ferramentas para potencial solução da problemática 3D em isovistas, o *PANGEA* não recebeu continuidade, sendo logo superado pelo *Vista* de Turner e Penn (1999).

Figura 8 - utilização e interface do PANGEA 3D



Fonte: Penn *et al.* (1997, p. 7).

Figura 9 - PANGEA 3D e análise do interior de uma edificação



Fonte: Penn *et al.* (1997, p. 17 e 18).

Alegando que a solução proposta por Penn *et al.* (1997) demandava excessivo tempo de processamento, Turner e Penn (1999) propuseram o *software Vista* para geração de isovistas em ambiente CAD 3D. O *software* realizava a geração de vários grids de isovistas 2D sobrepostos, em um ambiente vazio circundado por volumetrias simulando edificações. Os valores tridimensionais eram obtidos através do cruzamento de informações dos vários planos gerados pelos grids. A vantagem obtida sobre o PANGEA, principalmente no que se refere ao tempo demandado para processamento das análises foi possível graças aos avanços de tecnológicos nos *hardware* de até então. Ainda assim, em alguns casos as análises poderiam levar até mais de uma hora para serem realizadas, conforme mencionam Turner e Penn, (1999, p. 3).

Apesar de não trazer nenhuma inovação quanto às métricas tridimensionais, o *Vista* marca mais um passo em direção ao progresso de ferramentas digitais para inclusão de métricas tridimensionais. Juntamente com Penn *et al.* (1997), o trabalho de Turner e Penn (1999) vem somar esforços na tentativa de se produzir uma solução que atenda a demanda para solução de uma ferramenta digital 3D. O trabalho deles deixa claro a dependência existente entre a capacidade de computação e *hardware* com a satisfatoriedade e capacidade das ferramentas.

Um hiato de aproximadamente 13 anos na proposição de ferramentas digitais 3D foi encerrado com uma das primeiras tentativas para migrar processos de projeto urbano e Sintaxe Espacial para o ambiente paramétrico. O *DeCodingSpaces* é um complemento construído para *Rhinoceros/Grasshopper* que integra análises espaciais em ambiente CAD e paramétrico. Apresentado por Bielik, Schneider e König (2012), sua criação nasce da necessidade de se otimizar o fluxo de trabalho em tais processos, dada a necessidade de se integrar simultaneamente grande variedade de elementos durante desenho urbano. A ferramenta utiliza-se dos mesmos mapas de segmentos advindos da Sintaxe Espacial como base para computar análises angulares e métricas de *closeness* (Integração) e *betweenness* (Escolha). A partir dos resultados obtidos o aplicativo permite modificações na configuração das vias, criação de quadras e estipulação da densidade construída na área. O aplicativo recebeu desenvolvimentos posteriores e incorporou a possibilidade de realização de isovistas 3D, conforme atestam Melo Junior e Silva (2018).

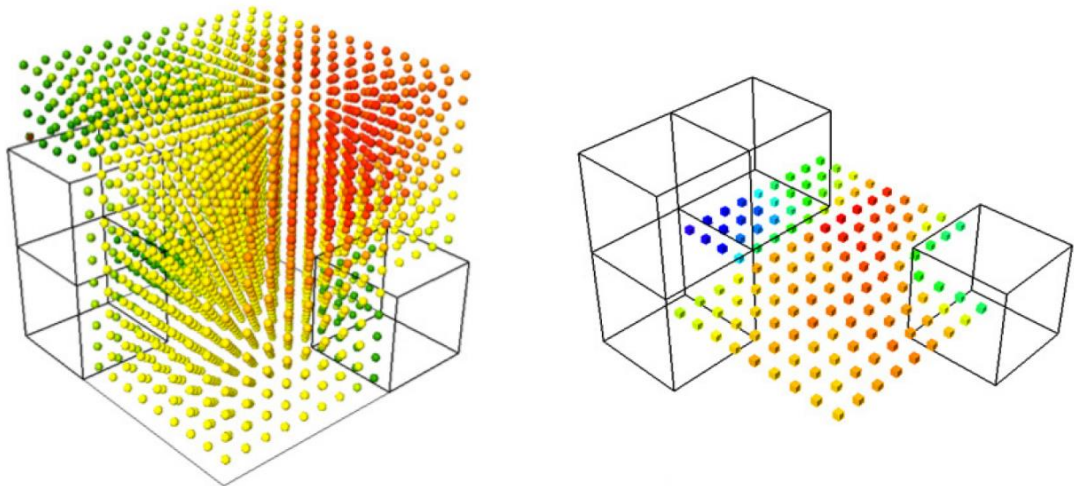
Varoudis e Psarra (2014) e Varoudis e Penn (2015) propuseram um novo modelo para descrever e criar análises visuais em ambientes tridimensionais. Baseando-se na problemática de que nem todos os locais visíveis são acessíveis, conforme define o conceito inicial de isovistas, e que o plano de visão à altura dos olhos não basta por si só, desenvolvem um sistema digital de análise VGA misto (*mixed graph*, no original) capaz de incluir e discriminar pontos no espaço que podem ser visualizados, mas não acessados. As análises foram realizadas em um *software* que os autores definem como “experimental”, chamado por eles de *vSpace*. O modelo desenvolvido pelos pesquisadores consiste no preenchimento do espaço a ser analisado com pontos imaginários (*nodes*) dispostos regularmente de acordo com grids espaciais pré-definidos e sobrepostos no plano horizontal de forma a preencher toda área vazia, respeitando as volumetrias que representam edificações, por exemplo (Figura 10 e 11). Os pontos comunicam suas relações entre si, computando

medidas de acessibilidade visual e acessos diretos e/ou indiretos na escala de cores tradicionalmente usada na Sintaxe Espacial.

Através de análises testes executadas, foram discutidas as diferenças entre uma análise tradicional 2D e o potencial da proposta tridimensional. As análises 3D demonstraram significativo potencial de fornecer informações mais complexas sobre as propriedades visuais do espaço. A Figura 10 ilustra a diferença de complexidade das informações extraídas de uma análise 3D para uma tradicional proposta por Turner *et al.* (2001). Já na Figura 11 pode-se observar como a modificação na altura de edifícios influenciou os campos visuais a seu redor, diferenças que não seriam captadas por uma análise bidimensional.

Apesar de demonstrar potencialidades para continuidade e desenvolvimentos futuros, não há indícios de que o trabalho tenha recebido continuidade. O *software*, inclusive, é pouco detalhado e não chega a ser mencionado em outros trabalhos, indicação de possível descontinuidade no desenvolvimento da ferramenta.

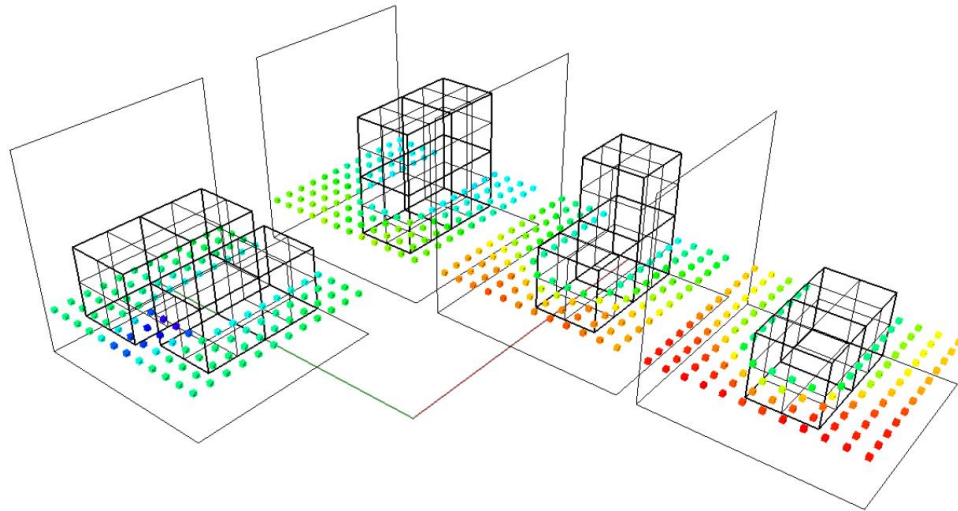
Figura 10 - Análise VGA de *mixed graph*



Fonte: Varoudis e Psarra (2014, p. 95).

Legenda: Comparação entre VGA *mixed graph* proposto por Varoudis e Psarra (2014) (esquerda) e as análises tradicionais de Turner *et al.* (2001) (direita).

Figura 11 - Análise VGA de *mixed graph* com diferentes alturas de edificações

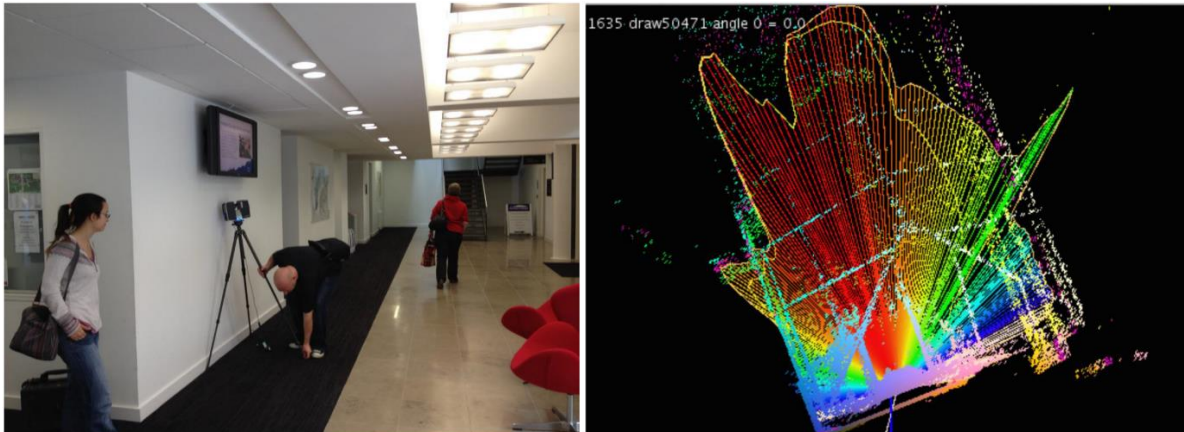


Fonte: Varoudis e Psarra (2014, p. 97).

Legenda: Alteração na composição vertical dos blocos simulando edificações.
Detalhe para os diferentes valores de conectividade visual ao redor.

Dalton *et al.* (2015) por sua vez utilizaram de sensores *scanners* (Figura 12) para captação de isovistas em ambientes reais. Para o processamento e visualização das análises criaram o software *Nebula*. Os sensores foram posicionados dentro de um edifício no campus de uma universidade para fazer a captação das isovistas no ambiente tridimensional. O resultado das análises foi comparado com análises do mesmo espaço feito em isovistas bidimensionais com o fim de testarem a validade da ideia. Apesar de pouca diferença encontrada entre os dois tipos de análise em um contexto geral, os pesquisadores alertaram para o fato de que os campos visuais do átrio do edifício só puderam ser mais bem compreendidos com a realização da análise 3D. Vale notar que seus resultados foram considerados como não conclusivos devido a falhas encontradas na execução das análises (defeito em um dos *scanners*).

Figura 12 - Posicionamento dos sensores e interface do Nebulla



Fonte: Retirado de Dalton *et al.* (2015, p. 4).

Ainda assim, os autores afirmam que as análises de isovistas 3D, conforme o método apresentado por eles, tem grande potencial para revelar aspectos espaciais não captados pelas isovistas planares. O *Nebulla* foi um *software* criado executar a metodologia de análises propostas por Dalton *et al.* (2015) no contexto de seus trabalhos. Não há indícios de posteriores desenvolvimentos e utilização do mesmo por outros pesquisadores ou até mesmo pelos seus próprios desenvolvedores. A especificidade do *Nebulla* é um fator que aponta uma possível causa de sua descontinuidade, pelo menos até o momento. Em outros trabalhos analisados não foram encontradas quaisquer menções ou citações do mesmo senão na situação aqui relatada. Para ilustração de interface e funcionamento dos softwares, recorreu-se às imagens disponibilizadas pelos próprios autores dada a especificidade dos *softwares* e a dificuldade de encontrá-los.

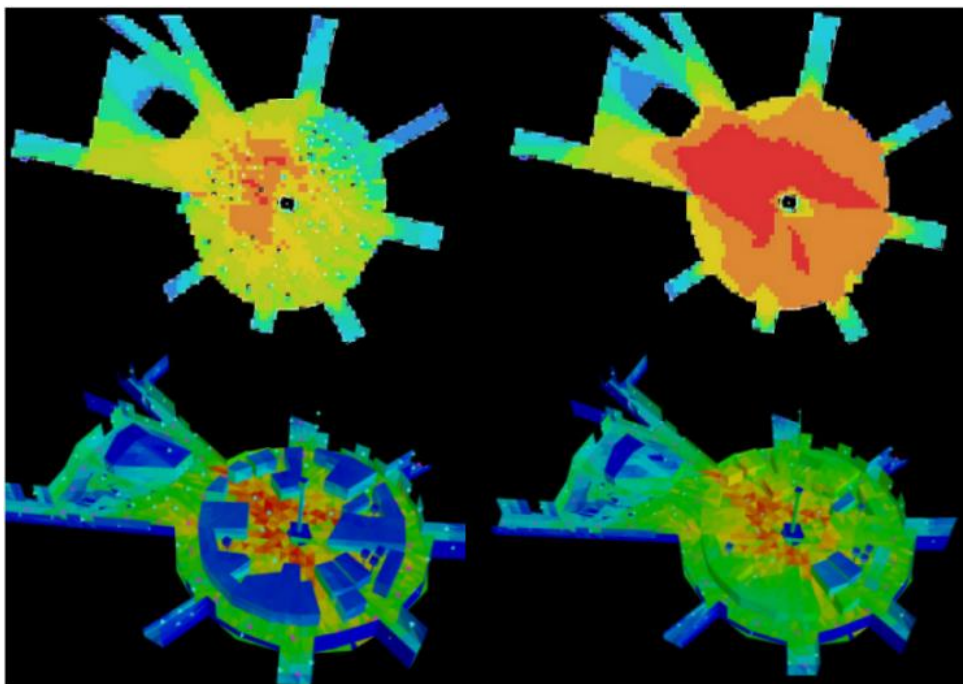
A necessidade de uma ferramenta digital para isovistas 3D disponível para o público originou o *DepthSpace3D* um *standalone software* criado para análises tridimensionais e apresentado por Morais (2015) e Morais *et al.* (2017). O desenvolvimento da ferramenta exigiu a revisão de alguns conceitos fundamentais da sintaxe que para os métodos tradicionais 2D até então empregados. Dentre eles estão os conceitos de espaço de visão e espaço visado. Este aprofundamento conceitual discrimina o ponto em que o observador se encontra (*viewing space*) e o ponto que sua visão alcança (*viewed space*). A distinção foi necessária uma vez que nem sempre espaços alcançados pela visão podem ser acessados.

A discussão de que espaço visado nem sempre é espaço acessado iniciado por Varoudis e Penn (2014), recebeu continuidade no desenvolvimento do

DepthSpace3D. A distinção foi importante uma vez que o conceito tradicional de isovistas conforme apresentado por Turner *et al.* (2001) estabelece, em sua simplificação, que espaço visado é espaço acessado. Este conceito que foi amplamente utilizado nas análises bidimensionais fenece quando os espaços analisados crescem em complexidade e o desejo é de cada vez mais produzir análises mais complexas e fidedignas com a realidade.

Tem-se como exemplo do caso citado as barreiras translúcidas de vidro, as janelas de edificações que permitem contato visual do interior com o exterior, grades que delimitam espaços públicos/ privados, entre outros. O *software* permite ainda exploração do elemento vegetal, elemento este que tem sido demonstrado como fator importante e que afeta significativamente a paisagem dos espaços públicos criando barreiras visuais diversas ao longo das estações do ano. Este elemento foi explorado e aprimorado por Morais *et al.* (2017) e Ascensão *et al.* (2019) marcando uma abordagem até então inédita nas análises de visibilidade.

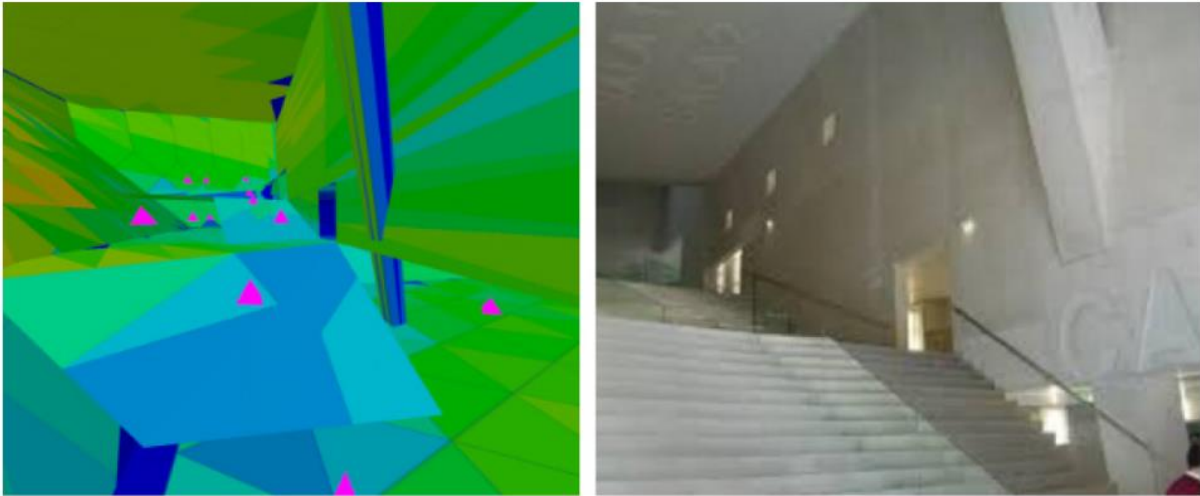
Figura 13 - Análises de isovistas tridimensionais com *DepthSpace3D*



Fonte: Morais *et al.* (2017, p. 169.6).

Legenda: Comparação entre análises tradicionais 2D e análises visuais 3D.

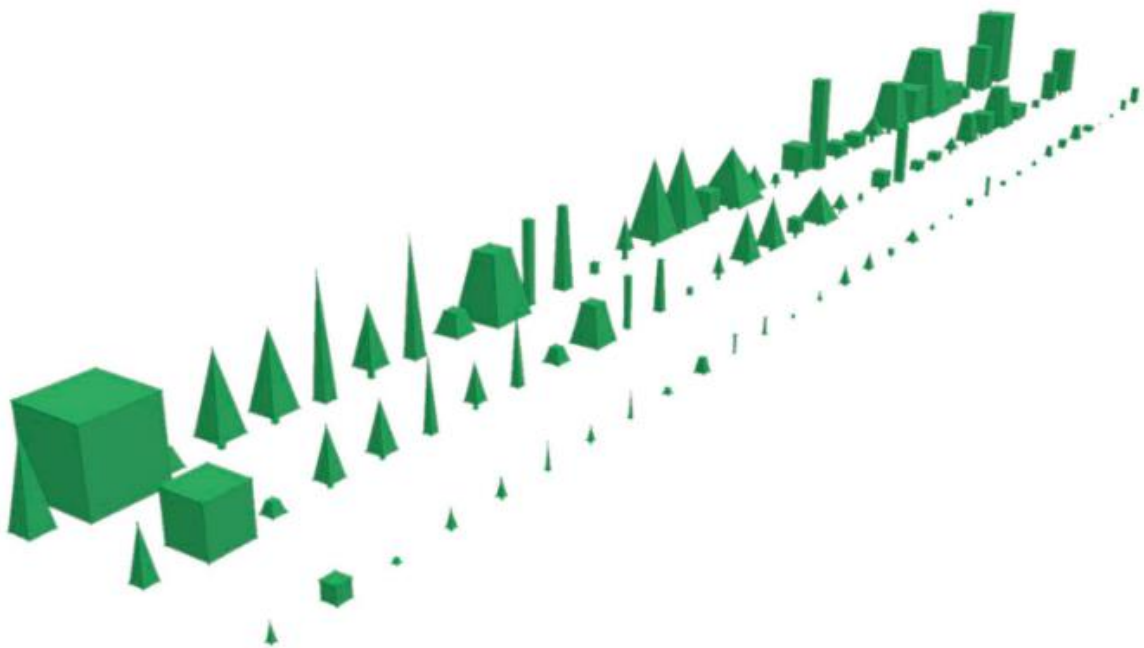
Figura 14 - Análise de isovistas 3D em ambientes internos



Fonte: Moraes *et al.* (2017, p. 169.14).

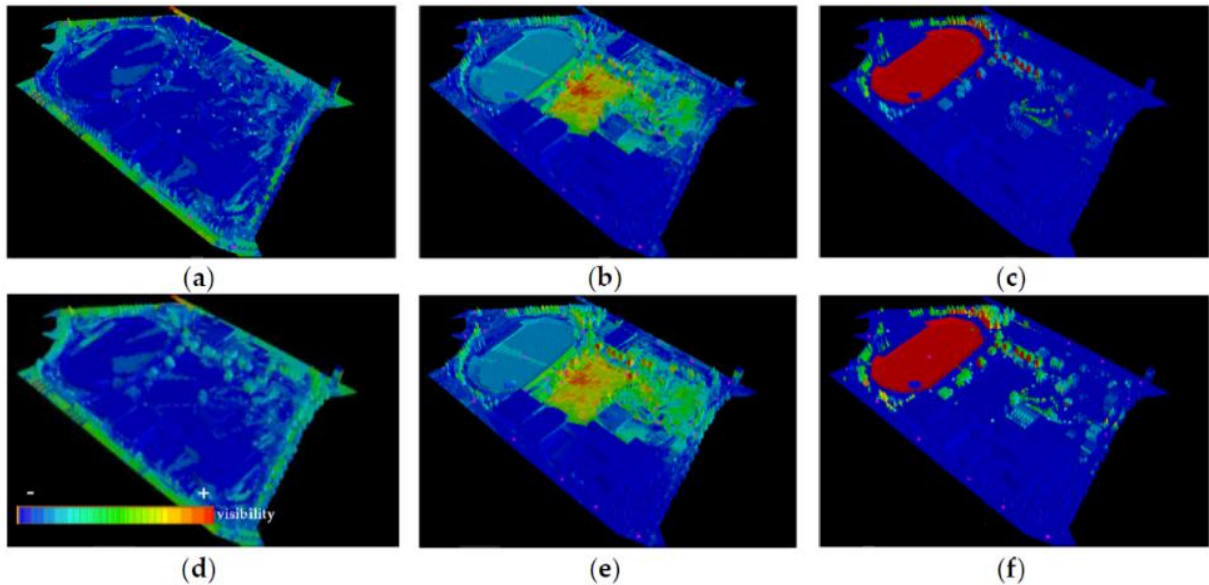
Legenda: Conectividade do hall de entrada e escada principal da Casa da Música (Porto - Portugal), com fotografia de referência.

Figura 15 - Estudo de vegetação como barreiras visuais no *DepthSpace3D*



Fonte: Ascensão *et al.* (2019, p. 5).

Figura 16 - Conectividade visual e influência da permeabilidade em diferentes estações do ano



Fonte: Ascensão *et al.* (2019, p. 9).

Legenda: (a) Do exterior do parque no verão; (b) do interior do parque no verão; (c) isovista de dentro do campo municipal no verão; (d) do exterior do parque no inverno; (e) do interior do parque no inverno; (f) isovista de dentro do campo municipal no inverno.

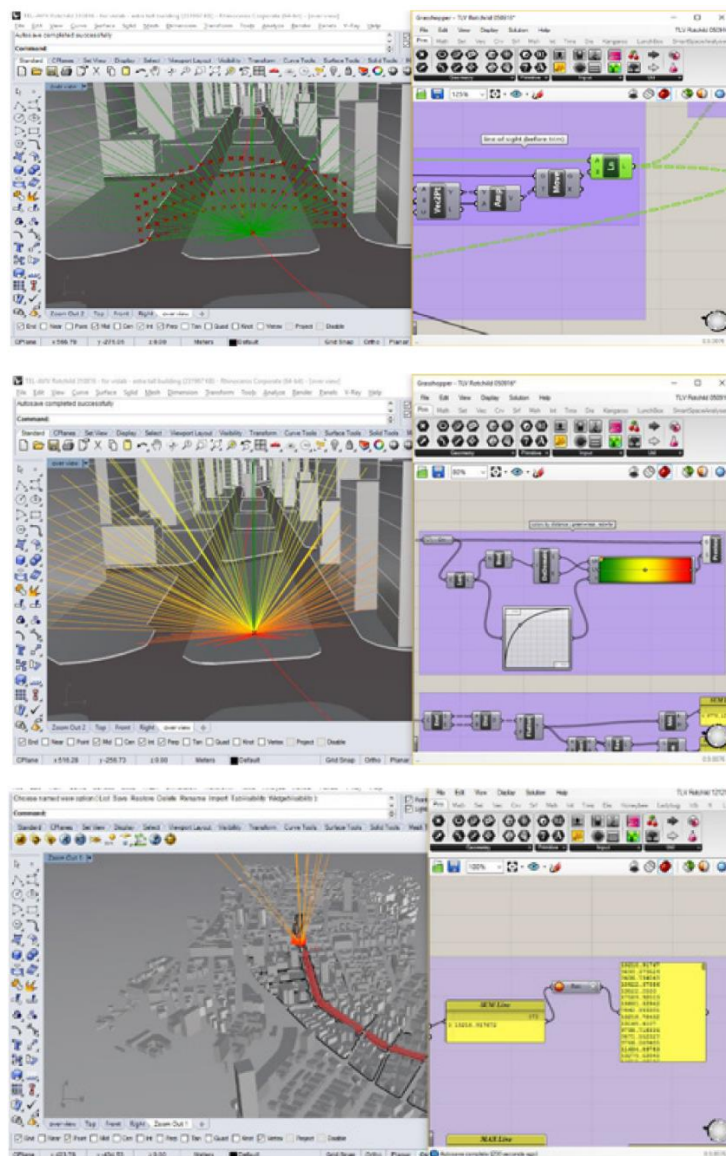
O *DepthSpace3D* tem sido uma alternativa viável para análises tridimensionais em Sintaxe Espacial, uma vez que está disponível gratuitamente para download e possui alguns manuais publicados para orientações na utilização da ferramenta. Diferentemente das anteriores apresentadas, que apesar de promissoras por um momento, perderam sua continuidade ou permaneceram fechadas para fins muito específicos, chama-se atenção para o fato de que o *DepthSpace3D* foi alvo de atenção de outros pesquisadores que após sua criação deram continuidade ao seu desenvolvimento e propagação, fator que contribuiu para o seu aprimoramento.

Além disso, Morais (2015) afirmou que era seu objetivo elaborar uma ferramenta que fosse de acesso geral a todos os que se interessassem pelo assunto. Este é mais um fator que certamente contribuiu para o relativo sucesso e dispersão da ferramenta até o momento. Ascensão *et al.* (2019) aponta ainda a necessidade de abordagens considerando a influência da topografia no alcance dos campos visuais na escala urbana como necessidade para desenvolvimentos futuros.

Greenberg, Natapov e Fisher-Gewirtzman (2017) apresenta o *LOS 3D visibility analysis tool*. A ferramenta realiza a construção de um ambiente virtual modelado através do *software Rhinoceros/ Grasshopper* para imersão em realidade virtual. Sua solução não é especificamente relacionada à Sintaxe Espacial, mas se

propõe a investigar a influência de elementos verticais na escolha de caminhos do pedestre através de análises de visibilidade. Seus achados contribuem para as discussões deste trabalho uma vez que elucidam a importância de elementos tridimensionais do espaço na escolha de rotas do pedestre. Estes elementos tais como árvores, altura de edifícios e vista do céu, são fatores que se demonstraram predominantes para conduzir a escolha consciente de caminho, conforme anteriormente trazido. A autora valida o modelo *LOS 3D visibility analysis tool* como uma ferramenta de grande potencial a ser agregada futuramente no planejamento e projeto de espaços públicos.

Figura 17 - *LOS 3D visibility analysis tool*



Fonte: Fisher - Gewirtzman (2017, p. 7).

Fora das soluções propostas através de ferramentas digitais, Krukar, Bhatt, Schultz (2017) propõem uma extrapolação dos conceitos tradicionais de isovistas através de um modelo teórico para interpretação e cálculo destas medidas em ambiente tridimensional tendo como foco a fisiologia do sistema visual humano. O modelo que denominam *Embodied 3d Isovist*, incorpora em meio digital a dinâmica do campo visual que muda à medida que a pessoa se desloca no espaço. Os autores partem da necessidade de se explorar tais variações não captadas pelos modelos tradicionais estáticos de duas dimensões. O modelo considera nos cálculos uma altura média de 1,6m para o observador. Apesar de um modelo estrutural de cálculos até certo ponto bem embasado e explicitado, os autores não demonstram ter foco no modelo digital utilizado, suprimindo as informações quanto aos softwares de que lançaram mão. Terminam o trabalho argumentando a favor da necessidade de se revisar os conceitos das isovistas tradicionais alegando sobre a importância de se utilizar modelos mais complexos como o proposto.

SmartSpaceAnalyser é mais um *plugin* para *Rhinoceros/ Grasshopper* que executa apenas análises simples de isovistas 3D. Sua vantagem está na sua compatibilidade com o ambiente CAD, gerando feedbacks instantâneos nas análises. Menção à ferramenta foi encontrada em Szemerey, Hanna e Schieck (2017), sem dados mais detalhados de sua criação.

Os trabalhos citados e a multiplicidade de soluções descritas conduzem o olhar para o entendimento do potencial da Sintaxe Espacial em ser adaptadas para ferramentas digitais, carecendo, em algumas, de revisões conceituais que embasem sua aplicação em contextos mais complexos como foi o caso do *DepthSpace3D*. O *DepthSpace3D* é um exemplo de solução digital proposta em que a discussão de aspectos teóricos da Sintaxe até então bem aceitos para abordagens bidimensionais foram satisfatoriamente revisados e aprofundados a ponto de aprimorar suas análises sem comprometer seu escopo fundamental.

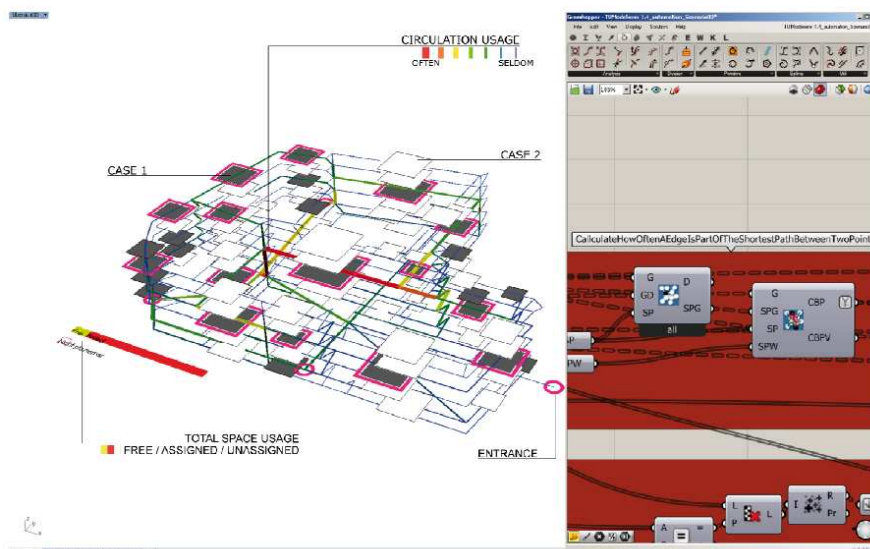
As revisões de análises de isovistas aqui apresentadas apontam para um campo rico em discussões, tentativas de se trabalhar a tridimensionalidade desde Penn *et al.* (1997) mas até então sem uma solução que atenda a necessidade de pesquisadores que almejam incluir análises tridimensionais. Esta ferramenta, em constante desenvolvimento, parece concretizar o desejo de se pôr em práticas as análises visuais 3D em Sintaxe Espacial, apontando para um futuro promissor de análises.

3.9.2 Tridimensionalidade e deslocamento vertical

Em contexto temporal próximo e funcionamento até certo ponto semelhante à ferramenta citada acima, o *SpiderWeb* de Schaffranek e Vasku (2013) foi outro *plugin* desenvolvido especificamente para associar Sintaxe Espacial a processos de projeto computacional através da plataforma *Rhinceros/Grasshopper*. Possibilitou a utilização da Teoria em associação com abordagens generativas de projeto e reproduzia as mesmas métricas do *software DepthMapX*, além de incorporar outras novas métricas como a possibilidade de isovistas 3D, novidade para época uma vez que o *DeCodingSpaces* só a incorporaria mais tarde. A abordagem algorítmico/paramétrica da ferramenta se dá a partir da possibilidade de estudar inserções ou retirada de vias em um tecido urbano existente ou simular medidas sintáticas advindas de malhas inteiramente novas. A ferramenta também possibilita analisar circulação interna de edifícios de múltiplos pavimentos, aumentando seu alcance nas análises tridimensionais (SCHAFFRANEK; VASKU, 2013).

Apesar das potencialidades promissoras, em especial pela capacidade de análises tridimensionais, seu criador Richard Schaffranek informou através de um depoimento pessoal que trabalhou na ferramenta apenas em seu curso de doutoramento, sendo descontinuada desde então. Devido a isso, o *plugin* não recebeu atualizações tornando-se defasado para as edições atuais do *Rhinceros/Grasshopper*.

Figura 18 - Análise com *SpiderWeb* para múltiplos pavimentos



Fonte: Schaffranek e Vasku (2013, p. 11).

Asami *et al.* (2003) desenvolvem um método visando agregar tais informações topográficas às linhas axiais. O método teórico denominado por eles de “*Extended axial lines*”, além do aspecto topográfico, desenvolve e aprimora as métricas sintáticas tradicionais como Conectividade, Controle, Integração e Profundidade incorporando elementos formais em seus cálculos. O “*Extended axial lines*” caracteriza-se por trazer aspectos já abordados por Dalton (2001), como a análise angular de segmentos. Estes aspectos, por sua vez, são mais detalhados e trabalhados que o aspecto das informações topográficas, que foram tratadas brevemente sem aprofundamento nos detalhes. Apesar de argumentarem de que seu método vai além das ideias propostas por Dalton (2001), a proposta de Asami *et al.* (2003) não foi citada em outros autores.

Outra tentativa de suprir as limitações do mapa axial bidimensional foi realizada por Greenberg, Natapov e Fisher-Gewirtzman (2017). O modelo por eles proposto é trabalhado de forma preponderantemente teórica e propõe uma nova forma de se pensar os mapas axiais. Eles propõem um modelo analítico baseado no mapa axial tradicional, mas que seja capaz de incorporar informações adicionais, trabalhadas anteriormente por Asami *et al.* (2003) e de Nourian *et al.* (2015).

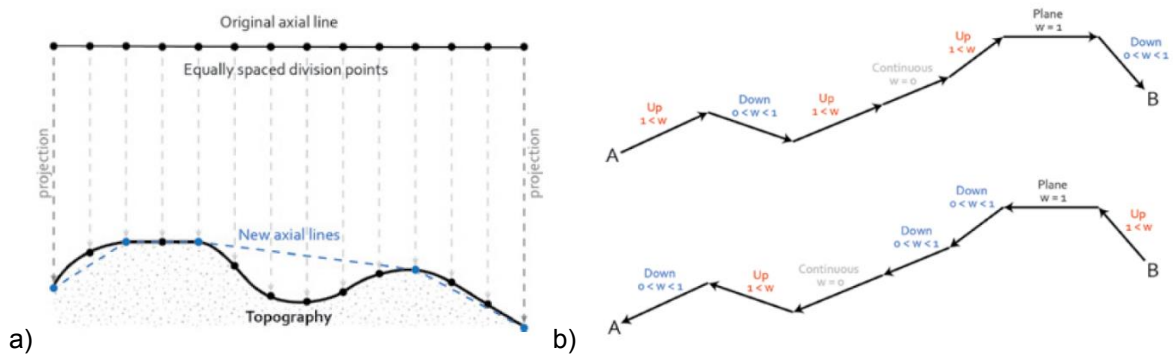
O primeiro fator refere-se aos efeitos que a topografia exerce sobre a consciência espacial do pedestre, uma vez que a variação de altitude altera e influi no alcance do campo visual do caminhante. O segundo é o esforço que o pedestre deve empregar para caminhar sobre uma topografia inclinada, em contraposição ao conforto da caminhada sobre uma topografia plana. Para o primeiro problema (o visual) a ideia é dividir as linhas axiais em segmentos mais curtos e de tamanho iguais, projetando os pontos gerados no perfil topográfico do terreno, conforme exemplifica imagem. Deve-se observar que nem todos os pontos são úteis para se criar os eixos, devendo-se, portanto, escolher apenas aqueles que estão nos pontos de pico, nas bordas de um platô e nos pontos finais da linha axial original.

Para solução do segundo problema (o esforço empregado para caminhada), fez-se necessário, primeiramente, discriminar os diferentes esforços para se subir, descer ou caminhar no plano. Para isso foi adotado a estratégia de se atribuir diferentes graus de dificuldades para os caminhos, ou conforme denominam os autores, distribuir “*weights*” (pesos, em tradução livre) para as diferentes modalidades de caminhada. Estes pesos estão diretamente ligados ao esforço empregado. Esta estratégia de ponderação dos esforços, apesar de não ser completamente nova (TOBLER, 1993), ganha aqui uma nova associação. Os “pesos” são atribuídos a cada

linha axial proporcionalmente à sua inclinação. Quanto maior a inclinação, maior o peso para o movimento de subida e menor o peso para o movimento de descida.

Linhas axiais completamente planas recebem o valor equivalente a 1. Subidas recebem valores acima de 1 e descidas entre 1 e 0. Estes valores jamais podem ser zero ou negativo. Vale reforçar que estes cálculos são estabelecidos a partir da porcentagem de inclinação da linha axial e não da diferença de altura entre o ponto de partida e chegada. Para efeito do cálculo de esforços, portanto, isso torna o relevo (ou inclinação do caminho) fator de maior importância que as distâncias, ou seja, pode ser mais difícil subir três metros em uma distância de dez metros do que em uma distância de doze metros (GREENBERG, NATAPOV E FISHER-GEWIRTZMAN, 2017, p. 198.3). Os autores informaram, que até a época de publicação do trabalho tratava-se de um modelo ainda em desenvolvimento e que testes futuros seriam necessários para validação da ideia. Apesar do considerável progresso que o presente modelo logrou alcançar em direção a uma solução mais completa para incorporação de métricas topográficas em Sintaxe Espacial, sobretudo aos modelos anteriormente citados, ainda não foram identificadas tentativas de incorporação destas ideias em ferramentas digitais da Teoria no período posterior a sua publicação.

Figura 19 - Modelo de Greenberg, Natapov e Fisher-Gewirtzman (2017)



Fonte: Greenberg, Natapov e Fisher-Gewirtzman (2017, p. 2 e 4).

Legenda: a) Sobreposição de linha axial a um perfil topográfico. Apenas os pontos azuis devem ser usados para criar as linhas axiais. Os outros devem ser descartados. b) Corte esquemático. O caminho de A para B é mais “longo” que o inverso. A razão se dá devido ao fato de que uma mesma linha axial possui diferentes pesos de caminhada de acordo com a direção que se percorre.

3.10 Recursos digitais fora da Sintaxe Espacial

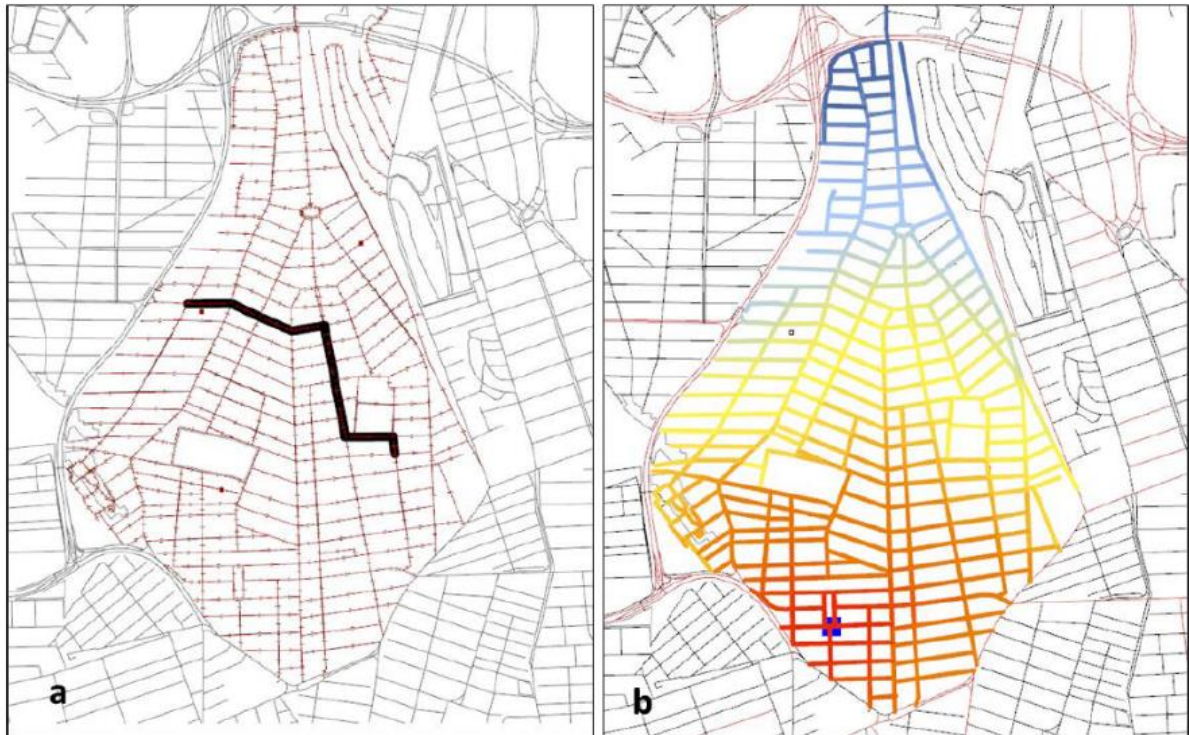
Conforme já exposto, a divisão entre *softwares* da Sintaxe e de outras abordagens não parece ser tão clara, uma vez que as análises configuracionais em

geral se iniciaram a partir da Sintaxe Espacial. Apesar de suas proximidades, aqui foram colocados aqueles que não estão restritos a análises sintáticas ou que foram construídos em contextos mais amplos, alguns deles acrescentando a possibilidade de execução de métricas inteiramente novas, como é o caso do *Configurbanist* de Nourian (2016) *CityMetrics* de Lima (2017; LIMA *et al.*, 2019), *sDNA* de Chiaradia, Cooper, Webster (2014) e Cooper, Chiaradia (2020) e o UNA do *City Form Lab* (2022).

Nourian *et al.* (2015) constroem um algoritmo de “*pathfinding*” para pedestres e ciclistas. A iniciativa parte da constatação da necessidade de se repensar e complementar a noção de distância. À par do aspecto cognitivo topológico já bem explorado pela Sintaxe Espacial, os autores propõem que se considere o esforço físico necessário a pedestres e ciclistas para se deslocar verticalmente. Desenvolvem um algoritmo chamado *Easiest Path* junto com um novo conceito de distância: a geodésica. A distância geodésica propõe a inclusão das características do terreno como elementos influenciadores na escolha dos caminhos. Sendo assim, o algoritmo incorpora as já conhecidas medidas de caráter cognitivo da Sintaxe (angular, topológica e métrica) à outra de caráter físico, ou fisiológico: o esforço físico empregado para se transpor as distâncias inclinadas.

Dado dois pontos em uma malha espacial, o objetivo do *Easiest Path* consiste em indicar um caminho entre os dois pontos que seja mais curto, mais plano e cognitivamente mais simples. A representação dos resultados tem linguagem visual próxima à da Sintaxe Espacial, entregando as métricas do espaço em uma escala de cores que varia do azul ao vermelho. Além das métricas já citadas de caminho mais curto (*shortest path*), o aplicativo possibilita também novas métricas desenvolvidas, tais como *Vicinity*, *Proximity* e *Zone*. Além destas, é possível também a extração de métricas *Closeness* e *Betweenness*. O modelo é considerado pelos autores como ferramenta preditiva e analítica, podendo auxiliar o planejamento de espaços durante processos de projeto e em avaliações de ambientes já construídos. A ferramenta foi adaptada para funcionar juntamente com o *software Rhinoceros/ Grasshopper* e foi posteriormente incorporado ao CONFIGURBANIST, *plugin* para o mesmo software e pode ser adquirida e utilizada gratuitamente (NOURIAN, 2016).

Figura 20 - Funcionamento do *Easiest Path*

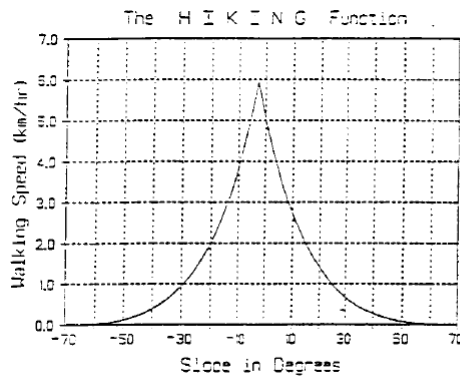


Fonte: Nourian *et al.* (2015, p. 78.8).

Legenda: a) caminho mais fácil entre uma origem e um destino, considerando-se a impedância angular e a impedância temporal. b) mapa de tempo de acesso (distância temporal, apenas impedância física) a todos os destinos de uma origem escolhida marcada com um quadrado azul: quanto mais vermelha a cor mais, próximo ao destino e mais azul mais distante.

Para incorporação do elemento fisiológico nas análises espaciais, Nourian *et al.* (2015) se embasaram em uma função desenvolvida por Tobler (1993). Este último apresenta um modelo para estudar o deslocamento de pessoas na paisagem geográfica, especialmente aquelas inclinadas (“hilly”), onde o esforço físico do caminhante é fator de grande importância. A necessidade de se empregar maior esforço físico para se deslocar em certos perfis de espaço acaba por interferir na velocidade de deslocamento, e conseqüentemente interfere também no tempo gasto para realizar tal tarefa. A partir disso, tem-se outro fator importante para se mensurar distâncias: o tempo. E é a partir dele que Tobler (1993) constrói uma função matemática denominada *Hiking Function*. Inspirado pelo trabalho dele, Nourian *et al.* (2015) formularam um modelo semelhante para ser aplicado com ciclistas.

Figura 21 - Hiking Function de Tobler (1993)

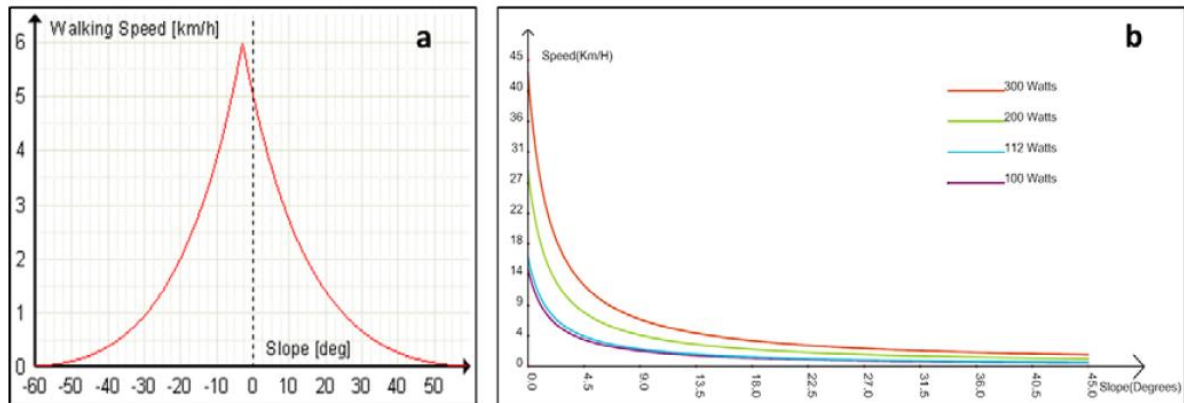


For walking on footpaths in hilly terrain:

$$W = 6 \exp \{ -3.5 * \text{abs}(S + 0.05) \}$$

where W is the walking velocity, S is $dh/dx = \text{slope} = \tan(\theta)$; dh and dx must be measured in the same units. The velocity is given in km/hr. On flat terrain this works out to 5 km/hr. For off-path travel multiply by $3/5 (= 0.6)$. For horseback, multiply by $5/4 (= 1.25)$. The travel time is computed as distance/velocity.

Fonte: Tobler (1993, p. 3).

Figura 22 - Hiking Function adaptada por Nourian *et al.* (2015)

Fonte: Nourian *et al.* (2015, p. 78.5).

Legenda: Modelos apresentados por Nourian *et al.* inspirados na Hiking Function. a) Hiking Function de Tobler (1993). b) modelo criado por Nourian que apresenta a relação velocidade de ciclismo com inclinação do percurso. Apresenta também o gasto de energia necessário.

O *Citymetrics* é um sistema computacional algorítmico/paramétrico proposto por Lima (2017) e Lima *et al.* (2019) para implementação de análise de métricas urbanas em ambiente *Rhinoceros/Grasshopper*. A ferramenta não é proposta especificamente para Sintaxe Espacial e utiliza-se de várias outras abordagens, contudo faz uso da Teoria para cálculo do índice de proximidade topológica. O algoritmo de proximidade topológica, ou APT, calcula percursos com as menores distâncias topológicas entre diversas origens e destinos, bem como a integração/profundidade dos espaços de acordo com as métricas de Hillier e Hanson (1984). Apesar de trabalhar com métricas tradicionais de duas dimensões no APT, o autor aplica em outro algoritmo da ferramenta o princípio de penalização do movimento através do tempo de caminhada para percursos inclinados.

O sistema de contabilização da distância caminhada através do tempo bem como a penalização aplicada com a inclinação do percurso no Algoritmo de Proximidade Física (APF) funciona de maneira proporcional à inclinação do mesmo. Segundo o autor:

ao considerar um trajeto plano de 400m, o algoritmo atribui o índice 1 (máximo) a esse percurso. Se, no entanto, um outro percurso também for de 400m, mas com uma inclinação de 10%, então o índice atribuído a este deslocamento sofre uma penalização de 10%, resultando em um índice de 0,9. (LIMA 2017, p. 132 - 133).

A estratégia utilizada por Lima (2017) para lidar com a influência da Topografia no deslocamento urbano é semelhante àquela proposta por Tobler (1993) e posteriormente aplicada por Nourian (2016) no *Configurbanist*. Vale notar que Lima (2017, p. 132) alerta que a esta relação direta que foi proposta não é a mais apropriada, sugerindo estudos futuros específicos para atualização de tal assunto. Ainda assim, apesar de sua estratégia de penalização não estar vinculada diretamente com o APT, algoritmo que utiliza a Sintaxe, é mais uma a marco na tentativa de inclusão da influência da topografia no deslocamento de pessoas na malha urbana.

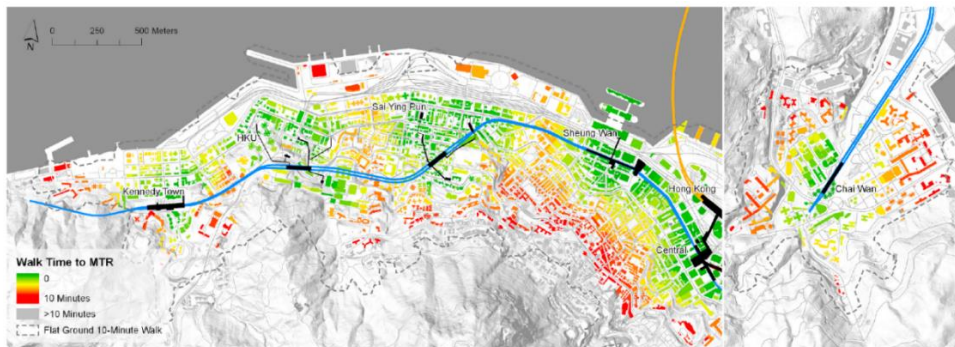
O *Spatial Design Network Analysis (Sdna)* é um plugin para softwares SIG (ArcGIS e QGIS) e CAD (AutoCAD) apresentado por Chiaradia, Cooper, Webster (2014) e Cooper e Chiaradia (2020). A ferramenta computa métricas de acessibilidade configuracional como Closeness e Betweenness através de *path-centre lines*, uma representação espacial do sistema viário que diferencia da metodologia dos mapas axiais ou dos mapas de segmentos, comumente utilizados em Sintaxe Espacial. O sDNA foi usado por Zhang e Chiaradia (2019) para análises de *path-centre line* e conexões internas e externas de edifícios de vários pavimentos com o sistema urbano complexo e multinível de Hong Kong. Apesar da análise dos autores ser tridimensional por incluírem o deslocamento de pedestres em multiníveis e caminhos que se sobrepõem, no seu trabalho não foi contabilizado a topografia. Ainda assim, demonstra a necessidade da utilização de outros recursos fora da Sintaxe para complementação das análises.

Bruyns *et al.* (2019) tentou incluir variações topográfica em análise de deslocamento de pedestres. Devido à ausência de ferramental teórico e digital dentro da Sintaxe que permitisse tal abordagem, os autores empregaram outras ferramentas de acessibilidade espacial argumentando que as tentativas sintáticas até então

desenvolvidas não seriam capazes de abordar a complexidade urbana de Hong Kong com a volumetria de suas edificações e topografia acidentada. Conforme descrevem, o método por eles empregado apesar de ser uma primeira sugestão, partiu do embasamento de diversos outros autores, propondo, no entanto, uma abordagem inteiramente nova. Para avaliar a conectividade da complexa e tridimensional malha de Hong Kong, além de incluírem a topografia e seus efeitos consideraram também as circulações de pedestres que acontece em diferentes níveis sobre e sob o solo, tais como passarelas elevadas, conexões aéreas entre edifícios e passagens subterrâneas. Tal tentativa construiu-se até então de um esforço inédito.

A realização análise tridimensional considerando a topografia, a malha urbana e a circulação interna dos edifícios só foi possível através do plugin *Urban Network Analysis (UNA)* para o software *ArcGIS 10 Pro*. Nele, os autores importaram um modelo digital do terreno e sobrepôs-se a ele a malha que representava a circulação dos pedestres. Os valores de acessibilidade com topografia foram trabalhados conforme a metodologia de impedâncias já propostas por Tobler (1993), a mesma empregada por Nourian (2016). O *UNA* é um plugin criado pelo *Mit Form Lab* (SEVTSUK; KALVO, 2016) e apresentado com versões para o *ArcGIS 10* e para o *Rhinoceros 3D*. O aplicativo computa métricas de acessibilidade de pedestres e ciclistas, possibilitando análises em ambientes tridimensionais através das medidas de *Reach*, *Gravity*, *Straightness* e *Betweenness*.

Figura 23 - Análise espaço-temporal 4D de Higgins



Fonte: Higgins (2019, p. 6).

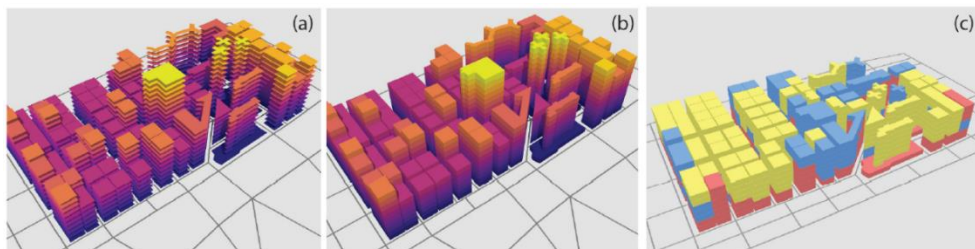
Legenda: As imagens demonstram o resultado em cores, oriundo da sua associação com a topografia no MDE.

Figura 24 - Parte da rede urbana de Hong Kong adaptada à topografia



Fonte: Bruyns *et al.* (2019, p. 10).

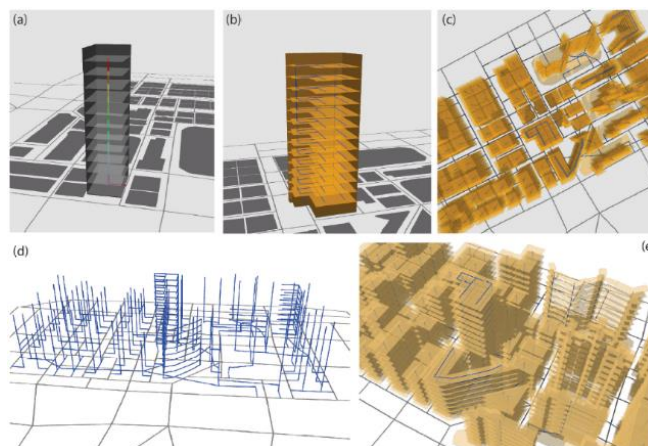
Figura 25 - Transformação volumétrica



Fonte: Bruyns *et al.* (2019, p. 11).

Legenda: Transformação volumétrica. (a) abordagem "fatiada"; (b) adição de volume; (c) discriminação de usos: comercial, residencial, misto.

Figura 26 - Adição da circulação interna dos edifícios



Fonte: Bruyns *et al.* (2019, p. 12).

Legenda: (a) Método de linha única (b) rede interna de um edifício (d) rede completa do sistema (c) e (e) relação entre a rede e as fatias dos edifícios.

O autor aponta a metodologia usada como uma sugestão, carecendo de melhores ajustes e posteriores testes. Apesar de terem utilizado o *UNA* para *ArcGIS 10*, sugerem que o *UNA* para *Rhinoceros* também oferece amplas possibilidades, ressaltando que análises mais complexas como as realizadas ainda não são possíveis com um único *software*. O fato demonstra que à medida que os ambiente urbanos crescem em complexidade, novas ferramentas e novas abordagens são necessárias e que quando a Sintaxe Espacial não alcança certas complexidades, outras ferramentas são utilizadas.

3.11 Resultados

O levantamento de ferramentas digitais resultou em uma amostra de 37 ferramentas digitais criadas no âmbito da Sintaxe Espacial (Quadro 3). A arquitetura destas ferramentas divide-se em dois grandes grupos: programas completos e independentes (os chamados *standalone softwares*) e complementos para softwares (*plugins*). 26 delas estão na categoria dos *standalone softwares* e 12 são complementos. Em 1 não foi possível a identificação de sua arquitetura, o *ArchiSpace*.

Observou-se ainda que enquanto os *standalone softwares* possuem estruturas independentes, os *plugins* permitem a interoperabilidade da Sintaxe Espacial em quatro ambientes diversos: CAD, SIG, BIM e em Processos algorítmico/paramétricos de projetos (Quadro 4). Os complementos que inserem métricas em processos de projeto paramétrico, em sua totalidade fazem uso dos aplicativos *Rhinoceros/Grasshopper*. Sabe-se que o software *Rhinoceros* é um *software* CAD, no entanto, entende-se que sua associação com o *plugin Grasshopper*, conforme tem sido amplamente empregado, possibilita uma abordagem inteiramente nova com características paramétricas através da Linguagem de Programação Visual.

Quadro 3 - Síntese e Cronologia das ferramentas digitais em Sintaxe Espacial

(continua)

Ferramenta digital	Referência	Estrutura	2D/3D
Syntactica software package (1987)	Penn <i>et al.</i> (1997)	Software	2D
Axman (1988)	Turner (2007), Medeiros (2013)	Software	2D
SpaceBox (1988)	Penn <i>et al.</i> (1997) e Krenz (2017)	Software	2D
Pangea 3D (1997)	Penn <i>et al.</i> (1997)	Software	Isovistas 3D
DepthMap (1998)	Turner (2007)	Software	2D
Spatialist (1999)	Trova <i>et al.</i> (1999) e Feng e Zhang (2017)	Software	2D
Axwoman (1999)	Jiang, Claramut e Batty (1999)	Plugin SIG - ArcView	2D
Vista (1999)	Turner e Penn (1999)	Software	Isovistas 3D
NetBox	Li <i>et al.</i> (2009)	Software	2D
Pesh	Li <i>et al.</i> (2009)	Software	2D
OrangeBox	Medeiros (2013, p. 150)	Software	2D
Fathom	Desyllas e Duxbury (2001)	Software	2D
Ovation	Desyllas e Duxbury (2001); Medeiros (2013, p. 150)	Software	2D
Omnivista (1999)	Dalton e Dalton (2001)	Software	2D
Mindwalk (2002)	Schaffranek e Vasku (2013)	Software	2D
WebMap (2002)	Dalton (2007)	Software	2D
JASS (2003)	Umbelino (2017)	Software	2D
Place Syntax Tool (PST) 2005	Stahle, Marcus e karlstrom (2005); Turner (2007); Manum e Nordstrom (2013); Law <i>et al.</i> (2019)	Plugin SIG - Mapinfo	2D
Ajax (2005)	Batty (2005)	Software	2D
AGRAPH (2005)	Manum, Rusten e Benze (2005); Moreira e Serdoura (2017); Arfaoui, Mazouz e Dhouib (2019)	Software	2D

Quadro 3 - Síntese e Cronologia das ferramentas digitais em Sintaxe Espacial
(conclusão)

Ferramenta digital	Referência	Estrutura	2D/3D
Confeego (2007)	Gil, Stutz, Chiaradia (2007)	<i>Plugin SIG - Mapinfo</i>	2D
SPOT (Spatial Position Tool) (2007)	Markhede e Carranza (2007); Lida (2007)	<i>Software/ rotina Lisp</i>	2D
Segmen (2007)	Lida (2007)	<i>Software</i>	2D
Syntax2D (2007)	Wineman <i>et al.</i> (2007) Ünlü <i>et al.</i> (2019)	<i>Software</i>	2D
WebMapatHome (2007)	Dalton (2007); Dalton e Dalton (2009)	<i>Software</i>	2D
iVALUL (2008)	Chiaradia <i>et al.</i> (2008)	<i>Plugin SIG - Mapinfo</i>	2D
ArchiSpace (2009)	Li <i>et al.</i> (2009)	<i>Sem informação</i>	2D
DepthMapX (2012)	Varoudis (2012)	<i>Software</i>	2D
DeCodingSpaces (2012)	Bielik, Schneider e König (2012); Bielik, Schneider, Koenig, (2019)	<i>Plugin Rhino/grasshopper</i>	Isovistas 3D
SpiderWeb (2013)	Schaffranek e Vasku (2013)	<i>Plugin rhino/grasshopper</i>	Isovistas 3D e análises multiníveis
Syntactic (2013)	Nourian; Rezvani; Sariyildiz (2013); Cebi; Kozikoglu (2017)	<i>Plugin rhino/grasshopper</i>	2D
Nebulla (2015)	Dalton <i>et al.</i> (2015)	<i>Software</i>	Isovistas 3D
SmartSpaceAnalyser (2015)	Szemerey, Hanna e Schieck (2017)	<i>Plugin rhino/grasshopper</i>	2D
vSpace (2015)	Varoudis e Penn (2015)	<i>Software</i>	Isovistas 3D
Space Syntax Toolkit (2015)	GIL <i>et al.</i> (2015)	<i>Plugin SIG - QGis</i>	2D
DepthSpace3D (2015-2019)	Morais (2005), Morais <i>et al.</i> (2017); Ascensão <i>et al.</i> 2019	<i>Software</i>	Isovistas 3D
SaVisibilityUtd (2017)	Kim (2017)	<i>Pulgin CAD</i>	2D

Fonte: Do autor (2022).

Quadro 4 - Ferramentas digitais em Sintaxe Espacial e interoperabilidade

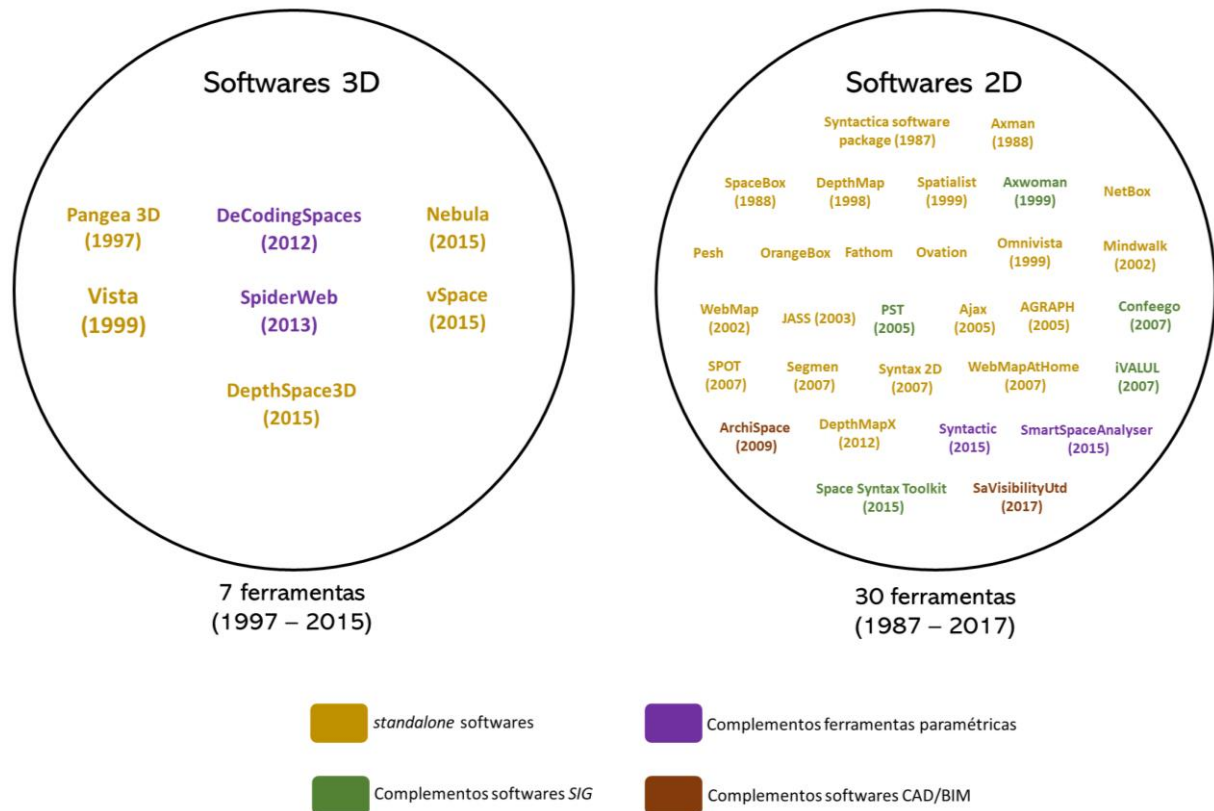
Standalone Softwares	Complementos SIG	Complementos Rhino/Grasshopper	Complementos CAD/BIM
Syntactica software package (1987)	Axwoman (1999)	DeCodingSpaces (2012)	ArchiSpace (2009)
Axman (1988)	Place Syntax Tool (PST) 2005	SpiderWeb (2013)	SaVisibilityUtd (2017)
SpaceBox (1988)	Confeego (2007)	Syntactic (2013)	
Pangea 3D (1997)	iVALUL (2008)	SmartSpaceAnalyser (2015)	
DepthMap (1998)	Space Syntax Toolkit (2015)	Configurbanist (2015)	
Spatialist (1999)			
Vista (1999)			
NetBox			
Pesh			
OrangeBox			
Fathom			
Ovation			
Omnivista (1999)			
Mindwalk (2002)			
WebMap (2002)			
JASS (2003)			
Ajax (2005)			
AGRAPH (2005)			
SPOT (Spatial Position Tool) (2007)			
Segmen (2007)			
Syntax2D (2007)			
WebMapatHome (2007)			
DepthMapX (2012)			
Nebulla (2015)			
vSpace (2015)			
DepthSpace3D (2015-2019)			

Fonte: Do autor (2022).

De todas as 37 ferramentas, 30 realizam apenas análises 2D e 7 realizam análises 3D (Diagrama 1). A amostra refere-se ao período de 1988 (origem do primeiro software específico para a Sintaxe) à 2022. Sem a pretensão de se trazer com absoluta precisão o número dessas ferramentas, acredita-se que o total de 37

encontradas possibilita significativa amostra dos recursos digitais existentes. As ferramentas tridimensionais acontecem através de *standalone softwares* ou no ambiente *Rhinceros/Grasshopper* (Quadro 5).

Diagrama 1 - Comparativo de quantidade entre ferramentas 3D e 2D em Sintaxe Espacial

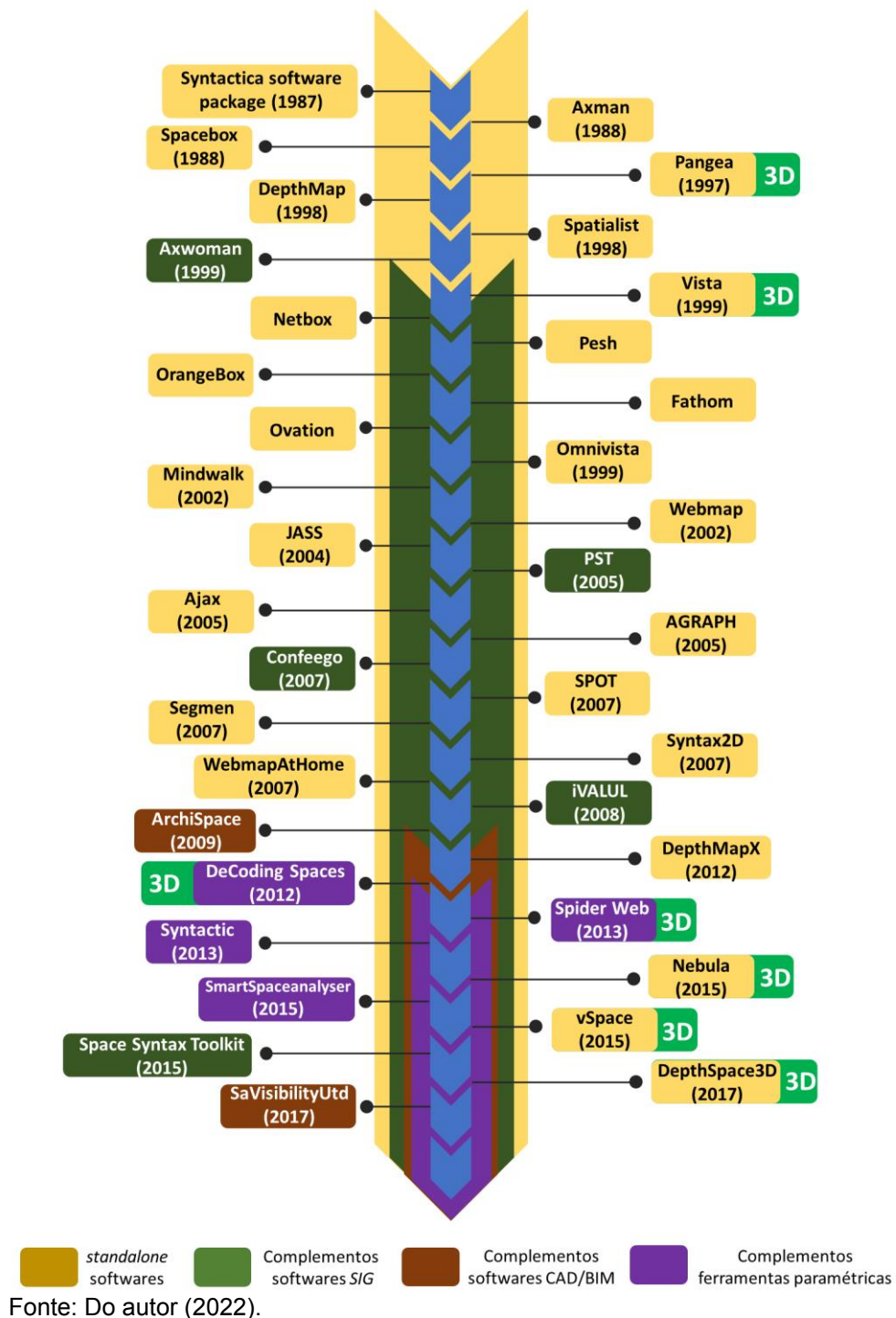


Fonte: Do autor (2022).

Os *softwares standalone* foram mais comuns até o ano de 2010 (*Axman*, *depthMap*, *Omnivista*, *Mindwalk*, *Webmap*). Na segunda década do século XXI intensificam-se a criação de *plugins* para abordagens algorítmico/paramétricas com destaque para aquelas compatíveis com *Rhinceros/Grasshopper* (*SpiderWeb*, *DeCodingSpaces*, *Syntactic*, *SmartSpaceAnalyser*). As ferramentas para ambiente SIG sempre estiveram presentes e continuaram em constante desenvolvimento durante o tempo (*Axwoman* 1998, *Confeego* 2007, *PST* 2007, *iVALUL* 2008, *SST* 2015), sem apresentarem, no entanto, inclusão de métricas 3D. Das 7 ferramentas digitais com recursos de análise 3D, todas realizam análise de Isovistas e nenhuma considera a Topografia como elemento influenciador dos padrões de movimento. 5 delas são *standalone softwares* e duas são complementos para

Rhinoceros/Grasshopper. Sendo assim, não foram encontradas ferramentas com métricas 3D para ambiente SIG, CAD ou BIM. Apesar do número reduzido de ferramentas 3D se comparado ao grupo das ferramentas 2D, pode-se dizer que as ferramentas 3D em Sintaxe Espacial estiveram presentes ao longo de quase todo período de existência das ferramentas digitais na Teoria (Diagrama 2).

Diagrama 2 - Linha do tempo das ferramentas digitais em Sintaxe Espacial



3.12 Discussão

Este trabalho traz a contribuição de reunir e confrontar o trabalho dos autores que tem abordado o tema das soluções digitais tridimensionais em Sintaxe Espacial de forma esparsa. Além reunir o escopo teórico, traz as soluções propostas e analisadas, traçando um panorama atual e embasado da temática da tridimensionalidade em Sintaxe Espacial e análises configuracionais. A partir desse panorama, pode-se estabelecer características qualitativas e contextuais mais ou menos acentuadas da evolução destas ferramentas, características estas que foram reunidas nos diagramas apresentados, ilustrando o esforço realizado para compilação e sintetização das informações.

Foi graças à abordagem lógico/matemática de que se utilizam os autores da teoria para quantificar aspectos sociais do espaço Hillier, Hanson (1984) e Hillier (2007), que foi possível, desde os primeiros anos da teoria, a tentativa de incorporação de recursos computacionais na representação e processamento de cálculos dentro da Sintaxe Espacial. A ascensão dos recursos digitais presenciados no período final da década de 1980 e sobretudo em 1990, foram a ela incorporados abrindo novos caminhos para a teoria, cujas análises cresceram em complexidade, profundidade e precisão. Das primeiras ferramentas CAD (*Computer Aided-design*) em 1982 a ferramentas algorítmico-paramétricas de projeto atuais, a evolução digital também possibilitou o desenvolvimento de ferramentas para simulação e análise do ambiente construído. O fato permite avaliar o impacto da arquitetura em seu ambiente gerando informações que se incorporam nos processos de projeto, tornando-os mais eficientes e concisos com seus objetivos.

Neste contexto, a teoria da Sintaxe Espacial se beneficiou com o aprimoramento de suas análises através da incorporação de ferramentas digitais que possibilitaram a automatização de processos e colaborou com o desenvolvimento de novas metodologias e métricas para avaliação do espaço. Com um entendimento mais preciso acerca do espaço e seu funcionamento, o conhecimento advindo de tais processos auxiliam com eficiência linhas teóricas emergentes, tais como os processos generativos de projeto baseado no desempenho, conforme se verá à frente. Os aplicativos digitais para fins de processamento das análises sintáticas iniciaram-se com capacidade de processamento restritas, possibilitando apenas a execução de análises simples, arquivos de tamanho reduzido e métricas igualmente limitadas.

Constituíram-se de programas com estruturas simples e básicas para realização dos cálculos das métricas sintáticas e quando muito, permitiam a confecção manual de mapas axiais, conforme é de se esperar da época em que foram criados.

Apesar de a problemática tridimensional ainda ser assunto levantado nos meios próprios, observa-se que soluções práticas para se suprir o problema têm sido propostas desde 1997 (PENN *et al.*, 1997). Apesar da quantidade de ferramentas propostas nos últimos 25 anos, os resultados mostraram que tem havido pouca continuidade entre elas. Soma-se ainda o fato de que nem todas as ferramentas surgem com o propósito de serem universalistas. Muitas nascem da necessidade de atender contextos específicos ou temporários como no caso de uma pesquisa ou estudo, enquadrando-se dentro de um recorte cultural e temporal muito restrito. Nos trabalhos analisados observou-se ainda pouca continuidade nos *softwares* de suas versões mais antigas para novas, com raras exceções. Ainda assim, nota-se que aqueles que recebem atualizações, as receberam dos mesmos autores que os criaram, sendo raro ou quase nulo casos em que as ferramentas criadas por um ou mais pesquisadores, receberam desenvolvimento por parte de outros. Apesar da existência de algumas tentativas de criação de *softwares* com código aberto para que outros tivessem acesso, essa associação entre autores não aconteceu.

Estas ideias apontam para a validar as hipóteses de autores como Fisher-Gewirtzman e Natapov (2014), Kim (2017) e Wineman *et al.* (2007), segundo os quais a grande variedade e quantidade de ferramentas vem do fato de que maioria delas são criadas para contextos específicos, havendo pouca comunicação entre seus criadores, o que contribuiria ainda mais para suas descontinuidades, especialmente no contexto das ferramentas 3D. Além disso, pode-se acrescentar que para a construção de ferramentas digitais 3D bem embasadas, será necessário antes, o aprofundamento na lógica matemática por trás das métricas tridimensionais, aprofundamento este baseado por uma revisão teórica nos princípios básicos da Sintaxe.

Sem a possibilidade de se acessar o código fonte de muitas das ferramentas, perdem-se possibilidades potenciais de se aprender com os erros cometidos e propor soluções mais pertinentes. Sem um panorama mais certo sobre o estado da arte destes desenvolvimentos digitais e dos erros anteriores, pesquisadores se veem sob a contingência de repetir processos e duplicar esforços para suprimir problemáticas recorrentes. À medida que pesquisadores mudam sua área de pesquisa e foco, muitos

softwares perdem-se, ficam sem atualizações e não recebem continuidade do seu desenvolvimento.

Disso infere-se que o avanço das análises tridimensionais em Sintaxe Espacial tem sido severamente prejudicado, uma vez que os avanços da Teoria, conforme se viu do material reunido, estão e estiveram quase sempre atrelados ao alcance e potencial de suas ferramentas analíticas. À par disso, nota-se que as insipientes discussões teóricas que poderiam embasar tais desenvolvimentos estão escassas, contribuindo para a estagnação do progresso em ferramentas tridimensionais. À par destas continuidades, vale notar que o software DepthSpace3D tem se destacado pela continuidade em seu desenvolvimento que vem acontecendo continuamente e por diversos autores desde 2015, mostrando-se como uma ferramenta robusta e com promissores sucessos para o futuro. Ainda assim, a ferramenta especializou-se apenas em análises visuais e de isovistas 3D. Apesar da sugestão para inclusão da Topografia para elemento de análise como fez Ascensão *et al.* (2019), esta entraria apenas como fator influenciador na perspectiva e profundidade do campo visual do espaço e não como elemento influenciador no deslocamento de pessoas.

O compilado de ferramentas estudado aponta, ainda, uma outra tendência. A Linguagem de Programação Visual (LPV) tem possibilitado a inclusão da Sintaxe Espacial em Processos de Projetos Generativos e Paramétricos. Aproveitando-se da ampla difusão e aceitação entre a comunidade de design paramétrico, diversas novas ferramentas utilizam-se do *software Rhinoceros/Grasshopper* para associar Sintaxe Espacial nos ambientes generativos. Tornando-se popular entre arquitetos e *designers*, várias tentativas foram feitas para incorporar análises sintáticas em ambientes de projeto paramétricos (NOURIAN; REZVANI; SARIYILDIZ, 2013; SCHAFFRANEK; VASKU, 2013; SZEMEREI; HANNA; SCHIECK, 2017).

Diferentemente das ferramentas tradicionais, estas tentativas têm possibilitado a interação instantânea de projetistas com as métricas da Sintaxe em ambientes generativos de projeto, oferecendo possibilidade de retornos instantâneos e em tempo real, aumentando mais o campo de alcance da Teoria e possibilitando seu diálogo com outras linhas de pensamento. Esse diálogo gera abordagens multidisciplinares contribuindo para leituras cada vez mais holísticas das propriedades do espaço que a Sintaxe não alcança.

4 ANÁLISE PRÁTICA COM CONFIGURBANIST

Para fins de teste e aprofundamento no conhecimento das ferramentas digitais 3D em Sintaxe Espacial que considerem a topografia em suas análises, este capítulo coloca em funcionamento uma ferramenta digital que realiza análises tridimensionais com o fim de averiguar seus potenciais e limitações. Para escolha da ferramenta, foram seguidas as seguintes etapas:

- a) Identificar dentre as ferramentas digitais para Sintaxe Espacial catalogadas no capítulo anterior aquelas que realizam análises tridimensionais;
- b) Selecionar, dentre elas, aquelas que incluem análises com topografia;

Apesar de não ser uma ferramenta criada para realizar apenas análises Sintáticas, o *CONFIGURBANIST* de Nourian (2016) foi escolhido uma vez que é a ferramenta que possibilita inclusão do elemento topográfico mais próxima do contexto sintático apresentando a possibilidade de extração das métricas *Betweenness* (Escolha) e *Closeness* (Integração) de um tecido urbano sobreposto a um modelo digital de terreno. O quadro 5 sintetiza os critérios que foram utilizados para escolha da ferramenta:

Quadro 5 - Critérios para escolha de ferramenta digital 3D em Sintaxe Espacial

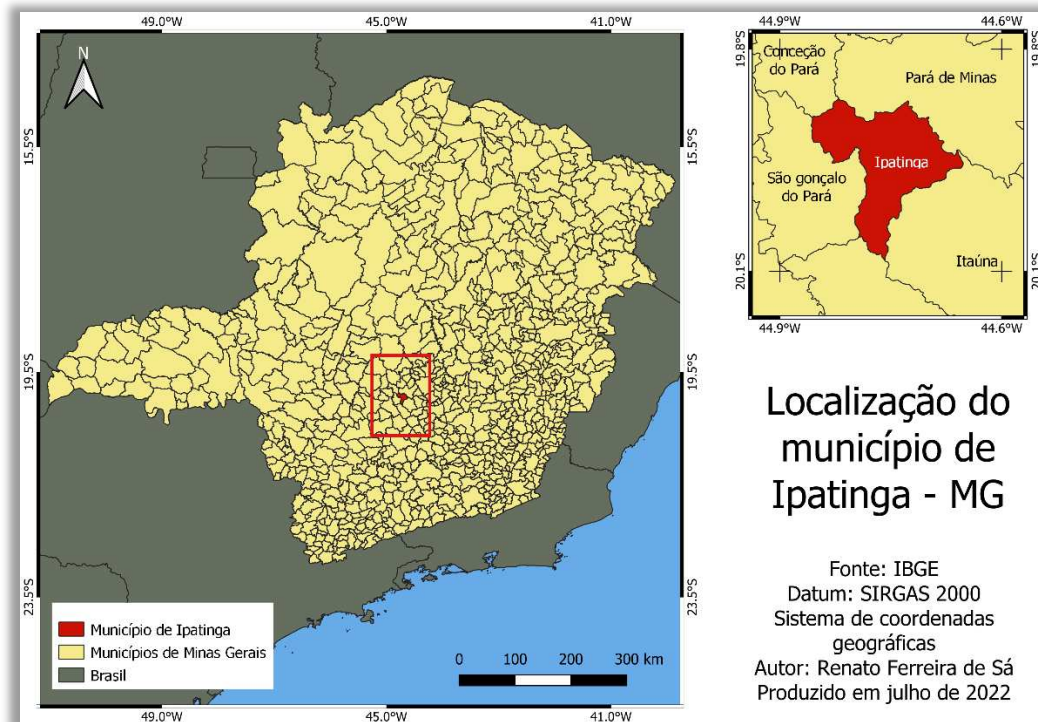
Ferramentas 3D	Foi criado para Sintaxe?	Faz uso da Sintaxe?	Métricas	Download	Ferramenta escolhida
PANGEA	SIM	SIM	Isovista 3D	Indisponível	
VISTA	SIM	SIM	Isovista 3D	Indisponível	
SPIDERWEB	SIM	SIM	Isovista 3D	Indisponível	
NEBULLA	SIM	SIM	Isovista 3D	Indisponível	
EASIEST PATH (CONFIGURBANIST)	NÃO	SIM	<i>Closeness</i> e <i>Betweenness</i> com topografia	Disponível	
DEPTHSPACE3D	SIM	SIM	Isovista 3D	Disponível	

Fonte: Do autor (2022).

4.1 Recorte do estudo

O contexto urbano utilizado para esta análise parte dos resultados obtidos em uma pesquisa de mestrado realizada no grupo de pesquisa Nó, da Universidade Federal de Viçosa, intitulada: EXPANSÃO URBANA EM IPATINGA - MG: UM OLHAR A PARTIR DA TEORIA DA SINTAXE ESPACIAL , cujo objetivo foi analisar a expansão urbana (crescimento físico) de Ipatinga-MG (Figura 27) a partir da Teoria da Sintaxe Espacial, considerando desde o traçado original da cidade quando da construção da Usiminas na década de 1960, passando pela sua configuração presente e, por fim, um cenário futuro, tendo como referência o plano de mobilidade a ser implementado na cidade. A pesquisa utilizou o *software DepthMapX* e o *plugin SpaceSyntaxToolkit* (SSToolkit) para obtenção dos resultados e produção de mapas através do QGIS. As análises foram realizadas em âmbito bidimensional e a cidade de Ipatinga é trazida para o contexto desta pesquisa com o intuito de comparar as análises bidimensionais com as tridimensionais obtidas através do *CONFIGURBANIST*.

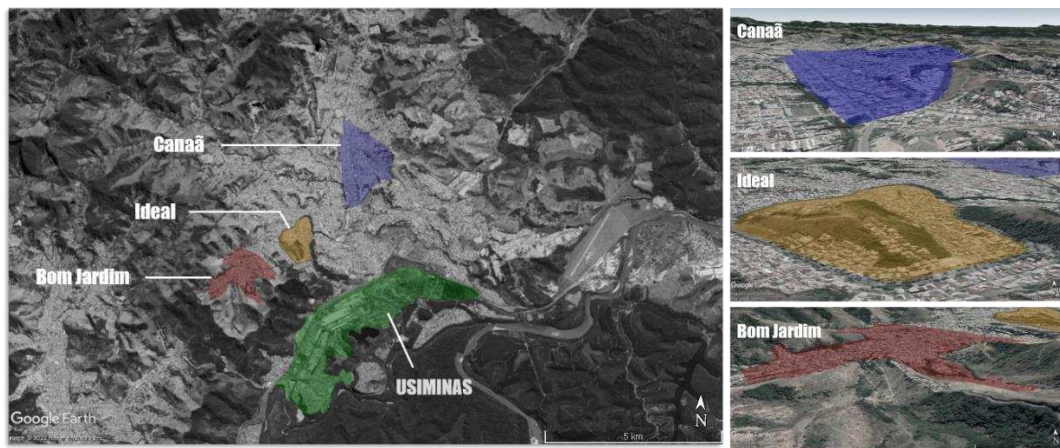
Figura 27 - Mapa de localização de Ipatinga - MG



Fonte: Do autor (2022).

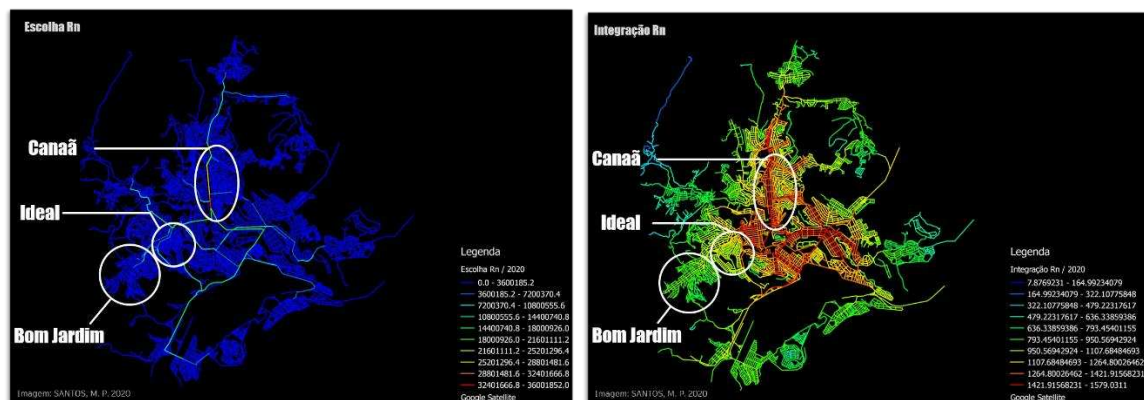
Para aplicação do estudo de caso, utilizou-se em primeiro lugar de todo tecido urbano de Ipatinga - MG para verificar a capacidade do plugin *CONFIGURBANIST* de trabalhar com sistemas urbanos completos. Foi também analisado uma porção menor da malha, o bairro Bom Jardim. A escolha do bairro foi feita após uma pré-seleção que destacou três bairros: Canaã, Ideal e Bom Jardim (Figura 28) por apresentarem variação na topografia onde se assentam, diferentes graus de centralidade conforme análises de Peixoto (2022) (Figura 29) e diferentes aspectos de morfologia e histórico de ocupação, conforme constatado também por Peixoto (2022).

Figura 28 - Seleção de bairros



Fonte: Do autor (2022).

Figura 29 - Análises sintáticas de Escolha e Integração de Ipatinga-MG



Fonte: Adaptado de Peixoto (2022).

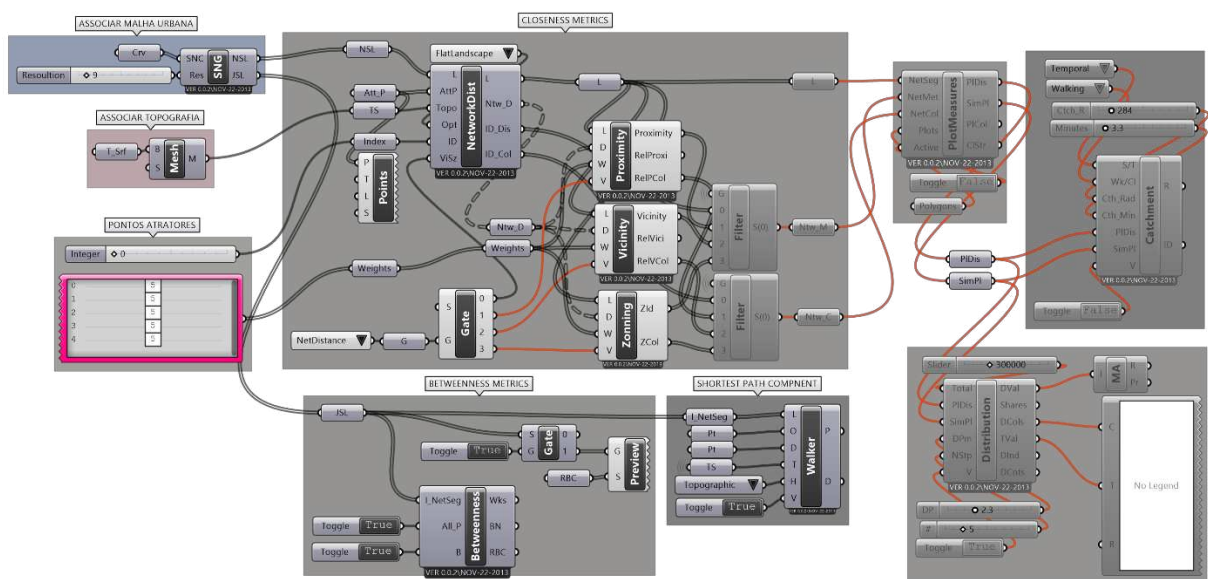
Os mapas de Road Center Lines dos três bairros foram submetidos a análises para averiguar o funcionamento da ferramenta *CONFIGURBANIST*. Enquanto o *plugin* de Nourian apresentou problemas na execução inicial das análises do Ideal e do

Canaã, com o bairro Bom Jardim pode-se avançar mais nas análises. Por esse motivo as análises com ele são detalhadas mais a frente, servindo de exemplificação para os mesmos problemas identificados nas análises dos outros dois bairros.

4.2 Código modelo do CONFIGURBANIST

Para se ter acesso ao programa, é necessário fazer o download, que poderá ser realizado através da página Genesis-Lab¹. Um código modelo (Figura 30) para utilização da ferramenta é disponibilizado dentro das pastas de instalação do próprio CONFIGURBANIST. Este modelo compõe-se de um arquivo exemplo com o código do CONFIGURBANIST montado no Grasshopper e um modelo de um ambiente urbano para Rhinoceros (Figura 31).

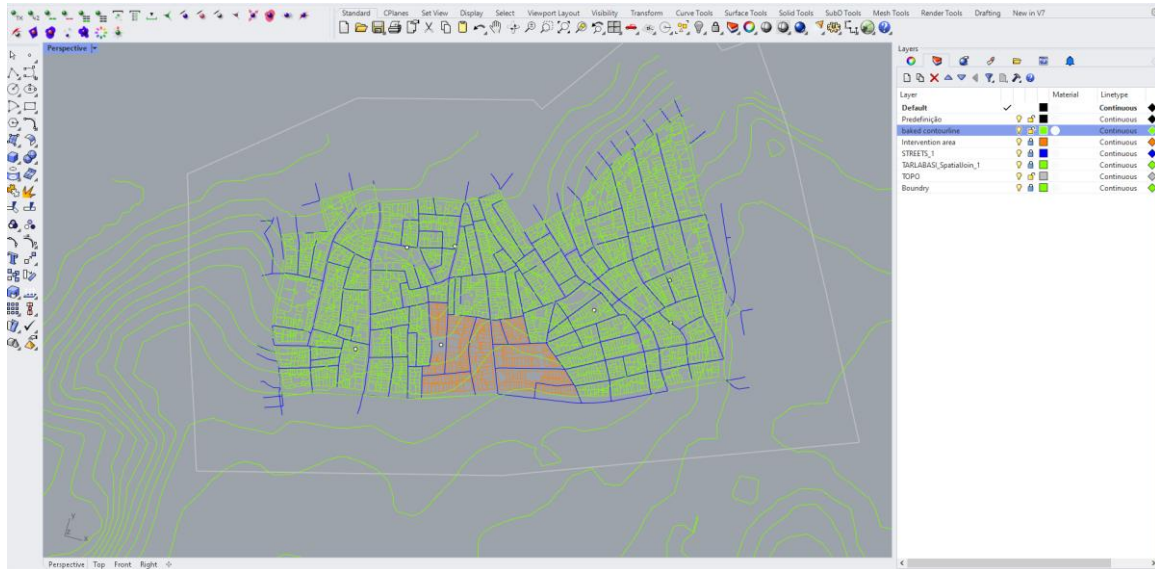
Figura 30 - Modelo de código disponibilizado no CONFIGURBANIST



Fonte: Do autor (2022).

¹ GENESIS Lab. **Cheetah**: o configurbanista. 2021. Disponível em: <https://genesis-lab.dev/products/cheetah/>. Acesso em: 07 jun. 2022.

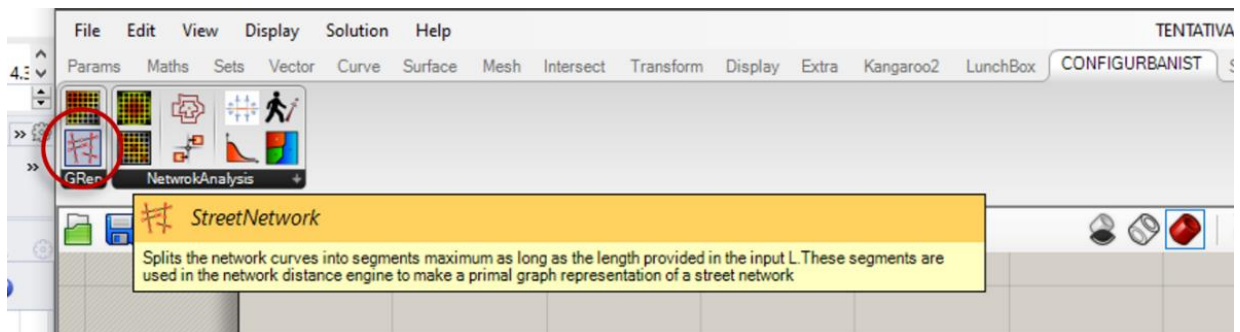
Figura 31 - Arquivo com malha modelo disponibilizada no *CONFIGURBANIST*



Fonte: Do autor (2022).

A malha urbana é inserida no como uma curva em um componente nativo do *CONFIGURBANIST* chamado “*StreetNetwork*” (Figura 32) e o elemento topográfico é gerado a partir de um “*Brep*” e inserido com o componente “*MeshBrep*”.

Figura 32 - Componentes do *CONFIGURBANIST* - destaque para *StreetNetwork*



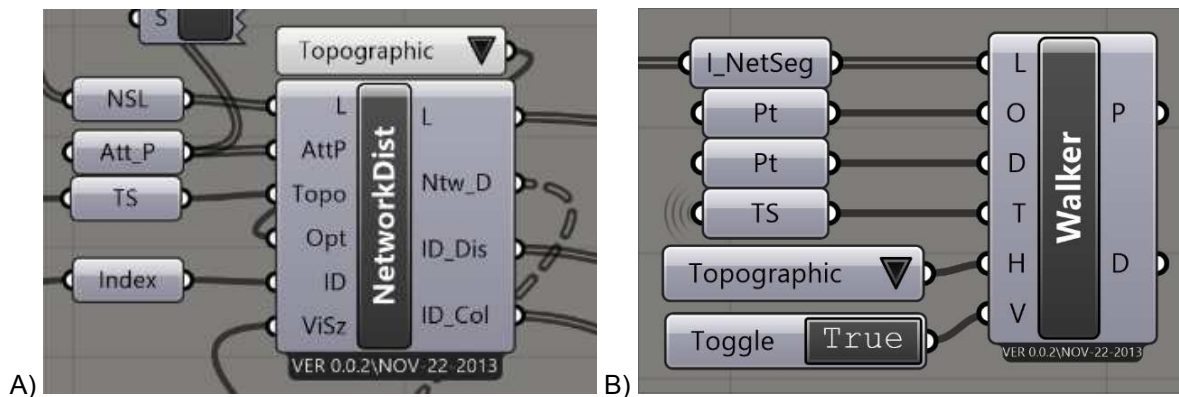
Fonte: Do autor (2022).

A partir disso, o *plugin* permite cálculo de centralidade da malha através do componente *Betweenness*, análise de distância com o componente *Network Distance Calculator* (NDC) e cálculo do caminho mais curto entre dois pontos (*Shortest Path*) com o componente *Walker*. Destes, os componentes *NDC* e *Walker* são os que incluem a opção de análise *flat* (chapada) ou topográfica.

O componente *NDC* (Figura 33, A) calcula a proximidade (*closeness*) de todos os segmentos do sistema considerando pontos de atração que podem ser

definidos nas quantidades e posições variadas de acordo com o *input Attraction Points*. O Componente *Walker* (Figura 33, B) encontra o caminho mais curto entre uma origem e um destino. O componente contabiliza a inclinação do percurso aplicando uma penalidade na velocidade do deslocamento, conforme a *Hiking Function* de Tobler (1993). Se a análise a ser realizada é *flat*, ou seja, plana, o componente considera apenas os passos topológicos do caminho.

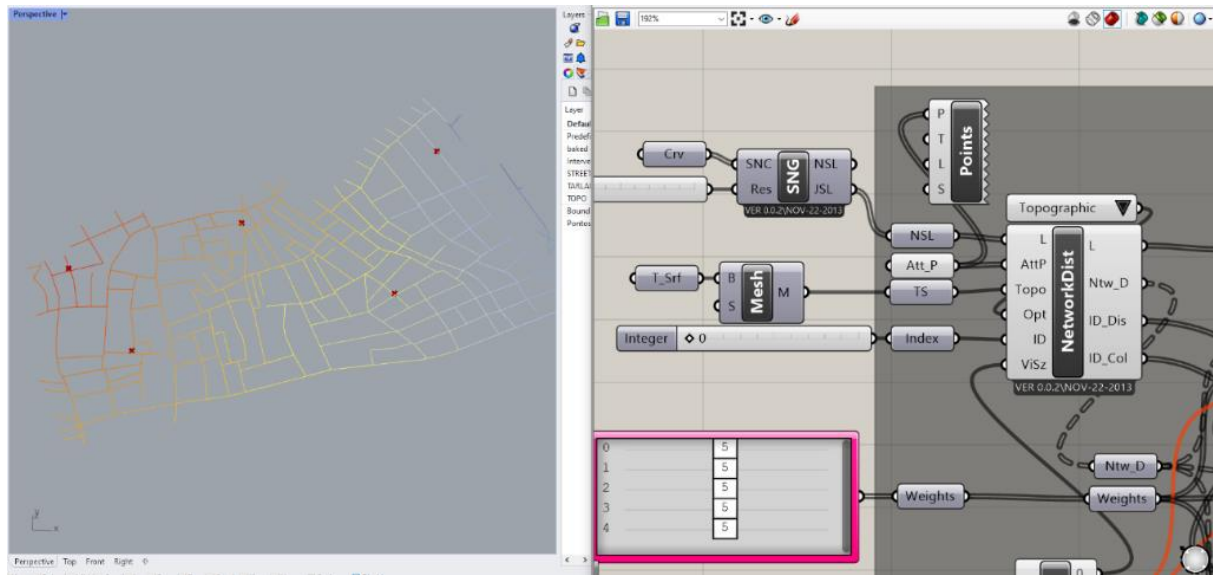
Figura 33 - Componente *Network Distance Calculator* e componente *Walker*



Fonte: Do autor (2022).

A Figura 34 demonstra o componente *Network Distance Calculator* em funcionamento com a opção de Topografia ativada quando utilizada com o modelo disponibilizado por Nourian. O componente entrega um resultado visual através de cores, indicando pelos tons quentes (vermelhos) a área mais acessível ao ponto atrator de referência. Estes pontos podem ser alterados através do *input* denominado *index*.

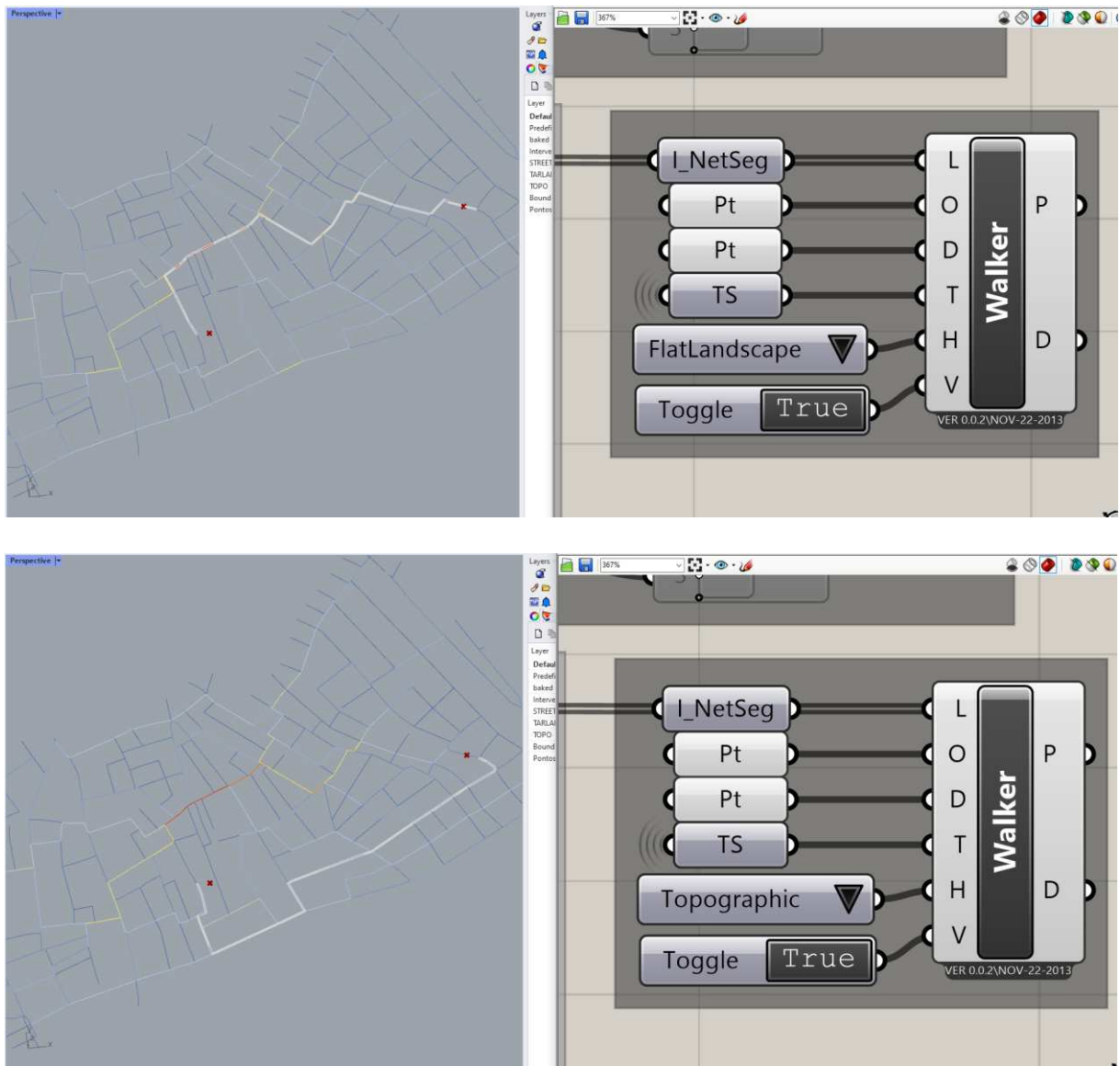
Figura 34 - Funcionamento do *Network Distance Calculator* com o modelo disponibilizado pelo *CONFIGURBANIST*



Fonte: Do autor (2022).

De igual maneira, a Figura 35 registra o funcionamento do componente *Walker* para identificação dos *Shortest Paths* entre dois pontos. Na primeira de cima para baixo tem-se a análise *flat* e na segunda a análise com o elemento topográfico ligado. Observa-se a alteração da rota quando o relevo é considerado.

Figura 35 - Funcionamento do componente *Walker* em análise *flat* e topográfica



Fonte: Do autor (2022).

4.3 Análises

A partir do código modelo fornecido pelo *CONFIGURBANIST*, foram realizados testes com o *plugin*, considerando diversas escalas do ambiente urbano. Estas análises foram realizadas com uma metodologia própria do autor, que visou explorar, em etapas, a capacidade da ferramenta em lidar com diferentes escalas do ambiente urbano e a compatibilidade de seus resultados com o *DepthMapX/SpaceSyntaxToolkit*. Para isso foram considerados a malha urbana completa de Ipatinga e o bairro Bom Jardim.

Os arquivos para análise foram obtidos através de dados SIG disponibilizados pela Prefeitura Municipal de Ipatinga e processados no *software* QGIS. Tanto a malha urbana quanto as curvas de nível foram exportadas para o *Rhinoceros* para composição do modelo urbano a ser analisado.

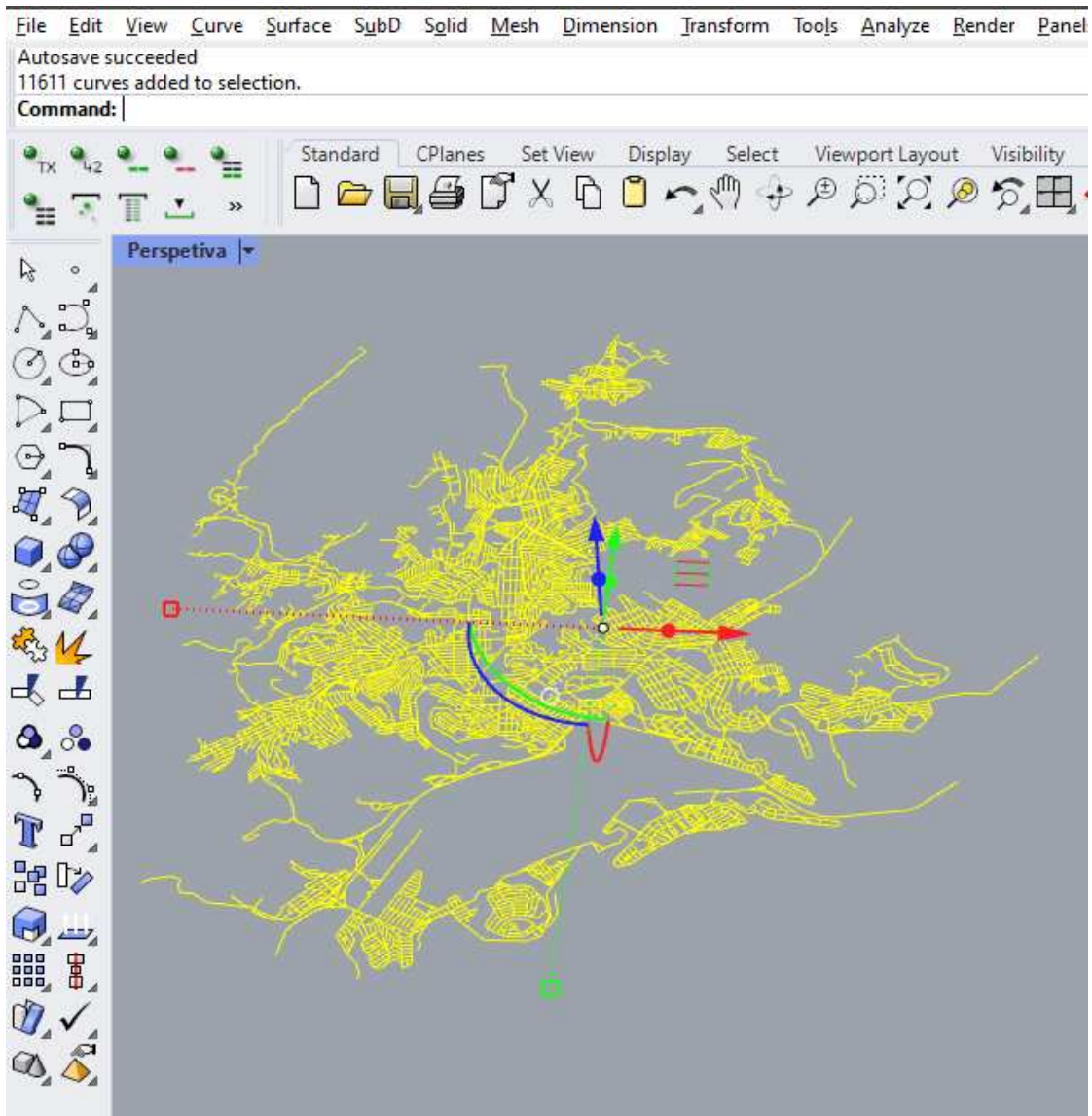
A metodologia utilizada seguiu as seguintes etapas:

- a) Análise 1: malha urbana completa de Ipatinga com o componente *Network Distance Calculator: Flat e Topographic*;
- b) Análise 2: malha urbana completa de Ipatinga com o componente *Walker: Flat e Topographic*;
- c) Análise 3: malha urbana do bairro Bom Jardim com o componente *Network Distance Calculator: Flat e Topographic*;
- d) Análise 4: malha urbana do bairro Bom Jardim com o componente *Walker: Flat e Topographic*;
- e) Tentativa de correção dos erros apresentados;
- f) Comparação visual das análises flat obtidas pelo *CONFIGURBANIST* com os resultados obtidos *DepthMapX/SpaceSyntaxToolkit*.

4.3.1 Teste com a malha urbana completa

Para realização das análises 1 e 2, as *Road Center Lines* da cidade de Ipatinga-MG foram obtidas através das camadas *shapefile* disponibilizadas pela Prefeitura Municipal da cidade e processadas no QGIS. A camada foi exportada para o *Rhinoceros* através do formato *dxf* e deu origem a um arquivo com 11.611 segmentos, conforme Figura 36.

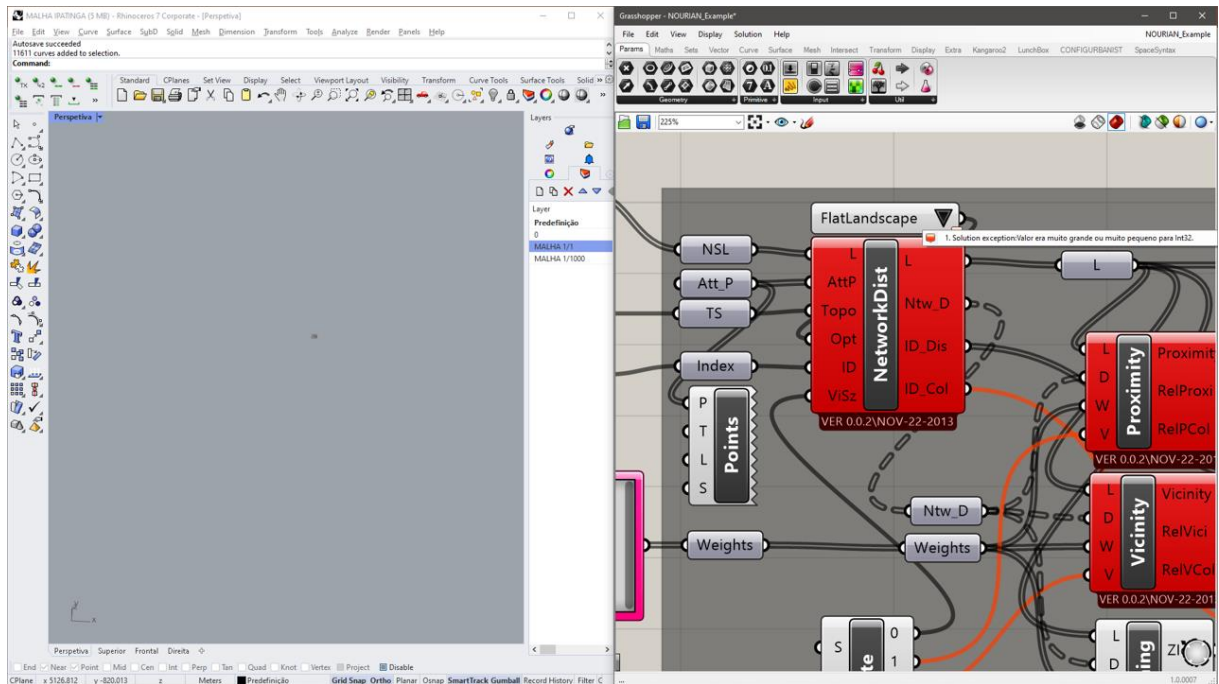
Figura 36 - Mapa de *Road Center Lines* de Ipatinga - MG



Fonte: Do autor (2022).

Para iniciar o teste com a análise da malha completa de Ipatinga foi associado seu RCL ao componente *Network Distance Calculator* (NDC) na modalidade *FlatLandscape*, que acusou erro. O resultado é mostrado na Figura 37. A imagem mostra que o componente não aceitou o tamanho total da cidade, indicando a mensagem: “*Error: ‘1. Solution Exception: Value was too large or too small for Int32.’*”.

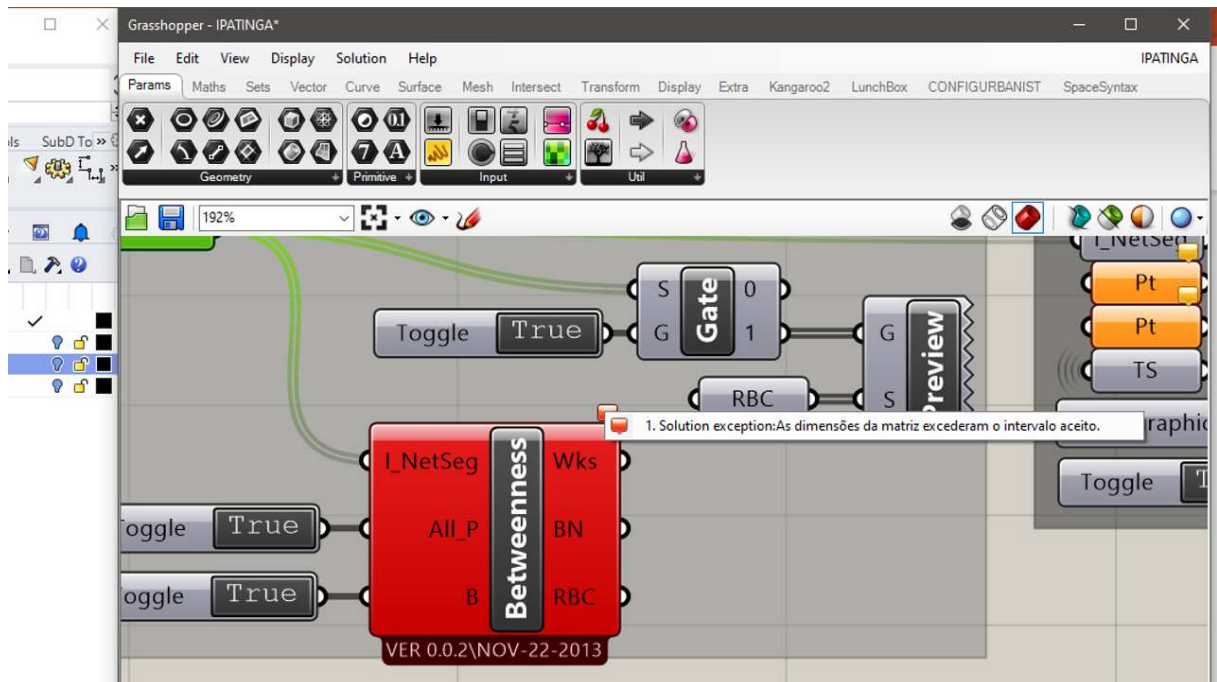
Figura 37 - Análise *FlatLandscape* com o componente NDC em Ipatinga



Fonte: Do autor (2022).

O resultado demonstrou que o *plugin* está limitado a um arquivo com menor quantidade de linhas e entidades espaciais. A análise na modalidade *FlatLandscape* no componente *Betweenness* também resultou no mesmo erro (Figura 38), enquanto o componente *Walker*, quando conectado à malha gera um crash no arquivo, fechando-o automaticamente e impedindo que os cálculos na modalidade *Topographic* sejam realizados uma vez que estes dependem do componente *Network Distance Calculator flat*.

Figura 38 - Componente *Betweenness* apresenta o mesmo erro do componente *Network Distance Calculator* quando se associa toda malha de Ipatinga

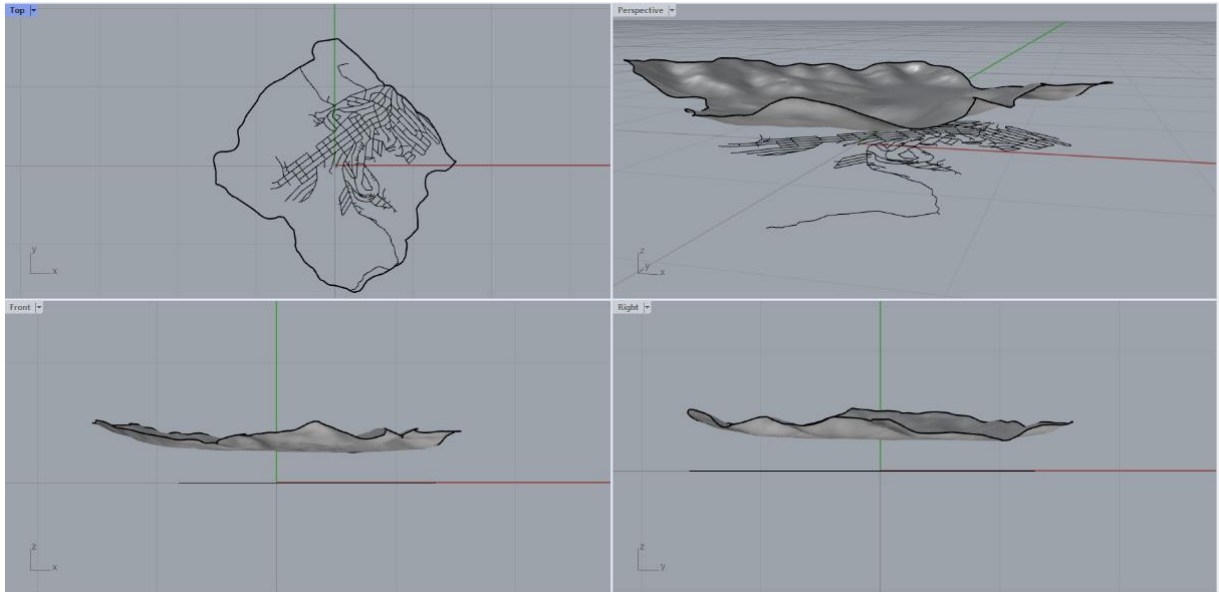


Fonte: Do autor (2022).

4.3.2 Teste com o Bairro Bom Jardim

Para realização das etapas 3 e 4 da metodologia, as *Road Center Lines* e limites do bairro Bom Jardim foram obtidas através das camadas *shapefile* disponibilizadas pela Prefeitura de Ipatinga e processadas no *QGIS*. Ambas as camadas foram exportadas para o *Rhinceros* através do formato *dxf*. A superfície topográfica foi obtida através da extração de curvas de nível no próprio *QGIS*, importadas para o *Rhinceros* e transformadas em superfície através da ferramenta de superfície denominada "*Patch*".

Figura 39 - Preparação do arquivo no *Rhinceros*. Malha urbana e topografia sobreposta

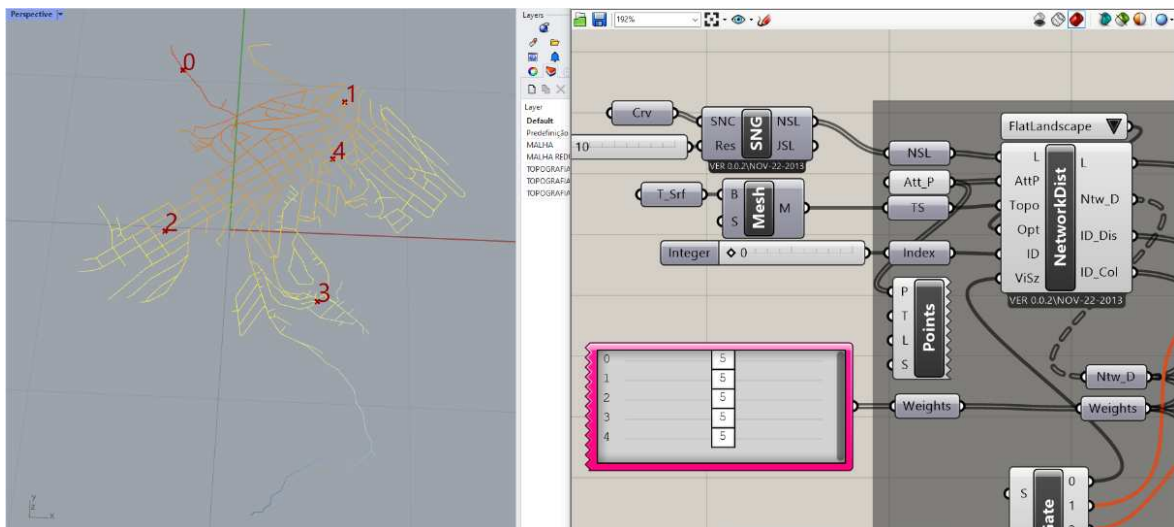


Fonte: Do autor (2022).

4.3.2.1 Análise 3: Network Distance Calculator - *FlatLandscape/Topographic*

AA primeira análise foi realizada com o componente *Network Distance Calculator* (NDC) na modalidade *FlatLandscape* sobre o ponto atrator 0. O resultado é mostrado na Figura 40. A imagem mostra que a análise foi realizada e os resultados são dados através do grau de calor das cores.

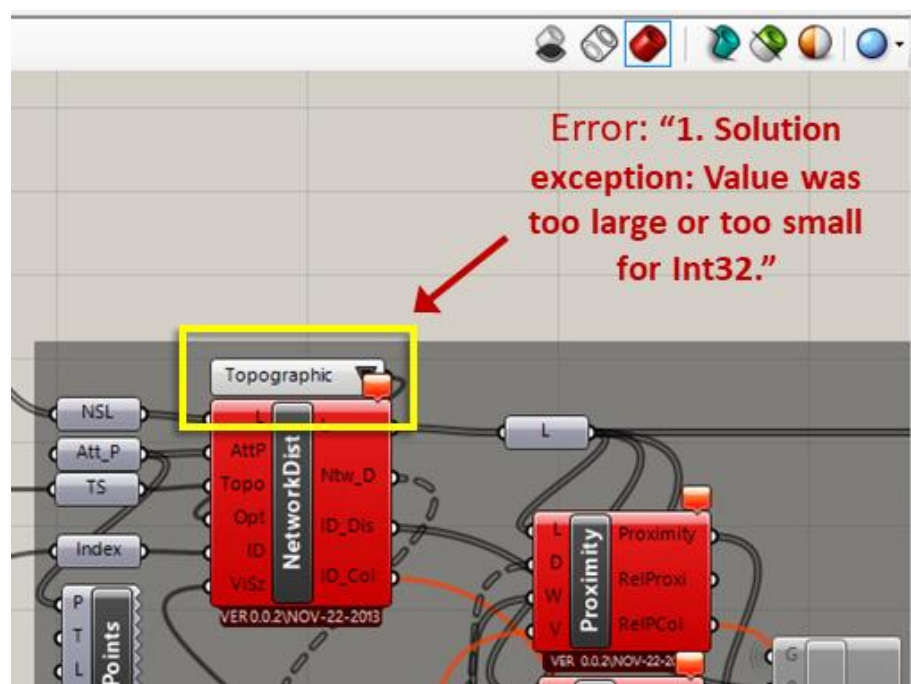
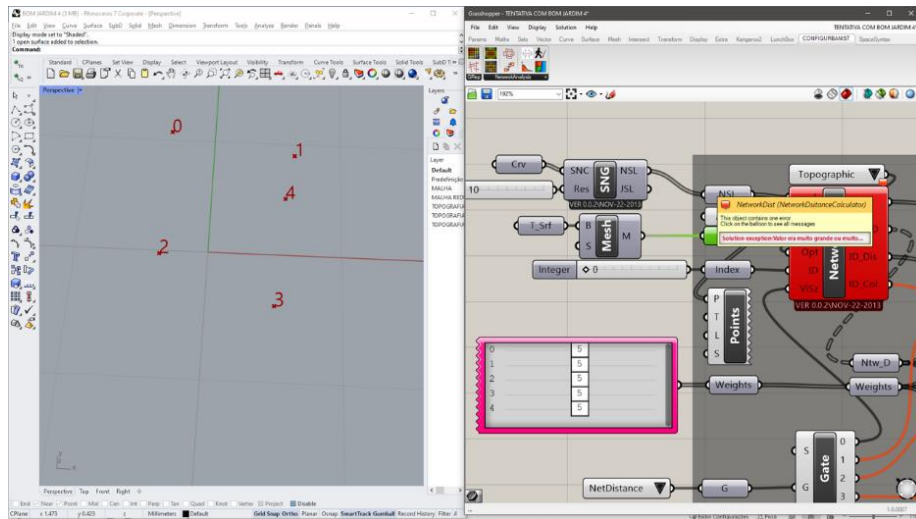
Figura 40 - Análise *flatLandscape* com o componente NDC no bairro Bom Jardim



Fonte: Do autor (2022).

Ao mudar a opção de *flatLandscape* para *Topographic*, o componente NDC acusa erro (Figura 41) com a mensagem: “*Error: ‘1. Solution Exception: Value was too large or too small for Int32.’*”. Foram tentadas diversas alternativas para solucionar o problema: Mudança de escala da rede urbana, verificação de linhas que pudessem não estar encaixando, testes com diferentes valores na opção “*resolution*” do componente *StreetNetwork* e modelagem com o elemento topográfico em diferentes resoluções no *Rhinceros*. Em todas o erro persistiu.

Figura 41 - Erro na análise *Topographic* com o componente NDC do bairro Bom Jardim

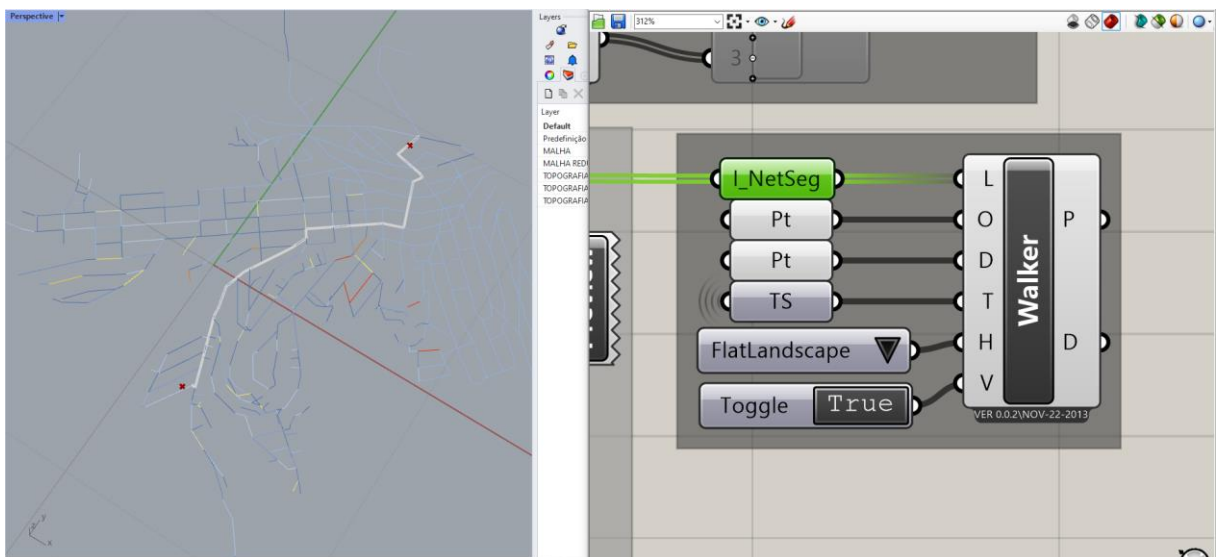


Fonte: Do autor (2022).

4.3.2.2 Análise 4: Componente Walker - FlatLandscape/Topographic

A análise com o componente *Walker* para *Shortest Path* entre dois destinos demonstrou bom funcionamento para análise *FlatLandscape*. No entanto, chama-se atenção para análise *Betweenness*, que gerou resultado em cores fragmentadas, conforme mostra a Figura 42. A representação gráfica dos resultados das análises de *Betweenness* desejável é mostrado pela Figura 35, no exemplo disponibilizado por Nourian. As mesmas alterações realizadas na análise 2 foram tentadas também na análise 3 para corrigir o erro do componente *Betweenness* (mudança de escala da rede urbana, verificação de linhas que pudessem não estar encaixando, testes com diferentes valores na opção “*resolution*” do componente *StreetNetwork* e modelagem com o elemento topográfico em diferentes resoluções no *Rhinoceros*), porém, sem sucesso.

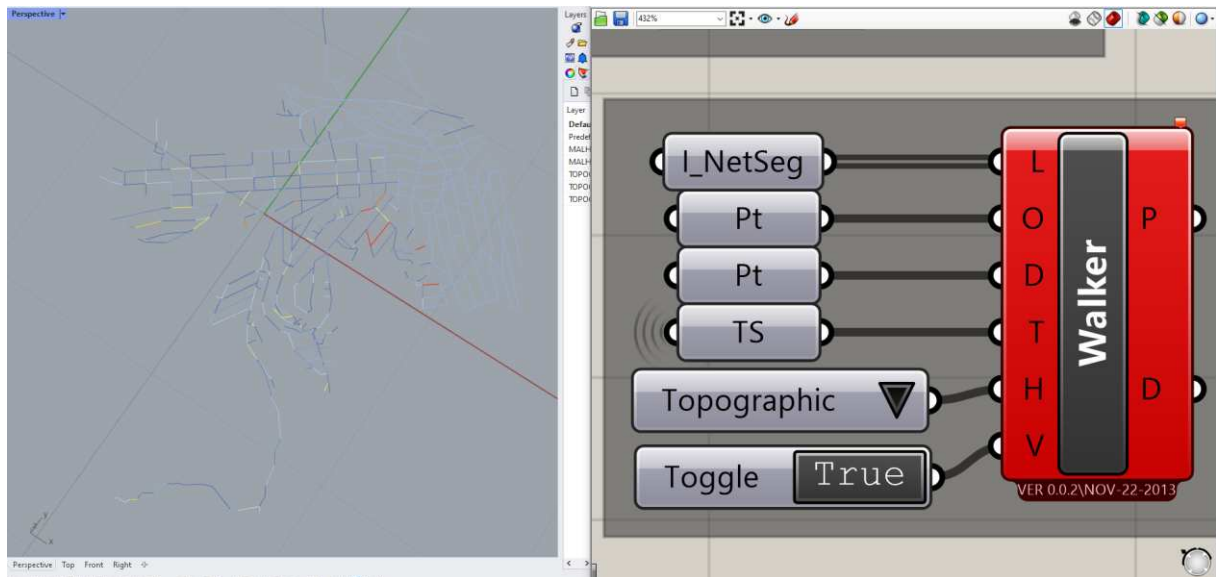
Figura 42 - Análise *FlatLandscape* com o componente *Walker* no bairro Bom Jardim



Fonte: Do autor (2022).

O componente *Walker* demonstrou ser incapaz de realizar a análise *Topographic* apresentando dois tipos de problemas: arquivo parou de funcionar e mensagem de erro conforme análise 2. Foram tentados os mesmos recursos da análise 2 e 3, sem sucesso (Figura 43).

Figura 43 - Análise *Topographic* com o componente NDC do bairro Bom Jardim



Fonte: Do autor (2022).

4.3.3 Tentativas de solução da problemática

Para realização da etapa 5 buscou-se tutoriais ou vídeos na internet que pudessem auxiliar na correção dos erros. Foram encontrados 2 vídeos do próprio Pirouz Nourian, datados de 2013 onde se ensina as funcionalidades básicas da ferramenta e a montagem do código no GRASSHOPPER. Ainda com as instruções dos vídeos, os erros persistiram.

Recorreu-se ao fórum oficial do CONFIGURBANIST² onde os problemas encontrados na realização destas análises foram relatados. Foi possível estabelecer contato com o próprio Pirouz Nourian através do fórum, cuja sugestões para solução foi observar a quantidade de segmentos que formava a malha e a resolução das análises, que pode ser alterada através de um *input* do *Network Distance Calculator*. Após realização das sugestões o problema persistiu. Foi tentado ainda contato mais direto com o criador do *CONFIGURBANIST* através de *e-mail*, sem sucesso, contudo.

Foi localizado no fórum uma pesquisadora que relatou os mesmos problemas com as análises de topografia em uma publicação datada do mês de maio de 2021.

² NOURIAN, P. **Cheetah, o Configurbanista**. Holanda: Grasshopper, 2016. Disponível em: https://www.grasshopper3d.com/group/cheetah?commentId=2985220%3AComment%3A2223247&xg_source=msg_com_group. Acesso em:

Em contato com ela, a mesma informou que ainda em 2022 não havia conseguido suporte para solução do problema.

Foram realizadas ainda tentativas com a malha do bairro Bom Jardim redesenhada, com remodelações da topografia em diferentes resoluções, diminuição no tamanho do arquivo e exclusão de linhas das Road Center Lines para diminuir o tamanho da malha. Em todas elas os erros persistiram. As análises se encerraram quando todas as soluções propostas pelo criador da ferramenta em teste não puderam corrigir o problema por ela apresentado e o retorno do mesmo cessar, através dos e-mails e do fórum.

4.3.4 Comparação das análises *flat*

O objetivo desta análise comparativa foi averiguar o grau de fidelidade das análises *Betweenness* obtidas através do *plugin CONFIGURBANIST* através da semelhança visual com as análises obtidas através do *SpaceSyntaxToolkit/DepthMapX*, conforme prevê a sexta etapa metodológica deste capítulo (ver item 4.3). A análise comparativa foi realizada com a extração da métrica de *Betweenness* (Escolha), uma vez que tanto o *CONFIGURBANIST* quanto o *SpaceSyntaxToolkit* no QGIS a realizam. A métrica de *Closeness* (Integração) também é realizada por ambos, porém no *CONFIGURBANIST* ela é empregada apenas para medição de raios locais sobre certos pontos de interesse, enquanto o *SSToolkit* a realiza em raio global, o que torna uma comparação direta inviável.

A análise é feita com o recorte urbano disponibilizado como exemplo pelo próprio *CONFIGURBANIST*. Este recorte foi utilizado em preferência aos da cidade de Ipatinga, até então foco deste capítulo uma vez que, conforme se atestou anteriormente, o *plugin* não executou corretamente as análises com os arquivos da cidade mineira. Para isso, seguiram-se as seguintes etapas:

- a) Extração da métrica *Betweenness* do recorte urbano disponibilizado como exemplo pelo *CONFIGURBANIST*, através do componente de mesmo nome;
- b) Realização da análise angular com raio métrico (n) do recorte urbano disponibilizado como exemplo pelo *CONFIGURBANIST*, através do *SSToolkit* para QGIS;

- c) Exportação das imagens de ambos resultados e comparação visual pela semelhança na escala de cores.

Os resultados obtidos podem ser visualizados nas Figuras 44 e 45.

Figura 44 - Análise *FlatLandscape* com o componente *Betweenness* no recorte urbano exemplo



Fonte: Do autor (2022).

Figura 45 - Métrica de Escolha para análise angular com raio métrico (n) realizada no *SSToolkit/DepthMapX* para QGIS no recorte urbano exemplo



Fonte: Do autor (2022).

Comparando visualmente os dois resultados, nota-se significativa equivalência se não nas cores, pelo menos na hierarquia das vias com maiores chances de serem escolhidas entre todos os menores percursos entre dois pontos da malha. Apesar de o *SSToolkit/DepthMapX* possibilitar a exportação de informações numéricas das análises através de tabelas, gráficos e *scatter plots*, e o *plugin* de Nourian não oferece tal possibilidade, impedindo análises comparativas mais precisas através de dados numéricos, como os valores de escolha para cada um dos segmentos. Ainda assim, esta análise demonstra que o CONFIGURBANIST, a princípio, é fiel às métricas sintáticas quando comparado com uma ferramenta mais experimentada entre pesquisadores da Sintaxe, como o *SSToolkit/DepthMapX*.

4.4 Conclusões e Sistematização dos resultados

Além das soluções relatadas foram tentados também contato direto com os desenvolvedores da ferramenta e outros pesquisadores que fizeram uso do

CONFIGURBANIST. A assistência oferecida pelos desenvolvedores não foi suficiente para solução dos problemas apresentados nas análises bidimensionais. Através de contato pessoal, foi encontrada uma outra pesquisadora que encontrou os mesmos problemas com as análises incluindo topografia e que também não obteve solução.

O *CONFIGURBANIST* conta hoje com um *site* oficial, um fórum no *site grasshopper3d.com* e vídeos na plataforma *YouTube*. Em todas elas, são oferecidos exemplos com o arquivo disponibilizado como modelo. Conforme mostrado no item 4.2 ele funciona perfeitamente, porém outras complexidades aparecem ao se utilizar outros arquivos. O plugin não conta com manuais como é o caso do *DepthMapX*, *SSToolkit* para *QGIS* e *DepthSpace3D*, ferramentas que tem ganhado destaque e tem sido utilizadas (GIL *et al.*, 2015; ASCENSÃO *et al.*, 2019).

Quadro 6 - Sistematização dos resultados das análises com *CONFIGURBANIST*

Área	Componente	Análise	Tipo de análise	Resultado
Ipatinga - MG	Network Distance Calculator	Análise 1	FlatLandscape	Error: '1. Solution Exception: Value was too large or too small for Int32
		Análise 2	Topographic	Não executada: Depende da análise 1
	Walker	Análise 3	FlatLandscape	'Crash' no programa
		Análise 4	Topographic	Não executada: Depende da análise 3
Bairro Bom Jardim	Network Distance Calculator	Análise 1	FlatLandscape	Ok
		Análise 2	Topographic	Error: '1. Solution Exception: Value was too large or too small for Int32
	Walker	Análise 3	FlatLandscape	Ok
		Análise 4	Topographic	Error: '1. Solution Exception: Value was too large or too small for Int32
Recorte urbano exemplo	Network Distance Calculator	Análise 1	FlatLandscape	Ok
		Análise 2	Topographic	Ok
	Walker	Análise 3	FlatLandscape	Ok
		Análise 4	Topographic	Ok

Fonte: Do autor (2022).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Buscando compreender como as ferramentas digitais 3D se inserem no contexto da Sintaxe Espacial, a presente dissertação traçou o estado da arte e o cenário das aplicações das ferramentas digitais na história da Teoria, bem como investigou o embasamento teórico, limites e potencialidades de uma ferramenta que oferece a possibilidade de inclusão da topografia urbana em suas análises. A revisão das ferramentas digitais foi feita a partir de revisão de literatura uma vez que o acesso a todas as ferramentas encontradas e o tempo para execução de tal intento o tornaria inviável.

A pesquisa partiu da problemática de que mesmo 25 anos após a proposta da primeira ferramenta digital para análises 3D, o assunto é recorrentemente trazido à tona por autores que sugerem a necessidade de ferramentas que atendam a estas necessidades. Diante disso, perguntou-se: os elementos tridimensionais do espaço influem, de fato, nas análises de Sintaxe Espacial? Se sim, como devem ser inseridos nas ferramentas digitais e qual a contribuição dessas ferramentas para o contexto digital da Teoria e de outras metodologias digitais atuais?

Para isso, o Capítulo 2 revisou os principais conceitos e métricas da Teoria a fim de embasar a discussão da tridimensionalidade. Ressaltou-se nele a atualidade da metodologia proposta por Hillier e a pertinência de se estudar o tema em pauta. Trouxe ainda o posicionamento de autores acerca da necessidade das análises tridimensionais e o direcionamento para as abordagens do capítulo 3.

No Capítulo 3 foram sistematizadas as ferramentas digitais encontradas ao longo dos 38 de existência da Sintaxe. Foi abordado o contexto em que foram criadas, seus objetivos e potenciais analíticos a através das descrições encontradas no material analisado na revisão de literatura. Criou-se variáveis que possibilitaram organizar e entender o contexto da criação dessas ferramentas: ano de criação, responsáveis por seu desenvolvimento, estrutura da ferramenta, métricas que analisa e dimensionalidade (2D/3D). A partir disso foi possível traçar um panorama de como as ferramentas digitais estiveram diretamente ligadas à expansão da Sintaxe, bem como sugerir o fato de que o desenvolvimento e expansão da metodologia de Hillier esteve atrelado diretamente com as possibilidades analíticas oferecidas pelas ferramentas. Contudo, os resultados sugerem que para criação de futuras ferramentas digitais 3D, será necessário maior o aprofundamento na lógica matemática por trás

das métricas tridimensionais, aprofundamento que deverá ser embasado por uma revisão teórica nos próprios princípios e escopo da Sintaxe.

Foi demonstrado ainda que a ferramenta DepthSpace3D que tem sido trabalhada desde 2015 tem-se demonstrado como potencial opção para se estabelecer como ferramenta tridimensional de análise entre a comunidade sintática. Ainda assim, a ferramenta está focada em análises tridimensionais de isovistas, não incluindo, portanto, a topografia. O capítulo também ressaltou que a Linguagem de Programação Visual (LPV) tem possibilitado a inclusão da Sintaxe Espacial em Processos de Projetos Generativos e Paramétricos. Aproveitando-se da ampla difusão e aceitação entre a comunidade de design paramétrico, diversas novas ferramentas têm utilizado o *software Rhinoceros/Grasshopper* para associar Sintaxe Espacial nestes ambientes.

De todas as ferramentas digitais 3D encontradas, o *plugin CONFIGURBANIST* foi a que mais se aproximou do contexto sintático e que possibilitou a inclusão do relevo urbano em suas análises. Ainda que a proposta trazida por Nourian (2016) para inclusão do elemento topográfico não seja exatamente “sintática” ilustra o esforço para se tentar compreender a influência do relevo urbano na escolha de rotas entre os pedestres. Assim, o capítulo quatro traz o *plugin* de Nourian sendo aplicado em um estudo de caso prático com o objetivo de discutir seus limites analíticos e suas potencialidades. Os testes demonstraram que ainda faltam materiais para auxiliar os pesquisadores na produção das análises, uma vez que foram encontrados outros pesquisadores que também encontraram problemas com as análises topográficas. Apesar do *plugin* funcionar corretamente com o arquivo modelo disponibilizado pelos próprios criadores, falha ao ser empregado com outros modelos urbanos.

Sugere-se também que a possibilidade analítica do *CONFIGURBANIST* ainda é reduzida a um recorte urbano com tamanho aproximado de um bairro, uma vez que o componente responsável por processar as métricas das *RCL (Road Center Lines)* no *Grasshopper (Network Distance Calculator)* não associou as 11.611 linhas do *RCL* de Ipatinga. Já com as *RCL* do bairro Bom Jardim (820 linhas) e do modelo de vizinhança disponibilizado pelo *plugin* (366 linhas) foi possível associá-las ao componente *NDC*.

Ressalta-se que a escolha do *plugin CONFIGURBANIST* em detrimento de todas outras ferramentas levantadas foi feita através das descrições textuais dos

autores das ferramentas ou de trabalhos que deles utilizaram. Não implica, portanto, que as outras ferramentas estão invalidadas, mas que a metodologia proposta neste trabalho não englobou o teste individualizado de cada uma delas, seja devido às versões desatualizadas de muitas delas, da indisponibilidade do *download* e do tempo hábil para realização desta pesquisa.

À medida que os ambientes das cidades se tornam mais complexos, surge também a necessidade de abordagens capazes de captar suas diversas propriedades. Estas abordagens, em especial com a Sintaxe Espacial ou quaisquer outras linhas de análises morfológicas, estão intrinsecamente associadas ao seu ferramental digital. A abrangência dessas análises depende do aprimoramento de suas ferramentas, mas também devem ser acompanhadas de discussões e embasamento teórico que as suporte. Conforme se relatou neste trabalho, à par das ferramentas que possibilitaram o aprimoramento das análises sintáticas, outras houve que não levaram à frente o aprofundamento das métricas, resultando em esforços que pouco foram absorvidos pela comunidade dos pesquisadores.

Para posteriores desenvolvimentos indica-se análises mais profundas na própria composição e programação dos componentes do *CONFIGURBANIST*, buscando ampliar sua capacidade de analisar ambientes urbanos maiores. Soma-se a isso a necessidade do desenvolvimento de um aprofundamento teórico que sustente a posição do elemento topográfico dentro da Teoria. Para o desenvolvimento de novas ferramentas que venham a surgir, sugere-se ainda, tendo como base o panorama ferramental traçado neste estudo os seguintes fatores: a) desenvolvimento contínuo; b) atualização para versões recentes dos sistemas operacionais; c) embasamento teórico na programação de suas métricas, e d) publicações de manuais e materiais de suporte contribuem para sua difusão e aceitação entre a comunidade dos pesquisadores. Estes exemplos estão presentes em softwares como o *DepthMapX*, utilizado desde 1998, quando era então *DepthMap*, propriedade da *Space Syntax Limited*.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDER, C; ISHIKAWA, S; SILVERSTEIN, M. **Uma linguagem de padrões: a pattern language**. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- AMORIM, L. Das restrições geométricas e a sintaxe espacial. *In: II ENANPARQ ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E PÓS GRADUAÇÃO EM ARQUITETURAE URBANISMO, 2.*, Natal, **Anais [...]**, Natal, set. 2012. p. 1-14 Disponível em: https://www.anparq.org.br/dvd-enanparq-2/pdf/ST530-3_AMORIM.pdf. Acesso em: 21 abr. 2020
- ARFAOUI, W; MAZOUZ, S; DHOUIB, M. Application os space syntax to the study of the housing in the Phoenician: punic era in the central sphere of the mediterranean. *In: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 12.*, 2019, Pequim. **Proceedings [...]**, Pequim: Beijing Jiaotong University, 2019. p. 1-19. Disponível em: <http://www.12sssbeijing.com/proceedings/download.php?lang=en&class2=160>. Acesso em: 21 abr. 2022.
- ASAMI, Y *et al.* Introducing the third dimension on Space Syntax: Application on the historical Istanbul. *In: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 4.*, 2003, Londres. **Anais [...]**. Londres: 2003. Disponível em: <https://www.spacesyntax.net/symposia-archive/SSS4/fullpapers/48AsamiKubatldpaper.pdf>. Acesso em: 21 out 2020.
- ASCENSÃO, A. *et al.* 3D Space Syntax Analysis: attributes to be applied in landscape architecture projects. **Urban Science**, [S.L.], v. 3, n. 1, p. 20, 5 fev. 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/urbansci3010020>. Acesso em: 08 fev. 2022.
- AXMAN. **UCL: Space Syntax**, 1988. Disponível em: <https://www.spacesyntax.online/term/axman/>. Acesso em: 07 jun 2022.
- BATTY, M. The AJAX Project: new theory and new software for space syntax. *In: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 5.*, 2005, Delft. **Proceedings [...]**, Delft: Delft: Technische Universiteit, 2005. p. 1. Disponível em: <http://spacesyntax.tudelft.nl/media/Long%20papers%20I/michaelbatty.pdf>. Acesso em: 21 abr. 22.
- BENEDIKT, M. L. To take hold of space: isovists and isovist fields. **Environment And Planning B: Planning and Design**, [S.L.], v. 6, n. 1, p. 47-65, 1979. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1068/b060047>. Acesso em: 13 out. 2020.
- BIELIK, M. *et al.* Evolving configurational properties: Simulating multiplier effects between street network centrality, land use and movement patterns. *In: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 12.*, 2019, Pequim. **Proceedings [...]**, Pequim: Beijing Jiaotong University, 2019. p. 1-19. Disponível em: <http://www.12sssbeijing.com/proceedings/download.php?lang=en&class2=162>. Acesso em: 13 nov. 2021.

BIELIK, M; SCHNEIDER, S; KOENIG, R. **Parametric Urban Patterns - Exploring and integrating graph-based spatial properties in parametric urban modelling.**

Alemanha University Weimar, 2012. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/256471417_Parametric_Urban_Patterns_-_Exploring_and_integrating_graph-](https://www.researchgate.net/publication/256471417_Parametric_Urban_Patterns_-_Exploring_and_integrating_graph-based_spatial_properties_in_parametric_urban_modelling)

[based_spatial_properties_in_parametric_urban_modelling](https://www.researchgate.net/publication/256471417_Parametric_Urban_Patterns_-_Exploring_and_integrating_graph-based_spatial_properties_in_parametric_urban_modelling). Acesso em: 13 nov. 2021.

BRUYNS, G. *et al.* Flat versus volumetric methodologies: Restructuring spatial analysis and other indices. *In: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 12., 2019, Pequim. Anais [...].* Pequim: 2019. Disponível em:

<http://www.12sssbeijing.com/upload/file/1562662783.pdf>. Acesso em: 21 out 2020.

CARRANZA, P. M.; KOCH, D. A computational method for generating convex maps using the medial axis transform. *In: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 9., 2013, Seoul. Proceedings [...].* Seoul: Sejong University, 2013. p. 1-2. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/280836156_A_Computational_Method_For_Generating_Convex_Maps_Using_the_Medial_Axis_Transform. Acesso em: 12 jun. 2022.

CAVIC, L; SILERYTE, R; BEIRÃO, J. N. 3D-INFORMED CONVEX SPACES: the automated generation of convex representation for open public space analysis. *In: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 11., 2017, Lisboa. Proceedings [...].* Lisboa: Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Civil, Arquitetura e Georrecursos, Portugal, 2017. p. 158. 158.1-158.15. Disponível em: <http://www.11ssslisbon.pt/proceedings/>. Acesso em: 18 out. 2020.

CEBI, P. D.; KOZIKOGLU, N. Network Thinking Architectural Design: experimenting and working with relational models. *In: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 11., 2017, Lisboa. Proceedings [...].* Lisboa: Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Civil, Arquitetura e Georrecursos, Portugal, 2017. p. 10.1-10.15. Disponível em: https://www.academia.edu/34800377/3D_INFORMED_CONVEX_SPACES_The_Automated_Generation_of_Convex_Representation_for_Open_Public_Space_Analysis. Acesso em: 18 out. 2020.

CHEN, P. N; KARIMI, K. Spatial Impact Of New Public Transport System On Station Neighbourhoods: the cases of jubilee line extension in london. *In: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 12., 2019, Pequim. Proceedings [...],* Pequim: Beijing Jiaotong University, 2019. p. 1-21. Disponível em: <http://www.12sssbeijing.com/proceedings/download.php?lang=en&class2=161>. Acesso em: 11 jun. 2022.

CHIARADIA, A., COOPER, C; WEBSTER, C. **sDNA a software for spatial design network analysis.** Universidade de Cardiff, 2014. Disponível em: www.cardiff.ac.uk/sdna/. Acesso em: 19 nov. 2021.

CHIARADIA, A. *et al.* Mapping the intangible value of urban layout (i-VALUL): Developing a tool kit for the socio-economic valuation of urban areas, for designers and decision makers. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DESIGN E DECISION SUPPORT SYSTEMS IN ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING*, 9., 2008, Holanda, **Anais [...]**, Holanda, University of Technology Eindhoven, 2008.

Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/258242185_Mapping_the_intangible_value_of_urban_layout_i-VALUL_Developing_a_tool_kit_for_the_socio-economic_valuation_of_urban_areas_for_designers_and_decision_makers. Acesso em: 03 mai. 2022.

CHOUBASSI, R; DIBBLE, J. L.; BAZZONI, F. Space Syntax As A Foundation For A Transport Development Strategy. *In: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM*, 12., 2019, Pequim. **Proceedings [...]**, Pequim, Beijing Jiaotong University, 2019. Disponível em:

<http://www.12sssbeijing.com/proceedings/download.php?lang=en&class2=161>.

Acesso em: 11 jun. 2022.

CITY Form Lab. 2010. Disponível em: <http://cityform.mit.edu/>. Acesso em: 07 jun 2022.

COOPER, C. H. V.; CHIARADIA, A. J. F. SDNA: 3-d spatial network analysis for gis, cad, command line & python. **SoftwareX**, [S.L.], v. 12, p. 100525, jul. 2020.

Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/341669943_sDNA_3-d_spatial_network_analysis_for_GIS_CAD_Command_Line_Python. Acesso em: 08 jun. 2022.

DALTON, N. S. Fractional Configurational Analysis and a solution to the Manhattan problem. *In: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM*, 3., 2001, Atlanta.

Proceedings [...], Atlanta, 2001. p. 26.1-26.13. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/238787585_Fractional_Configurational_Analysis_and_a_solution_to_the_Manhattan_problem. Acesso em: 07 jun. 2022.

DALTON, N. S. WebmapAtHome. *In: TURNER, A. New Developments in Space Syntax Software*. Istanbul: ITU, 2007. p. 7-13. Disponível em:

<https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/4109/1/4109.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2022.

DALTON, N. S. *et al.* Three dimensional isovists for the study of public displays. *In: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM*, 10., 2015, Londres. **Anais [...]**.

Londres: 2015. Disponível em: http://www.sss10.bartlett.ucl.ac.uk/wp-content/uploads/2015/07/SSS10_Proceedings_144.pdf. Acesso em: 21 out 2020.

DALTON, N. S; DALTON, R. Solutions for Visibility Accessibility and Signage Problems via Layered Graphs. *In: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM*, 7., 2009, Estocolmo. **Proceedings [...]**, Estocolmo: 2009. p. 23.1-23.8. Disponível em:

http://www.sss7.org/Program_PaperList.html. Acesso em: 02 maio 2022.

DALTON, N. S; PEPONIS, J.; DALTON, R. To tame a TIGER one has to know its nature: extending weighted angular integration analysis to the description of GIS road-centerline data for large scale urban analysis. *In: INTERNATIONAL SPACE*

SYNTAX SYMPOSIUM, 4., 2003, Londres. **Proceedings [...]**, Londres: Ucl, 2003.

Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/316233623_To_tame_a_TIGER_one_has_to_know_its_natureextending_weighted_angular_integration_analysis_to_the_description_of_GIS_road-centerline_data_for_large_scale_urban_analysis. Acesso em: 09 jun. 2022.

DALTON, R. C; DALTON, N. OmniVista: an application for isovist field and path analysis. *In*: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 3., 2001, Atlanta.

Proceedings [...], Atlanta: Georgia Institute Of Technology, 2001. p. 21.1-21.10.

Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/32885583_OmniVistaan_application_for_isovist_field_and_path_analysis. Acesso em: 20 nov. 2020.

DECODINGSPACES Toolbox. 2010. Disponível em:

<https://toolbox.decodingspaces.net/> Acesso em: 07 jun 2022.

DEPTHSPACE. 2022. Disponível em: <https://opoarch.com/ds3d/> Acesso em: 07 jun 2022.

DESYLLAS, J; DUXBURY, E. Axial Maps and Visibility Graph Analysis: a comparison of their methodology and use in models of urban pedestrian movement. *In*:

INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 3., 2001, Atlanta. **Proceedings**

[...], Atlanta: Georgia Institute of Technology, 2001. Disponível em:

<https://www.ucl.ac.uk/bartlett/3sss/>. Acesso em: 20 nov. 2020

DHANANI, A. *et al.* From The Axial Line To The Walked Line: evaluating the utility of commercial and user :generated street network datasets in space syntax analysis.

In: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 8., 2012, Santiago, Chile.

Proceedings [...], Santiago, 2012. Disponível em:

<https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/1308812/>. Acesso em: 09 jun. 2022.

FATHOM. Disponível em:

<https://web.archive.org/web/20041114212118/http://www.intelligentspace.com/tech/fathom.htm>. Acesso em: 07 jun 2022.

FENG, C; ZHANG, W. Grasshopper Reach Analysis Toolkit: Interactive Parametric Syntactic Analysis. *In*: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 11., 2017,

Porto. **Proceedings [...]**, Porto: Instituto Superior Técnico, Departamento de

Engenharia Civil, Arquitetura e Georrecursos, Portugal, 2017. p. 159.1-159.12.

Disponível em: <http://www.11ssslisbon.pt/proceedings/>. Acesso em: 18 nov. 2020.

FIGUEIREDO, L; AMORIM, L. Continuity lines in the axial system. *In*:

INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 5., 2005, Delft. **Proceedings [...]**

Delft: Technische Universiteit, 2005. p. 161-174. Disponível em:

https://www.academia.edu/4180119/Continuity_lines_in_the_axial_system. Acesso em: 12 jan. 2022.

FISHER-GEWIRTZMAN, D. Integrating 'weighted views' to quantitative 3D visibility analysis as a predictive tool for perception of space. **Environment And Planning B: Urban Analytics and City Science**, [S.L.], v. 45, n. 2, p. 345-366, 15 nov. 2016. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0265813516676486>. Acesso em: 18 out. 2020.

FISHER-GEWIRTZMAN, D.; NATAPOV, A. Different approaches of visibility analyses applied on hilly urban environment. **Survey Review**, [S.L.], v. 46, n. 338, p. 366-382, 21 ago. 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1179/1752270614y.0000000117>. Acesso em: 04 jul 2020.

FREEMAN, L. C. A Set of Measures of Centrality Based on Betweenness. **Sociometry**, [S. L.], v. 40, n. 1, p. 35-41, mar. 1977. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2307/3033543>. Acesso em: 13 nov. 2021.

GIBSON, J. **The Ecological Approach to Visual Perception**. Boston: Houghton Mifflin, 1979.

GIL, J.; STUTZ, C.; CHIARADIA, A. Confeego: Tool Set for Spatial Configuration Studies. In: TURNER, A. **New Developments In Space Syntax Software**. Istanbul: ITU, 2007. p. 15-22. Disponível em: <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/4109/1/4109.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2022.

GIL, J. *et al.* The space syntax toolkit: integrating depthmapx and exploratory spatial analysis workflows in qgis. In: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 10., 2015, Londres. **Proceedings [...]**, Londres, The Bartlett School Of Architecture, Ucl (University College London), 2015. p. 148.1-148.12. Disponível em: <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/1490063/>. Acesso em: 03 maio 2022.

GREENBERG, E; NATAPOV, A. FISHER-GEWIRTZMAN, D. A model for pedestrian movement in an urban environment built on steep topography. In: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 11., 2017, Lisboa. **Proceedings [...]**, Lisboa: Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Civil, Arquitetura e Georrecursos, Portugal, 2017. p. 198.1-198.6. Disponível em: <http://www.11ssslisbon.pt/proceedings/>. Acesso em: 04 jul. 2020.

HANSON, J. **Decoding homes and houses**. [S. l.]: Cambridge University Press, 1998.

HEITOR, T.; DUARTE, J. P.; PINTO, R. M. Combining grammars and Space Syntax: formulating, evaluating, and generating designs. In: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 4., 2003, Londres. **Proceedings [...]** Londres: Cambridge University Press, 2003. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/30870687_Combing_Grammars_and_Space_Syntax_Formulating_Generating_and_Evaluating_Designs. Acesso em: 11 jun. 2022.

HIGGINS, C. D. A 4D spatio-temporal approach to modelling land value uplift from rapid transit in high density and topographically-rich cities. **Landscape and Urban Planning**, [S.L.], v. 185, p. 68-82, maio 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.12.011>. Acesso em: 01 mar. 2022.

HILLIER, B. *et al.* Creating Life: or, does architecture determine anything?. **Architecture et Comportement/Architecture and Behaviour**, v. 3, n. 3, p. 233-250, 1987. Disponível em: https://www.epfl.ch/labs/lasur/wp-content/uploads/2018/05/HILLIER_-BURDETT_PEPONISandPENN.pdf. Acesso em: 23 nov. 2021.

HILLIER, B. The hidden geometry of deformed grids: Or, why space syntax works, when it looks as though it shouldn't. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 26, n. 2, p. 169-191, 1999. Disponível em: <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/1402/>. Acesso em: 21 out 2020.

HILLIER, B.; HANSON, J. **The Social Logic of Space**. Londres: Cambridge University Press, 1984.

HILLIER, B; LIDA, S. Network effects and psychological effects: a theory of urban movement. *In*: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 5., 2005, Delft, Netherlands. **Anais [...]**. Delft - Netherlands: Universidade Técnica de Delft, 2005. Disponível em: http://spacesyntax.tudelft.nl/media/Long_papers_l/hillieriida.pdf. Acesso em: 29 maio. 2020.

HILLIER, B. **Space is the machine**: a configurational theory of architecture. 2. ed. Londres: Space Syntax, 2007. Disponível em: <https://spaceisthemachine.com/>. Acesso em: 11 jan. 2022.

HILLIER, B. Spatial analysis and cultural information: the need for theory as well as method in space syntax analysis. *In*: PALIOU, Eleftheria; LIEBERWIRTH, Undine; POLLA, Silvia (org.). **Spatial analysis and social spaces**: interdisciplinary approaches to the interpretation of prehistoric and historic built environments. Berlim/ Boston: De Gruyter, 2014. Cap. 1. (Verificar no pdf quais páginas). Disponível em: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/9783110266436/html>. Acesso em: 11 jul. 2022.

HILLIER, B; A, PENN; J. H, T; GRAJEWISKI; J. XU. Natural movement: or, configuration and attraction in urban pedestrian movement. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 20, p. 29-66, 1993. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/701b/a15fed53eaae5eb65c1460827cd1471f14fd.p>. Acesso em: 21 out. 2020.

iVALUL: (the intangible value of urban layout). **UCL**: Space Syntax, 2022. Disponível em: <https://www.spacesyntax.online/term/ivalul-the-intangible-value-of-layout/> Acesso em: 07 jun 2022.

JIANG, B. **Axwoman 6.3**: An ArcGIS extension for urban morphological analysis. Suécia: Universidade de Gavle, 2015. Disponível em: <http://giscience.hig.se/binjiang/Axwoman/>. Acesso em: 07 jun 2022.

JIANG, B.; CLARAMUNT, C.; BATTY, M. Geometric accessibility and geographic information: extending desktop gis to space syntax. **Computers, Environment And Urban Systems**, [S.L.], v. 23, n. 2, p. 127-146, mar. 1999. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/s0198-9715\(99\)00017-4](http://dx.doi.org/10.1016/s0198-9715(99)00017-4). Acesso em: 21 abr. 2022.

KIGAWA, T.; SEO, K. W. Decoding Urban Kernel In Japanese Port Cities By Means Of Space Syntax. *In*: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 12., 2019, Pequim. **Proceedings [...]**, Pequim, Beijing Jiaotong University, 2019. v. 1, p. 1-2. Disponível em: <http://www.12sssbeijing.com/upload/file/1562658936.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2022.

KIM, M. Development of the integrated application software for spatial analysis techniques based on visual perception. *In*: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 11., 2017, Lisboa. **Proceedings [...]**, Lisboa: Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Civil, Arquitetura e Georrecursos, Portugal, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/338634384_Development_of_the_Integrated_Application_Software_for_Spatial_Analysis_Techniques_Based_on_Visual_Perception. Acesso em: 20 nov. 2020.

KLARQVIST, B. A Space Syntax Glossary. **Nordisk Arkitekturforskning**: Nordic Journal of Architectural Research. 1993. Disponível em: <http://arkitekturforskning.net/na/article/view/778>. Acesso em: 09 jun. 2022.

KOLOVOU, I. *et al.* Road Centre Line Simplification Principles For Angular Segment Analysis. *In*: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 11., 2017, Lisboa. **Proceedings [...]**. Lisboa: Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Civil, Arquitetura e Georrecursos, Portugal, 2017. p. 163.1-163. Disponível em: <https://spacesyntax.com/wp-content/uploads/2017/09/Road-centre-line-simplification-principles-for-angular-segment-analysis.pdf>. Acesso em: 04 jul. 2020.

KONING, R. E; YE, Y; ROALD, H-J. Strategies For Integrated Densification With Urban Qualities: combining space syntax with building density, land usage, public transport and property rights in bergen city. *In*: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 11., 2017, Lisboa. **Proceedings [...]**, Lisboa: Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Civil, Arquitetura e Georrecursos, Portugal, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/318826934_STRATEGIES_FOR_INTEGRATED_DENSIFICATION_WITH_URBAN_QUALITIES_Combining_Space_Syntax_with_building_density_land_usage_public_transport_and_property_rights_in_Bergen_city. Acesso em: 21 dez. 2020.

KOUTSOLAMPROS *et al.* Big Data And Workplace Micro-Behaviours: a closer inspection of the social behaviour of eating and interacting. *In*: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 11., 2017, Lisboa. **Proceedings [...]**, Lisboa: Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Civil, Arquitetura e Georrecursos, Portugal, 2017. p. 149.1-149.15. Disponível em: <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/1568210/>. Acesso em: 04 jul. 2020.

KRENZ, K. Employing Volunteered Geographic Information In Space Syntax Analysis. *In: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 11.*, 2017, Lisboa. **Proceedings [...]**, Lisboa: Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Civil, Arquitetura e Georrecursos, Portugal, 2017. p. 1-26. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/322256360_Employing_Volunteered_Geographic_Information_in_Space_Syntax_Analysis. Acesso em: 04 jul. 2020.

KRUKAR, J. *et al.* Embodied 3D isovists: a method to model the visual perception of space. **Environment And Planning B: Urban Analytics and City Science**, [S.L.], v. 48, n. 8, p. 2307-2325, 2 dez. 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/347315468_Embodied_3D_isovists_A_method_to_model_the_visual_perception_of_space. Acesso em: 04 jul. 2020.

LAW, S. *et al.* Identifying Street-Character-Weighted Local Area using locally weighted community detection methods. *In: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 12.*, 2019, Pequim. **Proceedings [...]**, Pequim: Beijing Jiaotong University, 2019. p. 4-5. Disponível em: <http://www.12sssbeijing.com/proceedings/download.php?lang=en&class2=162> Acesso em: 02 maio 22.

LEE, J. H; OSTWALD, M. J.; GU, N. Combining Space Syntax and Shape Grammar to investigate architectural style: considering glenn murcutt's domestic designs. *In: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 9.*, 2013, Seoul. **Proceedings [...]**, Seoul: Sejong University, 2013. Disponível em: <https://www.academia.edu/download/76439221/ATTACHMENT01.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2022.

LI, Y. *et al.* Design with space syntax analysis based on building information model: towards an interactive application of building information model in early design process. *In: JOINING LANGUAGES, CULTURES AND VISIONS: CAADFUTURES, 13.*, 2009, Montreal. **Proceedings [...]**, Montreal: [S. I.], 2009. p. 501-514. Disponível em: http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/Show_id=caadria2010_044/paper/cf2009_501. Acesso em: 15 jan. 2022.

LIDA, S. Segmen: A Programmable Application Environment for Processing Axial Maps. *In: TURNER, A. New Developments in Space Syntax Software. Istanbul: ITU, 2007.* p. 27-34. Disponível em: <https://discovery.ucl.ac.uk/4109/1/4109.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2022.

LIMA, F. T. de A. **Métricas Urbanas**: sistema (para)métrico para análise e otimização de configurações urbanas de acordo com métricas de avaliação de desempenho. Orientador José Ripper Kós. 2017. 240 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufjf.br/jspui/handle/ufjf/7009>. Acesso em: 09 nov. 2020.

LIMA, F. T. de A. *et al.* Citymetrics: sistema (para)métrico para análise e otimização de configurações urbanas | citymetrics. **Oculum Ensaios**, [S.L.], v. 16, n. 2, p. 409, 29 maio 2019. Disponível em: <http://periodicos.puc-campinas.edu.br/seer/index.php/oculum/article/view/4163>. Acesso em: 29 jun 2020.

MANUM, B. Agraph: Complementary Software for Axial-Line Analysis. *In: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 7.*, 2009, Estocolmo. **Proceedings [...]**, Estocolmo, 2009. Disponível em: http://www.sss7.org/Proceedings/09%20New%20Modes%20of%20Modelling%20and%20Methodological%20Development/070_Manum.pdf. Acesso em: 21 abr. 2022.

MANUM, B.; NORDSTROM, T. Integrating bicycle network analysis in urban design: improving bikeability in trondheim by combining space syntax and gis-methods using the place syntax tool. *In: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 9.*, 2013, Seoul. **Proceedings [...]**, Seoul: Sejong University, 2013. p. 28.1-28.14. Disponível em: http://sss9sejong.or.kr/proceedings/proceedings_1.asp#Green. Acesso em: 13 nov. 2021.

MANUM, B.; RUSTEN, E; BENZE, P. AGRAPH, Software for Drawing and Calculating Space Syntax Graphs. *In: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 5.*, 2005, Delft. **Proceedings [...]**, Delft: Delft: Technische Universiteit, 2005. Disponível em: <http://spacesyntax.tudelft.nl/media/Long%20papers%20I/agraph.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2022.

MANUM, B. *et al.* Modelling Bikeability: space syntax based measures applied in examining speeds and flows of bicycling in gothenburg. *In: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 11.*, 2017, Lisboa. **Proceedings [...]**, Lisboa, Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Civil, Arquitetura e Georrecursos, Portugal, 2017. Disponível em: https://www.academia.edu/33856494/Modelling_Bikeability_Space_syntax_based_measures_applied_in_examining_speeds_and_flows_of_bicycling_in_Gothenburg. Acesso em: 21 dez. 2020.

MARKHEDE, H.; CARRANZA, P. M. Spatial Positioning Tool (SPOT). *In: TURNER, A. New Developments in Space Syntax Software*. Istanbul: ITU, 2007.p. 1-6. Disponível em: <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/4109/1/4109.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2022.

MEDEIROS, V. **Urbis Brasiliae**: o labirinto das cidades brasileiras. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2013.

MELO JUNIOR, S. P. B. de; SILVA, R. C. da. Applicability of 2D and 3D isovists and visibility graph analysis for evaluating urban vulnerability to crime: the case of boa viagem, in recife. *In: SIGRADI: CONGRESSO DA SOCIEDADE IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, 22.*, 2018, São Carlos. **Anais [...]**, São Paulo: Blucher, 2018. p. 308-315. Disponível em: <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/aplicability-of-2d-and-3d-isovists-and-visibility-graph-analysis-for-evaluating-urban-vulnerability-to-crime-the-case-of-boia-viagem-in-recife-29759>. Acesso em: 01 abr. 2022.

MORAES NETTO, V. de. O que a sintaxe espacial não é? *In: ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO*, 2., 2012, Natal. **Anais [...]**, Natal: UFRN, 2012. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Vinicius-Netto>. Acesso em: 19 jan. 2022.

MORAIS, F. *et al.* 3d space syntax analysis. Case study: Casa da Música. *In: International Space Syntax Symposium*, 11., 2017, Lisboa. **Anais [...]**. Lisboa: Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Civil, Arquitetura e Georrecurso, 2017. Disponível em: <http://www.11ssslisbon.pt/proceedings/>. Acesso em: 18 out. 2020.

MORAIS, F. DepthSpace3D: a new digital tool for 3d space syntax analysis. *In: FORMAL METHODS IN ARCHITECTURE*, 3., 2015, Porto. **Book of Abstracts**, Porto, Esap | Escola Superior Artística do Porto, 2015. p. 41. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/322220433>. Acesso em: 24 nov. 2020.

MOREIRA, A. S; SERDOURA, F. M. Dwellings in Lisbon, Portugal: a syntactic approach to living use analysis. *In: International Space Syntax Symposium*, 11., 2017, Lisboa. **Proceedings [...]**, Lisboa: Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Civil, Arquitetura e Georrecurso, Portugal, 2017. p. 17.1-17.18. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/320504982_Modernist_Dwelling_in_Lisbon_Portugal_A_Syntactic_Approach_to_Living_Use_Analysis. Acesso em: 18 out. 2020.

NETBOX. **Pacote Macintosh**. [S. l.]: Space Syntax, 2010. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20060302112037/http://www.spacesyntax.org/software/macbundle.asp>. Acesso em: 07 jun 2022.

NEWWAVW. **Pacote Macintosh**. [S. l.]: Space Syntax, 2010. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20060302112037/http://www.spacesyntax.org/software/macbundle.asp> Acesso em: 07 jun 2022.

NOURIAN, P. **Configraphics**: graph theoretical methods for design and analysis of spatial configurations. Delfit: ABE, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/309668036_Configraphics_Graph_Theoretical_Methods_for_Design_and_Analysis_of_Spatial_Configurations. Acesso em: 13 nov. 2021.

NOURIAN, P. *et al.* Easiest paths for walking and cycling: combining syntactic and geographic analyses in studying walking and cycling mobility. *In: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM*, 10., 2015, Londres. **Proceedings [...]**, Londres: 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/283085995_Easiest_paths_for_walking_and_cycling_Combining_syntactic_and_geographic_analyses_in_studying_walking_and_cycling_mobility. Acesso em: 24 jan. 2022.

NOURIAN, P; REZVANI, S; SARIYILDIZ, S. A syntactic architectural design methodology: integrating real-time space syntax analysis in a configurative architectural design process. *In: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 9., 2013, Seoul. Proceedings [...]*, Seoul: Sejong University, 2013. p. 48.1-48.16. Disponível em: http://sss9sejong.or.kr/proceedings/proceedings_1.asp#Green. Acesso em: 13 nov. 2021.

NOURIAN, P. *et al.* Configurbanist: urban configuration analysis for walking and cycling via easiest paths. *In: ECAADE CONFERENCE, 33., 2015, Viena. Proceedings [...]*, Viena: 2015. p. 553-564. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/283086105_Configurbanist_Urban_Configuration_Analysis_for_Walking_and_Cycling_via_Easiest_Paths. Acesso em: 02 maio 2022.

NOURIAN, P. **Cheetah the CONFIGURBANIST V 0 0 2**. Youtube, 2013. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=WUAkxBZVErk>. Acesso em: 07 jun 2022.

NOURIAN, P. **Cheetah: A Plugin for Configurative Urban Design & Planning**. 2013. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=5ejhOcyFsMI&t=9s>). Acesso em: 07 jun 2022.

ORANGEBOX. **Pacote Macintosh**. [S. l.]: Space Syntax, 2010. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20060302112037/http://www.spacesyntax.org/software/macbundle.asp>. Acesso em: 07 jun 2022.

OURIQUE, L. *et al.* Spatial perception of landmarks assessed by objective tracking of people and space syntax techniques. *In: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 11., 2017, Lisboa. Anais [...]*. Lisboa: Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Civil, Arquitetura e Georrecursos, 2017. Disponível em: <http://www.11sslisbon.pt/proceedings/>. Acesso em: 18 out. 2020.

OVATION. **Pacote Macintosh**. [S. l.]: Space Syntax, 2010. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20060302112037/http://www.spacesyntax.org/software/macbundle.asp>. Acesso em: 07 jun 2022.

PAFKA, E; DOVEY, K; ASCHWANDEN, G. Dpa. Limits of space syntax for urban design: axiality, scale and sinuosity. **Environment And Planning B: Urban Analytics and City Science**, [S. L.], v. 47, n. 3, p. 508-522, 11 jul. 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/326319648_Limits_of_space_syntax_for_urban_design_Axiality_scale_and_sinuosity. Acesso em: 24 jan. 2022.

PALIOU, E; LIEBERWIRTH, U; POLLA, S. (ed.). **Spatial Analysis: interdisciplinary approaches to the interpretation of prehistoric and historic built environments**. Berlim/Boston: De Gruyter, 2014.

PENN, A *et al.* Intelligent Architecture: new tools for the three dimensional analysis of space and built form. *In: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 1., 1997, Londres. Proceedings [...]*, Londres: Cambridge University Press, 1997. p. 30.1-30.19. Disponível em: <https://www.spacesyntax.net/symposia-archive/SSS1/SpSx%201st%20Symposium%2097%20->

2003%20pdf/1st%20Symposium%20Vol%20II%20pdf/5%20-%20Methodology/30%20Penn%20300.pdf. Acesso em: 20 abr. 2022.

PEPONIS, J. **Spatialist**. 1999. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20000831175743/http://undertow.arch.gatech.edu/homepages/jpeponis/Cities.htm>. Acesso em: 07 jun 2022.

PESH. **Pacote Macintosh**. [S. l.]: Space Syntax, 2010. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20060302112037/http://www.spacesyntax.org/software/macbunle.asp>. Acesso em: 07 jun 2022.

PST: **Spatial Morphology Group | Place Syntax Tool**. 2019. Disponível em: <https://www.smog.chalmers.se/pst>. Acesso em: 07 jun 2022.

READ, S. Flat City: a space syntax derived urban movement network model. *In*: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 5., 2005, Delft. **Proceedings [...]**, Delft, Technische Universiteit, 2005. Disponível em: <http://spacesyntax.tudelft.nl/media/longpapers2/stephenread.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2022.

RUIVO, C. Consequences of architectural form on social interaction: function as a basis for housing studies through expanded space syntax. *In*: FORMAL METHODS IN ARCHITECTURE, 3., 2015, Porto. **Book of Abstracts**. Porto, Esap | Escola Superior Artística do Porto, 2015. p. 30. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/322220433>. Acesso em: 24 nov. 2020.

RUIVO, C. *et al*. SCAVA: space configuration, accessibility and visibility analysis: a 3d space syntax approach. *In*: INTERNATIONAL SYMPOSIUM FORMAL METHODS IN ARCHITECTURE, 4., 2018, Porto. **Book of Abstracts**. Porto: Cesap - Cooperativa de Ensino Superior Artístico do Porto Portugal, 2018. p. 53-53. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/324065437_4th_International_Symposium_Formal_Methods_in_Architecture_Book_of_Abstracts. Acesso em: 28 fev. 2022.

SAADALLAH, D. M. A. Enhancing City Urban Planning Process Through Integrating Gis With Space Syntax Simulation Tool. *In*: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 11., 2017, Lisboa. **Proceedings [...]**, Lisboa, Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Civil, Arquitetura e Georrecursos, Portugal, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/322143852_ENHANCING_CITY_URBAN_PLANNING_PROCESS_THROUGH_INTEGRATING_GIS_WITH_SPACE_SYNTAX_SIMULATION_TOOL. Acesso em: 11 jul. 2022.

SCHAFFRANEK, R; VASKU, M. Space Syntax for generative design: on the application of a new tool. *In*: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 9., 2013, Seoul. **Proceedings [...]**, Seoul, Sejong University, 2013. p. 1-2. Disponível em: https://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat_220923.pdf. Acesso em: 01 abr. 2022.

SEVTSUK, A; KALVO, R. “Urban Network Analysis toolbox for Rhino3D”. [S. l.]: City Form Lab, 2016. Disponível em: <https://cityform.mit.edu/projects/una-rhino-toolbox>. Acesso em: 15 maio 2022.

SEVTSUK, A; MEKONNEN, M. Urban network analysis. A new toolbox for ArcGIS. **Revue Internationale de Géomatique**, [S. l.], v. 22, n. 2, p. 287-305, 30 jun. 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3166/rig.22.287-305>. Disponível em: https://www.sutd.edu.sg/cmsresource/idc/papers/2012_Urban_Network_Analysis_A%20New%20Toolbox_for_ArcGIS.pdf. Acesso em: 02 maio 2022.

SHELTON, B; KARAKIEWICZ, J; KVAN, T. **The making of Hong Kong: from vertical to volumetric**. [S. l.]: Routledge, 2013.

SPACE Syntax La. **Pacote Macintosh**. [S. l.]: Space Syntax, 2010. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20060302112037/http://www.spacesyntax.org/software/macbundle.asp>. Acesso em: 07 jun 2022.

SPACEBOX. **Pacote Macintosh**. [S. l.]: Space Syntax, 2010. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20060302112037/http://www.spacesyntax.org/software/macbundle.asp>. Acesso em: 07 jun 2022.

STÄHLE, A; MARCUS, L; KARSTROM, A. Place Syntax: geographic accessibility with visibility in GIS. *In*: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 5., Suécia. **Proceedings [...]**, Suécia, 2005. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/312488526_Place_Syntax_-_Geographic_Accessibility_with_Axial_Lines_in_GIS. Acesso em: 09 fev. 2021.

STAVROULAKI, G. *et al.* Statistical Modelling And Analysis Of Big Data On Pedestrian Movement. *In*: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 12., 2019, Pequim. **Proceedings [...]**, Pequim, Beijing Jiaotong University, 2019. Disponível em: <http://www.12sssbeijing.com/upload/file/1562661632.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2022.

STINY, G; GIPS, J. Shape Grammars and the Generative Specification of Painting and Sculpture. *In*: PETROCELLI, O. R. **The Best Computer Papers of 1971**. Filadélfia: Auerbach Publishers, 1972. C. 6. p. 125-135. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/221329330_'Shape_Grammars_and_the_Generative_Specification_of_Painting_and_Sculpture'/citations. Acesso em: 14 jan. 2022.

SZEMEREY, D; HANNA, S; SCHIECK, A. F. G. Opportunities of Artificial Neural Network Generated VGA: training a multilayer perceptron to recognize the underlying structures of space. *In*: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 11., 2017, Lisboa. **Proceedings [...]**, Lisboa: Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Civil, Arquitetura e Georrecursos, Portugal, 2017. p. 175.1-175.14. Disponível em: <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/1574332/1/175.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2022.

TALKBACK. **Pacote Macintosh**. [S. l.]: Space Syntax, 2010. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20060302112037/http://www.spacesyntax.org/software/macbundle.asp>. Acesso em: 07 jun. 2022.

TANDY, C. R. V. 'The isovist method of landscape survey'. *In*: MURRAY, H. C. (ed.). **Symposium: Methods of Landscape Analysis**. Landscape Research Group London, 1967. p. 9-10

TOBLER, W. Three presentations on geographical analysis and modeling. **Technical Report**, Santa Barbara (Califórnia), v. 1, n. 93, p. 3-25, fev. 1993. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/2460331_Three_Presentations_On_Geographical_Analysis_And_Modeling. Acesso em: 01 mar. 2022.

TRIGUEIRO, E. Sobre arquitetura, complexo de Cinderela, e caixas de ferramentas. *In*: ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO, 2., 2012, Natal. **Anais [...]**. Natal, UFRN, 2012. Disponível em: <http://projedata.grupoprojetar.ct.ufrn.br/dspace/handle/123456789/1455>. Acesso em: 21 abr. 2020.

TROVA, V. *et al.* The structure of public space in sparsely urban areas. *In*: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 2., 1999, Brasília. **Proceedings [...]**, Brasília: UNB, 1999. p. 53.1-53.12. Disponível em: <https://www.spacesyntax.net/symposia-archive/SSS2/SpSx%202nd%20Symposium%2099%20-2003%20pdf/2nd%20Symposium%20Vol%20%20pdf/53%20Trova%20300.pdf>. Acesso em: 1 maio 2022.

TURNER, A. Angular Analysis. *In*: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 3., 2001, Atlanta. **Proceedings [...]**, Atlanta: Georgia Institute Of Technology, 2001. p. 1-14. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/238809481_Angular_analysis. Acesso em: 08 jun. 2022.

TURNER, A. Could A Road-centre Line Be An Axial Line In Disguise? *In*: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 5., 2005, Delft. **Proceedings [...]**, Amsterdam, Techne Press, 2005. v. 1, p. 145-159. Disponível em: <http://spacesyntax.tudelft.nl/media/Long%20papers%20l/alasdairturner2.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2022.

TURNER, A. From Axial to Road-Centre Lines: a new representation for space syntax and a new model of route choice for transport network analysis. **Environment And Planning B: Planning and Design**, [S. l.], v. 34, n. 3, p. 539-555, jun. 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1068/b32067>. Acesso em: 07 jun 2022.

TURNER, A. **New developments in Space Syntax software**. Istanbul: ITU, 2007. Disponível em: <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/4109/1/4109.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2022.

TURNER, A. *et al.* From Isovists to Visibility Graphs: a methodology for the analysis of architectural space. **Environment And Planning B: Planning and Design**, [S. L.], v. 28, n. 1, p. 103-121, fev. 2001. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1068/b2684>. Acesso em: 03 maio 2022.

TURNER, A; PENN, A. Making Isovists Syntactic: Isovist Integration Analysis. *In: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 2.*, 1999, Brasília. **Anais [...]**. Brasília, UNB, 1999. Disponível em: <https://www.spacesyntax.net/symposia-archive/SSS2/SpSx 2nd Symposium 99 -2003 pdf/2nd Symposium Vol 1 pdf/11 Turner 300.pdf>. Acesso em: 30 set. 2020.

UMBELINO, A. G. One House, Three Generations: exploring conversions in domestic space that tell about sociocultural changes over a century. *In: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 11.*, 2017, Lisboa. **Proceedings [...]**, Lisboa: Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Civil, Arquitetura e Georrecursos, Portugal, 2017. p. 183.1-183.8. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/344241009_ONE_HOUSE_THREE_GENERATIONS. Acesso em: 11 jul. 2022.

ÜNLÜ, A. *et al.* Isometric Measurands On Perceived Spaciousness: exploring volumetric isovist. *In: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 12.*, 2019, Pequim. **Proceedings [...]**, Pequim, Beijing Jiaotong University, 2019. p. 1-20. Disponível em: <http://www.12sssbeijing.com/upload/file/1562662783.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2022.

VAN BILSEN, A. How can serious games benefit from 3D visibility analysis? *In: INTERNATIONAL SIMULATION AND GAMING ASSOCIATION, 2009*, Delft. **Proceedings [...]**, Delft, Faculty Of Technology, Policy And Management, Delft University Of Technology, 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/268337769_How_can_serious_games_benefit_from_3D_visibility_analysis. Acesso em: 25 jan. 2022.

VAROUDIS, T. **DepthmapX**. UCL: Space syntax, 2012. Disponível em: <https://www.spacesyntax.online/software-and-manuals/depthmap/>. Acesso em: 07 jun. 2022.

VAROUDIS, T; PENN, A. Visibility, accessibility and beyond: next generation visibility graph analysis. *In: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 10.*, 2015, Londres. **Proceedings [...]**, Londres, UCL, 2015. p. 152.1-152. Disponível em: http://www.sss10.bartlett.ucl.ac.uk/wp-content/uploads/2015/07/SSS10_Proceedings_152.pdf. Acesso em: 20 abr. 2022.

VAROUDIS, T; PSARRA, S. Beyond two dimensions: architecture through three-dimensional visibility graph analysis. **The Journal of Space Syntax**, Londres, v. 5, n. 1, p. 91-108, 27 ago. 2014. Disponível em: <http://joss.bartlett.ucl.ac.uk/journal/index.php/joss/article/view/200>. Acesso em: 25 jan. 2022.

WANG, Z. *et al.* Research On The Relevance Between Mixed-Use Complex And User Behaviour Based On Three-Dimensional Spatial Analysis. *In: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 12.*, 2019, Pequim. **Proceedings [...]**, Pequim, Beijing Jiaotong University, 2019. Disponível em: <http://www.12sssbeijing.com/proceedings/download.php?lang=en&class2=180>. Acesso em: 24 jan. 2022.

WINEMAN, J *et al.* Syntax2d: An open source software platform for Space Syntax analysis. *In: New developments in Space Syntax software*. Istanbul: ITU, 2007. p. 23-26, 2007. Disponível em: https://darts.charlotte.edu/sites/darts.charlotte.edu/files/fields/presentations/field_presentations_file/Syntax-2D_0.pdf. Acesso em: 22 abr. 2022.

ZHANG, L; CHIARADIA, A. From axial to pedestrian path-centre line: The case of 3d pedestrian network in Hong Kong, central. *In: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 12.*, 2019, Pequim. **Proceedings [...]**, Pequim, Beijing Jiaotong University, 2019. Disponível em: <http://www.12sssbeijing.com/upload/file/1562658191.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2021.

ZHANG, L; CHIARADIA, A. J. F. Walking in the cities without ground, how 3d complex network volumetrics improve analysis. **Environment And Planning B: Urban Analytics and City Science**, [S. L.], p. 239980832110705, 23 fev. 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1177/23998083211070567>. Acesso em: 28 fev. 2022.