

**CORRELAÇÃO ENTRE MORFOLOGIA URBANA E OS
CÁLCULOS DE CENTRALIDADE PARA A PREDIÇÃO
DA ACESSIBILIDADE EM ESCALA LOCAL. ESTUDO DE
CASO SOBRE O BAIRRO BURITIS.**

LUCAS DUARTE COSTA LIMA

**CORRELAÇÃO ENTRE MORFOLOGIA URBANA E OS
CÁLCULOS DE CENTRALIDADE PARA A PREDIÇÃO
DA ACESSIBILIDADE EM ESCALA LOCAL. ESTUDO DE
CASO SOBRE O BAIRRO BURITIS.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), como requisito para a obtenção do Grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, sob orientação do Professor Renato Cesar Ferreira de Souza, com conclusão no ano de 2020.

Belo Horizonte
2020

©2020, Lucas Duarte Costa Lima.
Todos os direitos reservados.

FICHA CATALOGRÁFICA

L732c

Lima, Lucas Duarte Costa.

Correlação entre morfologia urbana e os cálculos de centralidade para a predição da acessibilidade em escala local [manuscrito]: estudo de caso sobre o Bairro Buritis / Lucas Duarte Costa Lima. - 2020.

68f. : il.

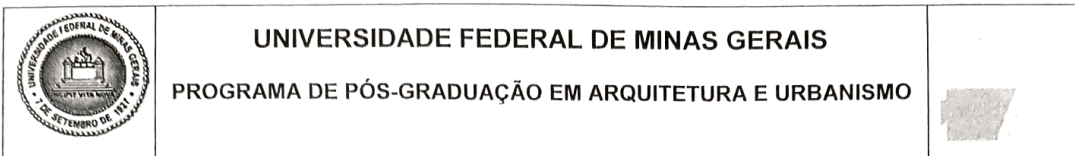
Orientador: Renato Cesar Ferreira de Souza.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura.

1. Planejamento urbano - Teses. 2. Espaço (Arquitetura) - Teses. 3. Solo – Uso – Planejamento - Teses. 4. Espaço urbano – Teses. I. Souza, Renato Cesar Ferreira. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Arquitetura. III. Título.

CDD 711.4

Ficha catalográfica: Biblioteca Raffaello Berti, Escola de Arquitetura/UFMG



FOLHA DE APROVAÇÃO

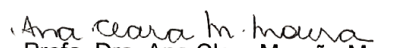
Correlação entre morfologia urbana e os cálculos de centralidade para a predição da acessibilidade em escala local: Estudo de caso sobre o bairro Buritis, em Belo Horizonte, M.G., Brasil


LUCAS DUARTE COSTA LIMA

Dissertação submetida à Comissão Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Escola de Arquitetura da UFMG como requisito para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, área de concentração: Teoria, produção e experiência do espaço.

Aprovada em 17 de fevereiro de 2020, pela Comissão constituída pelos membros:


Prof. Dr. Renato César Ferreira de Souza - Orientador
EA-UFMG


Profa. Dra. Ana Clara Mourão Moura
EA-UFMG


Prof. Dr. Renato Tibiriçá de Saboya
UFSC – por meio de videoconferência

Belo Horizonte, 17 de fevereiro de 2020.

Dedico esse trabalho a minha esposa Nathália, ao meu filho Miguel e a meu pai Wellington que desempenhou um papel essencial na minha formação como arquiteto e ser humano.

Gostaria de agradecer em especial a meu orientador Renato César, que me aceitou como aluno e que se manteve aberto a diversidade epistemológica, ao rigor científico e ao diálogo com seus pares.

“Architecture and urban design, both in their formal
and spatial aspects, are seen as fundamentally
configurational in that the way the parts are put
together to form the whole is more important than
any of the parts taken in isolation.”
— Bill Hillier, *Space Is the Machine: A
Configurational Theory of Architecture*.

RESUMO

A pesquisa decorre da investigação sobre como a morfologia de redes urbanas influi no processo de formação e manutenção das centralidades e como calcular o peso exercido por edifícios singulares e seu efeito nos cálculos das centralidades. Para tanto, foi adotado como metodologia a pesquisa exploratória, visando o desenvolvimento da familiaridade com os fenômenos descritos e analisados pelas teorias e ferramentas desenvolvidas pelos laboratórios *Space Syntax* vinculado à UCL (*University College London*) e o *City Form Lab* vinculado ao *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), de modo a fundamentar pesquisas subsequentes com maior compreensão, entendimento e precisão. Investigou-se a relação entre os aspectos funcionais e espaciais das centralidades de modo a compreender como essa relação é impulsionada pela vida social e econômica nas cidades. Como técnica de análise, foi realizado um estudo de caso sobre a acessibilidade do bairro Burity em Belo Horizonte, M.G., tendo como amostra o georreferenciamento de micro e pequenas empresas registradas no bairro e sua correlação com os cálculos de centralidade e métricas de acessibilidade a partir da configuração espacial da rede urbana em escala local. Identificou-se uma relação forte entre configuração e atração e concluiu-se que, para entender a centralidade de uma maneira que seja robusta o suficiente para realizar previsões e orientar decisões, deve-se procurar entendê-la como um processo espaço-funcional contínuo e não simplesmente como um estado ou uma série de estados, em pontos específicos no tempo; uma vez que considerações apenas sobre o estado da centralidade em decisões de políticas públicas, significa confundir um estado momentâneo com um estado natural, de modo que pode-se acabar por minar a dinâmica espacial que dá origem ao tipo de fenômeno de centralidade que se deseja conservar ou revitalizar. Sem descartar a constatação óbvia de que fatores políticos e econômicos determinam as diretrizes para o desenvolvimento urbano, avaliou-se que tais processos na realidade operam apenas dentro das restrições e limites estabelecidos pela constatação científica de que a centralidade é um processo conduzido espacialmente.

Palavras chave: Morfologia Urbana, Sintaxe Espacial, Cálculos de centralidade, Acessibilidade, SIG

ABSTRACT

The research stems from the investigation of how the morphology of urban networks influences the process of formation and maintenance of centralities and how to calculate the weight exercised by individual buildings and their effect on centrality calculations. To this end, exploratory research was adopted as a methodology, aiming at developing familiarity with the phenomena described and analyzed by the theories and tools developed by the Space Syntax laboratories linked to UCL (University College London) and the City Form Lab linked to the Massachusetts Institute of Technology (MIT), in order to support subsequent research with greater understanding and precision. The relationship between the functional and spatial aspects of the centralities was investigated in order to understand how this relationship is driven by social and economic life in cities. As an analysis technique, a case study was carried out on the accessibility of the Buritis neighborhood in Belo Horizonte, MG, using as sample the georeferencing of micro and small businesses registered in the neighborhood and its correlation with the centrality calculations and accessibility metrics from spatial configuration of the urban network on a local scale. A strong relationship between configuration and attraction was identified and it was concluded that, in order to understand centrality in a way that is robust enough to make predictions and guide decisions, one must try to understand it as a continuous and space-functional process not simply as a state or a series of states, at specific points in time; since considerations only about the state of centrality in public policy decisions, it means confusing a momentary state with a natural state, so that one can end up undermining the spatial dynamics that give rise to the type of centrality phenomenon that is desired conserve or revitalize. Without discarding the obvious finding that political and economic factors determine the guidelines for urban development, it was assessed that such processes actually operate only within the restrictions and limits established by the scientific finding that centrality is a spatially driven process.

Key-Words: Urban Morphology, Space Syntax, Centrality Calculations, Accessibility, GIS

LISTA DE FIGURAS

- FIG. 1 | FOTO AÉREA DO LOTEAMENTO NO BAIRRO BURITIS EM 1976. FONTE: JORNAL DAQUI BH. DISPONÍVEL EM: < [HTTPS://WWW.DAQUIBH.COM.BR/COMO-SURGIU-O-BAIRRO-BURITIS/](https://www.daquibh.com.br/como-surgiu-o-bairro-buritis/)>, ACESSO EM: 11 FEV. 2020..... 10
- FIG. 2 | LOTEAMENTO APÓS A MUDANÇA DO ZONEAMENTO DE 1992. FONTE: JORNAL DAQUI BH. DISPONÍVEL EM: < [HTTPS://WWW.DAQUIBH.COM.BR/COMO-SURGIU-O-BAIRRO-BURITIS/](https://www.daquibh.com.br/como-surgiu-o-bairro-buritis/)>, ACESSO EM: 11 FEV. 2020..... 11
- FIG. 3 | CONSTRUÇÃO DE UM MAPA AXIAL DE UMA PARCELA DA CIDADE DE LONDRES (HILLIER, 2007). OS ESPAÇOS VAZIOS SÃO DESTACADOS PARA ANÁLISE, EM SEGUIDA, SÃO TRAÇADOS OS EIXOS AXIAIS PARA FORMULAÇÃO DO MAPA. 13
- FIG. 4 | REPRESENTAÇÃO CLÁSSICA DA ANÁLISE AXIAL DO BAIRRO BURITIS EM BELO HORIZONTE, M.G. CORES QUENTES (AMARELO, LARANJA E VERMELHO) REPRESENTAM LINHAS AXIAIS MAIS INTEGRADAS ENQUANTO LINHAS COM CORES FRIAS (TONS DE AZUL E VERDE) MENOS INTEGRADAS. FONTE: ELABORADO PELO AUTOR. 15
- FIG. 5 | REPRESENTAÇÃO EM TONS DE CINZA DA ANÁLISE AXIAL DO BAIRRO BURITIS EM BELO HORIZONTE, M.G. LINHAS MAIS ESCURAS REPRESENTAM VALORES DE MAIOR INTEGRAÇÃO ENQUANTO LINHAS MAIS CLARAS E FINAS REPRESENTAM VALORES MAIS BAIXOS DE INTEGRAÇÃO. FONTE: ELABORADO PELO AUTOR 15
- FIG. 6 | REPRESENTAÇÃO CLÁSSICA DA ANÁLISE DE INTEGRAÇÃO DE SEGMENTOS DO BAIRRO BURITIS EM BELO HORIZONTE, M.G. CORES QUENTES (AMARELO, LARANJA E VERMELHO) REPRESENTAM SEGMENTOS MAIS INTEGRADAS ENQUANTO LINHAS COM CORES FRIAS (TONS DE AZUL E VERDE) MENOS INTEGRADAS. FONTE: ELABORADO PELO AUTOR..... 16
- FIG. 7 | REPRESENTAÇÃO EM TONS DE CINZA DA ANÁLISE DE SEGMENTOS DO BAIRRO BURITIS EM BELO HORIZONTE, M.G. LINHAS MAIS ESCURAS REPRESENTAM VALORES DE MAIOR INTEGRAÇÃO ENQUANTO LINHAS MAIS CLARAS E FINAS REPRESENTAM VALORES MAIS BAIXOS DE INTEGRAÇÃO. FONTE: ELABORADO PELO AUTOR. 17
- FIG. 10 | CÁLCULO DA ESCOLHA DE SEGMENTOS NORMALIZADA DO BAIRRO BURITIS EM BELO HORIZONTE, M.G. FONTE: ELABORADA PELO AUTOR..... 18
- FIG. 11 | MAPA DE ACESSIBILIDADE (ESCOLHA E INTEGRAÇÃO) DA REDE URBANA DE TODA CIDADE DE BELO HORIZONTE E SUA RELAÇÃO COM O BAIRRO BURITIS. FONTE: CENTRO DE COMPUTAÇÃO AMBIENTAL (EA-UFGM) COM SOBREPOSIÇÃO DO BAIRRO REALIZADA PELO AUTOR..... 19
- FIG. 12 | INTEGRAÇÃO + ESCOLHA DE SEGMENTOS COM NORMALIZAÇÃO CUSTOMIZADA – TOP:1.4 E BOTTOM: 0.8, CONFORME (HILLIER, YANG, E TURNER 2012) DO BAIRRO BURITIS EM BELO HORIZONTE, M.G. FONTE: ELABORADO PELO AUTOR..... 20
- FIG. 13 | ACESSIBILIDADE DO BAIRRO BURITIS EM BELO HORIZONTE, M.G., OBTIDO PELA CORRELAÇÃO ENTRE OS CÁLCULOS DE INTEGRAÇÃO E ESCOLHA DOS SEGMENTOS DE RUAS. FONTE: ELABORADO PELO AUTOR. 20
- FIG. 14 | ESTIMATIVA DE DECAIMENTO DA ATIVIDADE DE PEDESTRES EM LOJAS DE CONVENIÊNCIA, DE ACORDO COM A COMISSÃO METROPOLITANA DE TRANSPORTES DE OAKLAND DE 1980. FONTE: (SEVETSUK, 2010)..... 21
- FIG. 15 | STEP DEPTH COM RAIO DE 500 METROS E NORMALIZADO POR NATURAL BREAKS (VALORES REDISTRIBUÍDOS EM TODAS AS CLASSES) A PARTIR DOS SEGMENTOS COM OS MAIORES ÍNDICES DE INTEGRAÇÃO + ESCOLHA. FONTE: ELABORADO PELO AUTOR. 22
- FIG. 17 | ESTIMATIVA DE DENSIDADE DE KERNEL DA CONCENTRAÇÃO DE MICRO EMPRESAS E SUA CORRELAÇÃO COS SEGMENTOS DE RUAS COM OS MAIORES ÍNDICES DE INTEGRAÇÃO (REPRESENTADO PELOS SEGMENTOS MAIS ESCUROS) NO BAIRRO BURITIS

EM BELO HORIZONTE, M.G. DADOS OBTIDOS PELO SITE DA PREFEITURA E ÁREA PELO CENSO IBGE 2019. FONTE: ELABORADO PELO AUTOR.	24
FIG. 18 REPRESENTAÇÃO BÁSICA DE REDES EM UNA. ESQUERDA: QUARTEIRÕES EM HARVARD, MA. DIREITA: REPRESENTAÇÃO DO MESMO CONJUNTO COM DESTAQUE NAS UNIDADES EM UNA. FONTE: (SEVTSUK, 2010) COM DETALHE FEITO PELO AUTOR.	27
FIG. 19 GRAFO DE UMA REDE URBANA TRIDIMENSIONAL. FONTE: (SEVTSUK, 2010).	27
FIG. 20 UMA MEDIDA DE IMPEDÂNCIA PODE SER CALIBRADA PARA CAPTURAR QUALQUER ATRIBUTO SUBSTANCIALMENTE JUSTIFICADO NO DESLOCAMENTO ESPACIAL ENTRE DOIS PONTOS EM UMA REDE. FONTE: (SEVTSUK, 2010).	29
FIG. 21 GRAFO EM FORMA DE HEXÁGONO COM 6 NÓS E 15 ARESTAS. FONTE: (SEVTSUK, 2018).	30
FIG. 22 GRAFO DE REPRESENTAÇÃO DE UMA MALHA URBANA EM GRADE REGULAR COMPOSTA POR QUATRO QUARTEIRÕES CERCADOS POR RUAS. SENDO $E = 12$, $V = 9$, ÍNDICE GAMA = 0,33 OU 1/3 E ÍNDICE CICLOMÁTICO = 4, NÚMERO MÁXIMO DE CICLOS = 28 E ÍNDICE DE REDUNDÂNCIA = 0,14 OU 1/7. FONTE: (SEVTSUK, 2018).	31
FIG. 23 REPRESENTAÇÃO DE UMA REDE URBANA COMO GRAFO DE ÁRVORE. EM QUE $E = 21$ E $V = 22$. ÍNDICE GAMA = 0,09, ÍNDICE CICLOMÁTICO = 0, MÁXIMO DE CICLOS = 210 E ÍNDICE DE REDUNDÂNCIA = 0. FONTE: (SEVTSUK, 2018).	32
FIG. 24 REPRESENTAÇÃO VISUAL DO ÍNDICE POR ALCANCE. FONTE: (SEVETSUK, 2012). 35	
FIG. 25 ALCANCE DA ÁREA CONSTRUÍDA EM UM RAIOS DE REDE DE 600 METROS DE CADA EDIFÍCIO NO BAIRRO BURITIS, BELO HORIZONTE, MINAS GERAIS. DADOS DA REDE OBTIDOS PELO SITE DA PREFEITURA E ÁREA PELO CENSO IBGE 2019. FONTE: ELABORADO PELO AUTOR.	36
FIG. 26 GRAVIDADE DA ÁREA CONSTRUÍDO EM UM RAIOS DE 600 METROS, COM BETA = 0,00217 DE CADA EDIFÍCIO EM RELAÇÃO A TODOS OS OUTROS NA REDE URBANA NO BAIRRO BURITIS, BELO HORIZONTE, MINAS GERAIS. DADOS DA REDE OBTIDOS PELO SITE DA PREFEITURA E ÁREA PELO CENSO IBGE 2019. FONTE: ELABORADO PELO AUTOR.	39
FIG. 27 CENTRALIDADE POR INTERMEDIÇÃO COM RAIOS DE 600 METROS PONDERADO PELA ÁREA DE CONSTRUÇÃO NO BAIRRO BURITIS, BELO HORIZONTE, MINAS GERAIS. DADOS DA REDE OBTIDOS PELO SITE DA PREFEITURA E ÁREA PELO CENSO IBGE 2019. FONTE: ELABORADO PELO AUTOR.	40
FIG. 29 COMPARAÇÃO DO CÁLCULO DE INTERMEDIÇÃO EM DOIS LAYOUTS URBANOS (GRADE E ÁRVORE) COM O MESMO NÚMERO DE EDIFÍCIOS (24) E O MESMO COMPRIMENTO LINEAR DE RUAS. OS VALORES NOS EDIFÍCIOS INDICAM QUANTAS VEZES O EDIFÍCIO É PASSADO. FONTE: (SEVETSUK, 2018).	42
FIG. 30 CENTRALIDADE POR PROXIMIDADE DOS EDIFÍCIOS VIZINHOS, SEM LIMITE DE RAIOS E SEM PESO NO BAIRRO BURITIS, BELO HORIZONTE, MINAS GERAIS. DADOS DA REDE OBTIDOS PELO SITE DA PREFEITURA. FONTE: ELABORADO PELO AUTOR.	43
FIG. 31 CENTRALIDADE POR AÇÃO DIRETA, SEM LIMITE DE RAIOS E SEM PESO NO BAIRRO BURITIS, BELO HORIZONTE, MINAS GERAIS. DADOS DA REDE OBTIDOS PELO SITE DA PREFEITURA. FONTE: ELABORADO PELO AUTOR.	45

SUMÁRIO

Agradecimentos	ix
Resumo	xiii
Abstract	xiv
Resumo Estendido	xv
Lista de Figuras	xvi
Lista de Tabelas	xvii
RESUMO	11
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Antecedentes e contexto internacional da pesquisa	1
1.2. Declaração do problema	3
1.3. Escopo do estudo e metodologia	5
1.4. Organização da pesquisa.....	6
2. CENTRALIDADE COMO PROCESSO E A CONSERVAÇÃO DA VITALIDADE.....	7
2.1. O processo de formação da área de estudo – o bairro Buritis.....	9
3. ANÁLISE SINTÁTICA	12
3.1. Visão geral.....	12
3.2. Métricas e análise angular de segmentos.....	14
3.2.1. Integração (closeness - axial e angular)	14
3.2.2. Escolha (betweenness).....	17
3.2.3. Integração + Escolha = Acessibilidade	18
3.2.4. Step Depth e a correlação entre a morfologia e a localização de comércios e serviços no bairro Buritis.....	21
4. O PESO DE EDIFICAÇÕES NOS CÁLCULOS DE CENTRALIDADES.....	25
4.1.1. Representação métrica.....	25
4.2. A introdução do terceiro elemento (edifícios) na rede urbana.....	26
4.3. Métricas	29
4.3.1. Índices entre redes	30
4.3.1.1. Índice gama.....	30
4.3.1.2. Índice ciclomático, máximo de ciclos e redundância	31
4.3.2. Índices intra-rede.....	33
4.3.2.1. Centralidade por alcance (reach)	34
4.3.2.2. Centralidade por gravitação (gravity).....	36
4.3.2.3. Centralidade por intermediação (betweenness).....	39
4.3.2.4. Centralidade por proximidade (closeness)	42
4.3.2.5. Centralidade por ação direta / retidão (straightness)	44
5. CONCLUSÃO E DIRECIONAMENTOS POSSÍVEIS	47
6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	49

1. INTRODUÇÃO

1.1. Antecedentes e contexto internacional da pesquisa

Ao longo da história dos estudos urbanos, vários teóricos retrataram o ambiente construído e sua relação explícita ou implícita com a temática das centralidades através de diferentes linguagens, métodos e narrativas. Tal diversidade representa um grande desafio para formulação de consensos e tomada de decisões em equipes multidisciplinares de projeto, planejamento e gestão de espaços públicos e empreendimentos privados.

Durante os anos 1950 e 1960, na chamada revolução quantitativa (Gregory 2009), tentou-se orientar tal linguagem a partir da conjunção entre métodos científicos – elaborados principalmente por economistas e geógrafos – e a então recente teoria dos sistemas para explicar as dinâmicas espaciais. Para tanto, valia-se de um conjunto de técnicas matemáticas e estatísticas computadorizadas com o objetivo de aperfeiçoar a capacidade preditiva resultando em programas de planejamento urbano racional e de larga escala. O foco estava na eficiência por meio de métodos quantitativos científicos, modelagem urbana, equipes de planejamento interdisciplinar, zoneamento, suburbanização, separação de usos da terra e sistemas de transporte em larga escala (Portugali 2018). Acreditava-se que a quantificação de dados poderia resolver os problemas urbanos, enquanto a expectativa de domesticar as cidades se tornava a visão dominante na época (Eldredge 1979).

Porém, tal abordagem ficou associada ao pensamento neopositivista, cujas críticas mais proeminentes partiram de Jane Jacobs (Jacobs 1961), que alegava o distanciamento das relações e da escala humana no planejamento urbano e por parte das perspectivas estruturalista-marxista, humanista-fenomenológica e derivações da análise crítica, em que viam a cidade como representação da própria sociedade e de sua força cultural. Tais

críticas desencadearam um descontentamento generalizado no final da década de 1960 e início de 1970 em relação às abordagens quantitativas. Deste modo, desenvolveram-se duas correntes desconexas no estudo das cidades: por um lado uma quantitativa e técnica, muitas vezes relacionadas à ciência regional, proveniente das ciências exatas; por outro, uma qualitativa e hermenêutica, derivada das ciências humanas (Portugali 2000).

Simultaneamente, as teorias da complexidade se desenvolveram, a princípio na física e das ciências exatas em trabalhos sobre sinérgica (Haken 1983), estruturas dissipativas (Nicolis e Prigogine 1977; Prigogine 1980; Prigogine e Stengers 1984), dentre outras teorias para lidar com um tipo especial de sistemas que são abertos e complexos, nos quais as interações descentralizadas entre os agentes dão origem a uma estrutura global emergente, resultando em sistemas longe das condições de equilíbrio.

Inicialmente a associação de fenômenos como a auto organização com as cidades se dava de maneira metafórica (Nicolis e Prigogine 1977), porém, gradativamente passaram a ser estudados em maior evidência a partir das derivações de conceitos subjacentes às estruturas dissipativas. Desse modo, demonstrou-se a importância tanto do acaso, quanto do determinismo na evolução urbana, assim como novas dificuldades envolvidas por parte das autoridades de planejamento (Allen e Sanglier 1981).

A maioria das teorias e metodologias das teorias complexas desenvolvidas nas últimas três décadas tem sido aplicadas também ao estudo das cidades (Portugali 2017), resultando em um novo campo de pesquisa nos estudos urbanos nomeado como “*complexity theories of cities*” (CTC) (Portugali 2011; Portugali et al. 2014); que inclui pesquisas sobre redes urbanas (Batty 2008), cidades fractais (Batty e Longley 1994), auto organização (Portugali 2000), modelos de simulação urbana baseados em agentes e autômatos celulares (Benenson e Torrens 2004), assim como aspectos cognitivos

(Natapov 2016; Portugali 2011, 2016) e o crescente debate sobre cidades inteligentes (Batty et al. 2012; Haken e Portugali 2017). Ao longo desse processo, para a surpresa de alguns pesquisadores da área, a partir da CTC tornou-se possível estabelecer uma interseção entre as duas abordagens antes apartadas e representar características dinâmicas, espontâneas e qualitativas de modo computável (Haken e Portugali 2015).

1.2. Declaração do problema

Grande parte das pesquisas em CTC referenciadas anteriormente se dedicam à representação matemática e gráfica de padrões emergentes no contexto urbano, de modo a prever uma vasta gama de eventos futuros a partir das alterações da organização dos elementos que compõe o sistema, resultando no surgimento de novos padrões e alterações sistêmicas. Sob essa perspectiva, o desafio se torna compreender, descrever e analisar a centralidade urbana como um processo complexo e dinâmico ao invés de um estado. O que suscita questões sobre como a configuração espacial influi na criação e manutenção das centralidades? Existe uma correlação entre a morfologia e a escolha de locais de comércio, serviços, bens imóveis e lazer? Como é possível mapear e quantificar essa força de atração?

Para Hillier (Hillier 1999), a centralidade possui uma dupla acepção; de um lado elementos espaciais e do outro, elementos funcionais. Especialmente, a morfologia urbana desempenha um papel crítico na formação e localização dos centros e no desenvolvimento e manutenção de sua vitalidade mediante a influência exercida pela configuração espacial no movimento e na escolha do uso do solo e na localização de estabelecimentos comerciais e residenciais, propiciando de tal maneira um fator atrator no layout do assentamento como um todo. Para tanto, este aspecto, será aprofundado nesta

dissertação a partir da teoria configuracional e do conjunto de ferramentas bem difundidas pelo laboratório *Space Syntax* vinculado à UCL (*University College London*).

Por aspecto funcional, entende-se como a concentração e diversidade de atividades em uma determinada área e sua posição relativa ao restante do assentamento como um todo (Op. Cit. p.1). Metodologicamente neste caso, pode-se realizar o georreferenciamento de dados censitários e *social-data*¹, para aplicar diversas métricas de análise espacial a fim de se indicar as centralidades. Recentes avanços foram realizados nesse sentido nas pesquisas desenvolvidas por Sevtsuk e Mekonnen (Sevtsuk e Mekonnen 2012) do *City Form Lab* vinculado ao *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) que resultaram no desenvolvimento da caixa de ferramentas *Urban Network Analysis* (UNA) de uso gratuito para o cálculo de cinco tipos de centralidades indicadas através do cruzamento entre a configuração das redes espaciais urbanas com a opção de se ponderar pelo peso relativo atribuído diferentemente a cada edifício da rede.

Nesse ponto, nos deparamos com o problema central da pesquisa: como estruturar uma metodologia de trabalho que seja adequada para analisar as centralidades urbanas considerando sua dupla acepção (i.e. funcional e espacial - uma vez que diferentes abordagens quantitativas são empregadas a depender do referencial teórico e do conjunto de ferramentas) e em quais situações cada uma será mais efetiva para a indicação das centralidades urbanas. Trabalhou-se com a hipótese de que ambas as análises são complementares e que no entanto, a quantidade e qualidade dos dados utilizados para a realização dos cálculos, assim como a finalidade da análise ou intervenção projetual,

¹ Social Data: Dados coletados de redes sociais ou ambientes de interação entre usuários, geralmente demográficos e comportamentais, ou seja, que ditam um padrão de um determinado grupo com as mesmas característica. Disponível em: < https://pt.wikipedia.org/wiki/Big_data>, Acesso em: 17 jan. 2020.

poderiam condicionar diferentes trilhas metodológicas dentro de uma mesma estrutura de trabalho.

1.3. Escopo do estudo e metodologia

A pesquisa decorre da investigação sobre como a morfologia de redes urbanas influi no processo de formação e manutenção das centralidades urbanas e como calcular o peso exercido por edifícios singulares e seu efeito no cálculo das centralidades. Para tanto, foi adotado como metodologia a pesquisa exploratória, visando o desenvolvimento da familiaridade com os fenômenos descritos e analisados pelas teorias e ferramentas desenvolvidas pelos laboratórios *Space Syntax* vinculado à UCL (*University College London*) e o *City Form Lab* vinculado ao *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), de modo a fundamentar pesquisas subsequentes com maior compreensão, entendimento e precisão. Investigou-se a relação entre os aspectos funcionais e espaciais das centralidades de modo a compreender como essa relação é impulsionada pela vida social e econômica nas cidades. Foram expostas diversas métricas de centralidade e acessibilidade espacial que exercem potencial influência na localização de comércio, serviços e bens imóveis na escala local. Para isso, foi utilizado como unidade de análise tanto linhas axiais e segmentos para representar os eixos viários, quanto edificações a fim de estimar a probabilidade de acomodação de determinado uso a partir da relação entre a localização do objeto de análise e elementos de interesse como: infraestrutura urbana, transporte, comércios e serviços, características do uso do solo e a configuração morfológica do ambiente construído ao redor. Como técnica de análise, foi realizado um estudo de caso sobre a acessibilidade do bairro Buritis em Belo Horizonte, M.G., tendo como amostra o georreferenciamento de micro e pequenas empresas registradas no bairro e sua correlação com os cálculos de centralidade e métricas de acessibilidade a partir da configuração espacial da rede urbana em escala local.

1.4. Organização da pesquisa

A pesquisa analisa o processo de formação e manutenção das centralidades urbanas tendo como estudo de casos o bairro Buritis, em Belo Horizonte, M.G., o segundo mais populoso e o mais verticalizado da capital². Essa análise é dividida em três partes que se desenvolvem concomitantemente a explanação do referencial teórico. Na primeira, exploramos o processo de formação das centralidades por meio de sua configuração espacial em que a morfologia irá ser um fator determinante. Na segunda, aprofundamos no aspecto funcional das centralidades por meio do geoprocessamento das informações disponíveis acerca dos usos das edificações já estabelecidas e das diferentes métricas possíveis para indiciar as centralidades. Na terceira e última, identificamos as dificuldades, potencialidades e limites acerca da estrutura de trabalho proposta e apontamos para os direcionamentos possíveis de serem adotados em pesquisas futuras.

² Araújo, W. Como nasceu o bairro Buritis. Jornal Daqui. Disponível em: < <https://www.daquibh.com.br/como-surgiu-o-bairro-buritis/>>, Acesso em: 11 fev. 2020.

2. CENTRALIDADE COMO PROCESSO E A CONSERVAÇÃO DA VITALIDADE

Aparentemente a compreensão de centralidade não é algo de sofisticada acepção e seus aspectos espaciais e funcionais parecem estáticos e estáveis. Se pegarmos como exemplo uma configuração historicamente bem conhecida, como o conceito de rua principal, com comércios e serviços, normalmente orientado hierarquicamente à um marco simbólico como uma igreja e centro administrativo de uma cidade, se torna clara a tarefa de identificar o foco da centralidade, suas funções e limite de influência.

Porém, ao se adicionar o fator tempo ao sistema que antes aparentava ser fechado e estático, se torna aberto, complexo e dinâmico através da interação espontânea entre os moradores locais e vizinhos, que dessa forma moldam o ambiente construído. Percebe-se com frequência que os limites espaciais de uma dada centralidade, assim como o seu foco e função não são claros, se expandem e contraem, desloca-se ou é absorvido por uma centralidade emergente dominante, de modo que o centro de uma determinada cidade ou bairro pode se tornar com o passar do tempo um local que antes era considerado uma periferia, assim como alterações funcionais podem ocorrer – ao exemplo da Praça da Liberdade em Belo Horizonte que outrora abrigava em seus edifícios históricos a administração estatal, agora transformados em um grande complexo cultural.

Com o tempo e o crescimento da infraestrutura urbana, o desafio se torna não apenas mapear e descrever o estado de uma dada centralidade, e sim toda uma hierarquia de centros e sub centros, conectados à rede urbana dentro de um processo sistêmico espaço-funcional. Embora a descrição dos estados das centralidades serão fundamentais para seu estudo, conforme afirma Hillier (Hillier 1999), para uma compreensão mais robusta e eficaz das centralidades precisamos ir além dessas descrições e procurar entender como os estados variáveis da centralidade são produtos de um processo espaço-funcional

contínuo. Além disso, complementa (Op. Cit. p.), considerações apenas sobre o estado da centralidade em decisões de políticas públicas, significa confundir um estado momentâneo com um estado natural, de modo que pode-se acabar por minar a dinâmica espacial que dá origem ao tipo de fenômeno de centralidade que se deseja conservar ou revitalizar.

Para compreender o processo de formação das centralidades urbanas, Hillier propôs que devemos investigar a relação entre os aspectos funcionais e espaciais de modo a compreender como essa relação é impulsionada pela vida social e econômica nas cidades. Trata-se, portanto, de um modelo de estrutura-função, capaz de demonstrar como as dimensões espaciais e funcionais estão inter-relacionadas e como ambas são impulsionadas pela atividade social e econômica.

Em seu modelo, Hillier destaca a análise de um componente essencial da centralidade que ele chamou de centralidade viva, entendida como o conjunto de atividades estabelecidas localmente, tais como, comércios, serviços, restaurantes, mercados dentre outras atividades que se beneficiam de uma localização privilegiada dentro do assentamento urbano – para além dos tradicionais pontos de moradia e trabalho - e que são constituídos através do processos espacial de economia de movimento (Hillier 2007). Tal conceito, se fundamenta na teoria do movimento natural dos agentes (Hillier e Hanson 1984), que nos diz que os fluxos de movimentos em diferentes pontos dentro de uma dada rede urbana são sistematicamente influenciados pela configuração espacial da própria rede. Fundamentada nisso, a teoria de economia de movimento defende que a organização espacial dos assentamentos gera primeiro padrões de movimento, que por sua vez irão influenciar a escolha do uso do solo e assim recursivamente num processo dinâmico e adaptativo que resultará em múltiplas centralidades que irão caracterizar as cidades em geral.

Para Hillier, existe, portanto, uma relação clara entre configuração e atração (Hillier 1999), sendo todas as alterações nas centralidades, como, crescimento, decrescimento, cisão ou desaparecimento, resultantes do processo da economia de movimento. Sem descartar a constatação óbvia de que fatores políticos e econômicos determinam o desenvolvimento urbano, defende que tais processos na realidade operam apenas dentro das restrições e limites estabelecidos pela constatação científica de que a centralidade é um processo conduzido espacialmente.

2.1. O processo de formação da área de estudo – o bairro Buritis

Fundado por meio de loteamento em 1976, o bairro Buritis, antes abrigava a Fazenda dos Tebaidas, cuja propriedade era do químico e farmacêutico Aggêo Pio Sobrinho e nutria a capital com laranjas e outras mercadorias³. Junto com o professor Baeta Viana, criou a fórmula do remédio Iodobisman, responsável por curar a sífilis na época em que a penicilina ainda não tinha sido descoberta. Tal feito, rendeu-lhe destaque internacional e condições para adquirir nos anos de 1930 glebas na zona Oeste de Belo Horizonte, totalizando aproximadamente 5 milhões de metros quadrados e fazendo divisa com os bairros Olhos D'Água, Barreiro, Milionários, Cidade Industrial, Estrela D'Alva e a zona sul da capital.

Uma série de problemas surgiram com a expansão da Cidade Industrial, como invasões de terras, roubos de gado, dentre outros. Concomitantemente, com o advento da penicilina o remédio Iodobisman saiu de circulação, levando ao encerramento das atividades do laboratório. Nessa época Aggeo Pio decidiu doar as terras para a Santa Casa de Misericórdia, porém, a pedido dos filhos, em especial de Aggêo Lucio, entre as décadas de 1950 e 1960, foram loteadas as terras que faziam divisa com os bairros Cidade

³ Araújo, W. Como nasceu o bairro Buritis. Jornal Daqui. Disponível em: < <https://www.daquibh.com.br/como-surgiu-o-bairro-buritis/>>, Acesso em: 11 fev. 2020.

Industrial, Milionários e Barreiro, dando origem ao bairro Palmeiras. A fazenda foi conservada junto com sua sede na parte montanhosa, sendo loteada apenas em 1976, fundando então o bairro Buritis – batizado em homenagem ao escritor Guimarães Rosa, admirador das árvores Buritis.



Fig. 1 | Foto aérea do loteamento no Bairro Buritis em 1976. Fonte: Jornal Daqui BH. Disponível em: < <https://www.daquibh.com.br/como-surgiu-o-bairro-buritis/>>, Acesso em: 11 fev. 2020.

Originalmente o bairro foi concebido para abrigar residências unifamiliares, porém, ficou estagnado por muito tempo (Op. Cit). Para resolver o problema foi firmado contrato com a Convap Engenharia e Construções, que urbanizou a área em troca de 43% dos lotes. Foi quando surgiram as ruas do bairro, já na configuração atual, assim como a principal Av. Professor Mário Werneck – em homenagem ao professor da Escola de Engenharia da UFMG). Uma característica marcante no bairro foi a área destinada a preservação – maior do que exigida para a lei na época – que deu origem ao parque Aggêo Pio Sobrinho, o segundo maior de Belo Horizonte, com 600 mil m².

Até 1992, o bairro tinha apenas casas, porém, com a mudança do zoneamento da região pela Prefeitura, prédios multifamiliares passaram a ser permitidos, dando origem a um “boom” imobiliário no bairro (Op. Cit.).



Fig. 2 | Loteamento após a mudança do zoneamento de 1992. Fonte: Jornal Daqui BH. Disponível em: < <https://www.daquibh.com.br/como-surgiu-o-bairro-buritis/>>, Acesso em: 11 fev. 2020.

Atualmente, o bairro é o segundo mais populoso e o mais verticalizado da capital. o que contribui para congestionamentos recorrentes – uma vez que o planejamento urbano original não previa tamanho adensamento. Tal processo de formação, deu origem a uma centralidade com uma autonomia funcional em relação aos demais bairros da região, com comércio, serviços e áreas de lazer próprios. Porém, como a configuração espacial contribuiu nesse processo? É o que será analisado no capítulo seguinte.

3. ANÁLISE SINTÁTICA

3.1. Visão geral

Hillier e Hanson (Hillier 2007; Hillier e Hanson 1984), aplicaram técnicas de representação e análise da teoria dos grafos às redes urbanas, consolidando a teoria e o conjunto de ferramentas conhecida como sintaxe espacial, cujas aplicações relacionam diversos fenômenos sociais como índices de fluxo de pedestres, ocorrência de crimes, distribuição de estabelecimentos comerciais, dentre outros. Para tanto, os autores chegaram a elaboração de uma ferramenta de análise configuracional que estabelece a relação entre os componentes elementares do espaço (unidades/elementos/objetos) em uma determinada estrutura espacial (contexto urbano onde as unidades interagem). Sendo o território, a estrutura que permite que essas relações ocorram.

Partindo desse princípio, a teoria propõe uma representação em que os espaços vazios entre as edificações sejam destacados para análise, identificando padrões na organização dos elementos construídos em relação às áreas de circulação. Desse modo, cada intervenção realizada no nível das unidades tem a capacidade de gerar alterações no nível do sistema e criar novos padrões de espaço no território. Essas modificações por sua vez, geram possibilidades e restrições ao nível das unidades que constituem as relações sociais no espaço.

Os autores da sintaxe espacial, optaram por trabalhar com linhas axiais, definidas como as poucas e maiores linhas de visão que podem ser traçadas através dos espaços abertos das ruas de uma área de estudo (Hillier e Hanson 1984). A maioria das representações que utilizam da teoria dos grafos para descrever relações sociais utilizam dois tipos de elementos, nós e arestas, sendo que tipicamente nas análises de redes urbanas, as arestas representam as ruas e os nós, seus cruzamentos (Porta, Crucitti, e

Latora 2006). Porém, os pesquisadores da sintaxe espacial adotaram a chamada representação dual de grafos (Porta et al. 2006; Sevtsuk 2018a), em que as ruas são representadas matematicamente como nós e as interseções como arestas, o que permite mudar o foco das análises para as ruas, representadas pelas linhas axiais. Isso ocorre, devido ao fato de que nas análises de redes, os índices são projetados para se concentrarem nos nós (por exemplo, em redes sociais, os nós podem representar pessoas, ou grupos sociais). Enquanto o grau de centralidade nas redes sociais é medido em função da quantidade de conexões estabelecidas a partir de um ponto (nó) de interesse, a sintaxe espacial descreve o número de linhas axiais adjacentes que se cruzam com uma determinada linha axial de interesse.

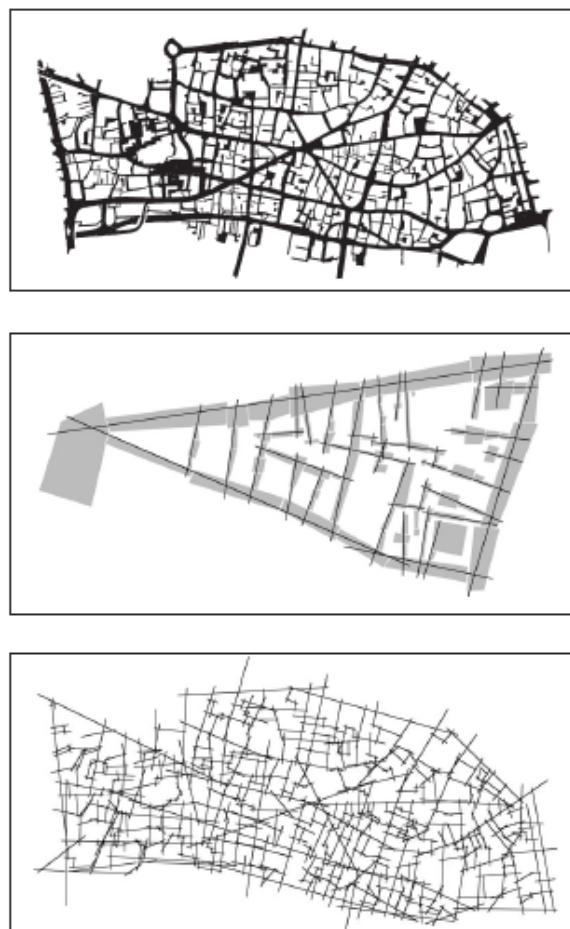


Fig. 3 | Construção de um mapa axial de uma parcela da cidade de Londres (Hillier, 2007). Os espaços vazios são destacados para análise, em seguida, são traçados os eixos axiais para formulação do mapa.

O cruzamento de linhas, como medida de distância topológica, fornecerá o grau de separação, chamada métrica de profundidade, sendo possível a partir dela analisar o nível de integração o que terá importantes implicações para a representação e análise das centralidades urbanas. A seguir, aprofundaremos nas explicações dos conceitos da sintaxe espacial e suas aplicações para os cálculos das centralidades na área de estudo proposta.

3.2. Métricas e análise angular de segmentos

3.2.1. Integração (*closeness* - axial e angular)

“Depthmap can do axial analysis, but you don’t need it. Segment analysis is similar, but more powerful and can do more things.” (HILLIER, 2008, p.1)

Turner (Turner 2001), introduz na teoria configuracional a Análise Angular de Segmentos, com o objetivo de reduzir erros recorrentes na análise axial, como ocorre em vias tortuosas em que as linhas axiais sinalizam uma mudança de direção, o que nem sempre corresponde com a realidade. Desse modo, ao considerar segmentos ao invés de linhas axiais, torna-se possível analisar as relações tanto topológicas quanto métricas (angulares) com o espaço urbano. Para representar as relações métricas, Turner propôs um cálculo espacial baseado no menor ângulo entre dois ou mais segmentos, de modo que os percursos tortuosos fossem lidos de maneira contínua.

A análise angular também influenciou consideravelmente a teoria do movimento natural, da menor distância em linha reta para o menor desvio angular entre dois pontos além da possibilidade de utilizarmos na análise distâncias métricas, estipulando por exemplo um raio para os cálculos. Vejamos a seguir as diferenças das representações em nossa área de estudo.



Fig. 4 | Representação clássica da análise axial do bairro Buritis em Belo Horizonte, M.G. Cores quentes (amarelo, laranja e vermelho) representam linhas axiais mais integradas enquanto linhas com cores frias (tons de azul e verde) menos integradas. Fonte: Elaborado pelo autor.



Fig. 5 | Representação em tons de cinza da análise axial do bairro Buritis em Belo Horizonte, M.G. Linhas mais escuras representam valores de maior integração enquanto linhas mais claras e finas representam valores mais baixos de integração. Fonte: Elaborado pelo autor

Ao aplicar a análise angular de segmentos obtemos uma graduação maior entre os valores apresentados acima. Isso acontece devido a análise angular de segmentos interrompe os eixos nas suas interseções, de modo a calcular cada segmento individualmente e distribuindo seus valores, permitindo uma análise de acessibilidade mais detalhada, principalmente em eixos longos com diferentes tipos de interseção.

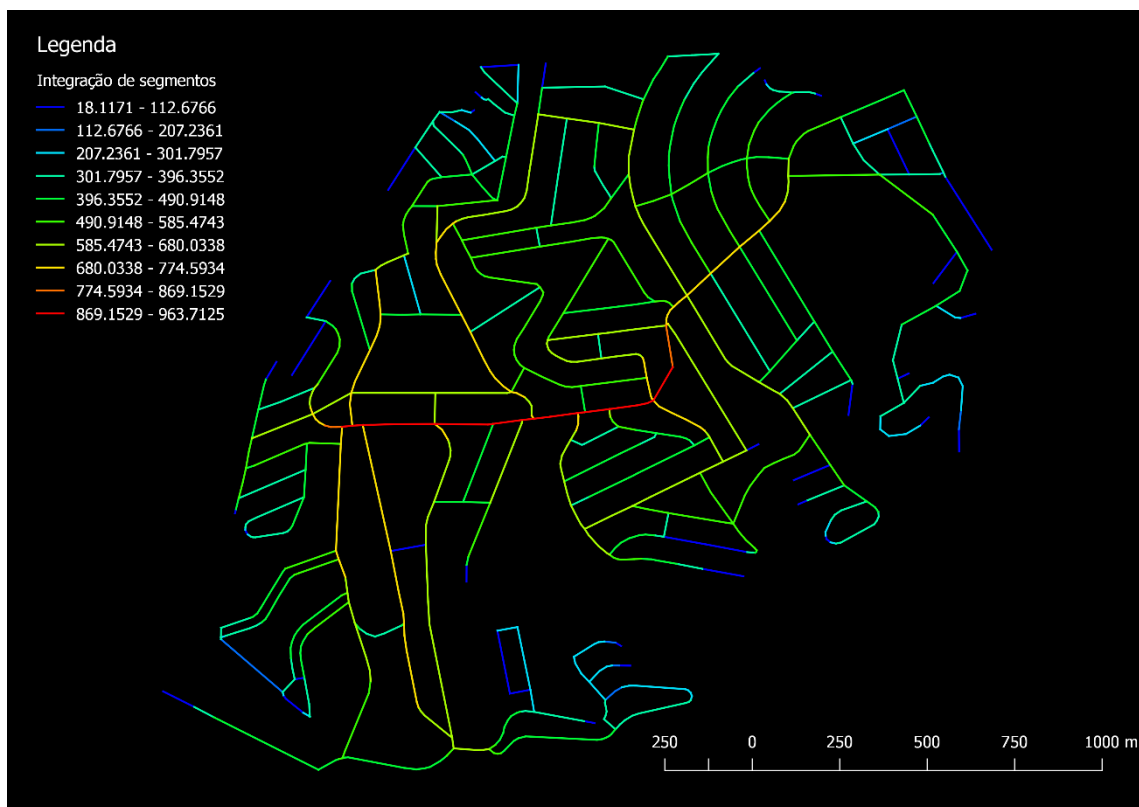


Fig. 6 | Representação clássica da análise de integração de segmentos do bairro Buritis em Belo Horizonte, M.G. Cores quentes (amarelo, laranja e vermelho) representam segmentos mais integrados enquanto linhas com cores frias (tons de azul e verde) menos integradas. Fonte: Elaborado pelo autor.

Legenda

Integração de segmentos

—	18.1171 - 112.6766
—	112.6766 - 207.2361
—	207.2361 - 301.7957
—	301.7957 - 396.3552
—	396.3552 - 490.9148
—	490.9148 - 585.4743
—	585.4743 - 680.0338
—	680.0338 - 774.5934
—	774.5934 - 869.1529
—	869.1529 - 963.7125



Fig. 7 | Representação em tons de cinza da análise de segmentos do bairro Buritis em Belo Horizonte, M.G. Linhas mais escuras representam valores de maior integração enquanto linhas mais claras e finas representam valores mais baixos de integração. Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.2. Escolha (*betweenness*)

Enquanto a medida de integração (baseado no cálculo de proximidade - *closeness*) irá representar o potencial de movimento, ou seja, a facilidade de se deslocar de um ponto a outro, outra medida importante na sintaxe espacial será a escolha (baseado no cálculo de intermediação - *betweenness*), que mede a probabilidade de se atingir determinado segmento a partir de todos os pontos de origem e destino da rede (Hillier 2007).

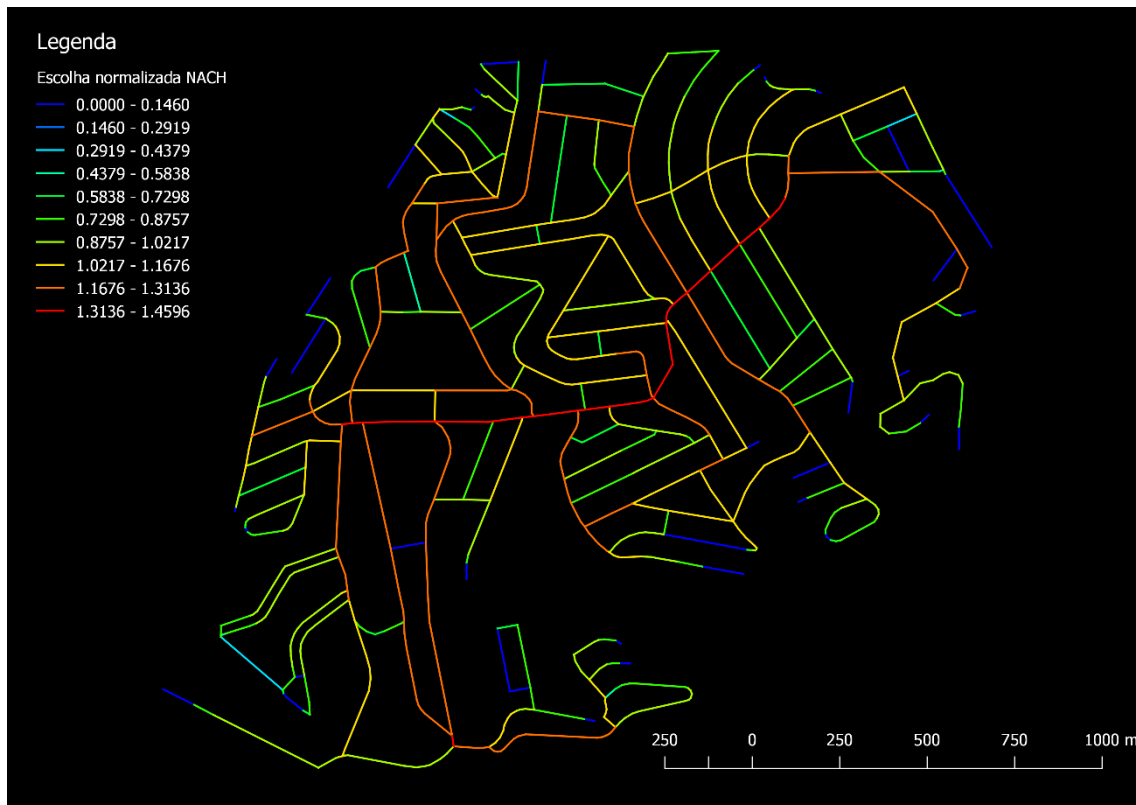


Fig. 8 | Cálculo da escolha de segmentos normalizada do bairro Buritis em Belo Horizonte, M.G.
Fonte: Elaborada pelo autor.

Tal representação identifica, portanto, os segmentos que tem o maior potencial de escolha, e possui aplicações por exemplo na identificação de corredores de transporte.

3.2.3. Integração + Escolha = Acessibilidade

Se combinarmos ambas as medidas, integração e escolha, obteremos um índice que informa simultaneamente os segmentos mais integrados e com o maior potencial de escolha, sendo a medida que demonstra o potencial do movimento humano nas cidades proporcionando a análise ótima para acessibilidade espacial (Sayed et al. 2018). O índice varia de 0 à 1, no caso o resultado obtido foi de 0,24 (Fig. 11) o que indica uma baixa acessibilidade no bairro. Além disso, ao observar a análise de acessibilidade da rede urbana de toda cidade, é notável a baixa acessibilidade ao bairro, conforme pode ser observado na Fig. 1.

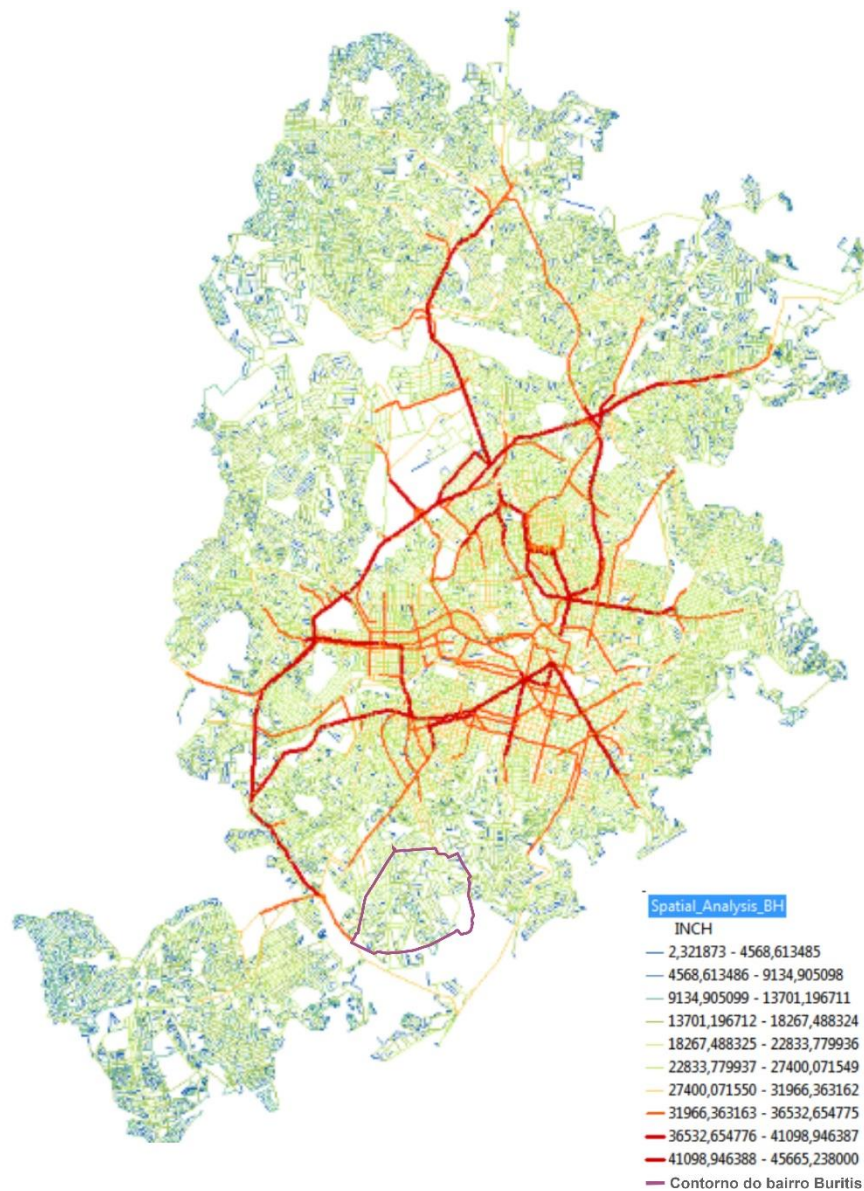


Fig. 9 | Mapa de acessibilidade (escolha e integração) da rede urbana de toda cidade de Belo Horizonte e sua relação com o bairro Buritis. Fonte: Centro de Computação Ambiental (EA-UFGM) com sobreposição do bairro realizada pelo autor.

Percebe-se que não apenas o bairro possui tanto um baixo índice de acessibilidade endógena, ou seja, em relação ao sistema interno do próprio bairro, quanto um baixo índice de acessibilidade exógena, no que se refere ao sistema externo da cidade como um todo e seu acesso ao bairro.



Fig. 10 | Integração + Escolha de segmentos com normalização customizada – top:1.4 e bottom: 0.8, conforme (Hillier, Yang, e Turner 2012) do bairro Buritis em Belo Horizonte, M.G. Fonte: Elaborado pelo autor.

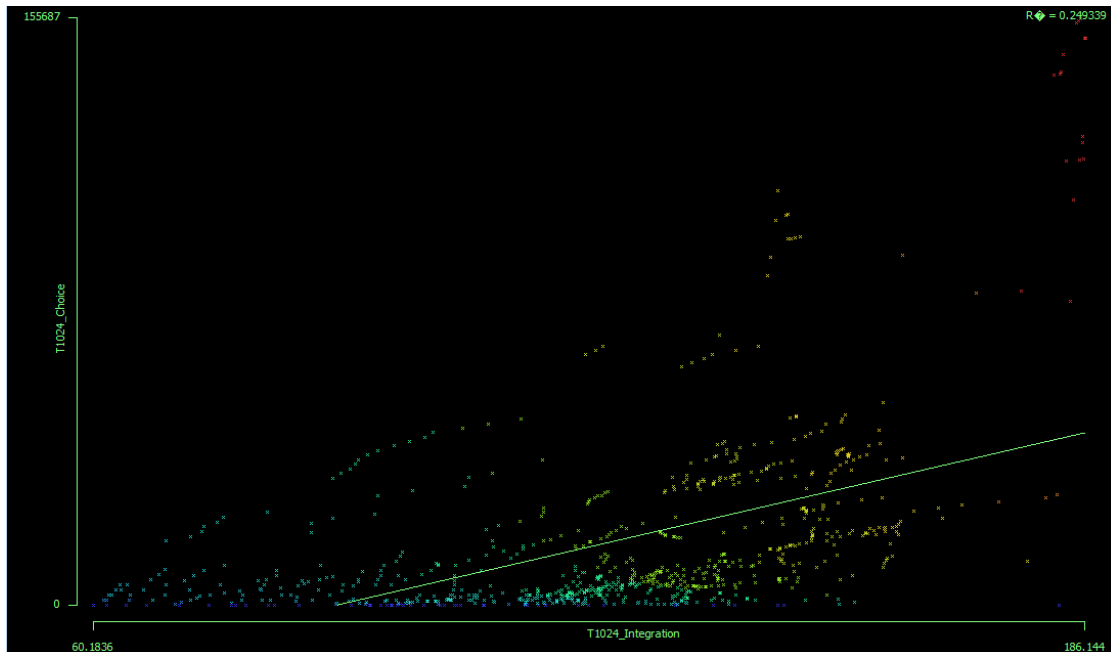


Fig. 11 | Acessibilidade do bairro Buritis em Belo Horizonte, M.G., obtido pela correlação entre os cálculos de integração e escolha dos segmentos de ruas. Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.4. Step Depth e a correlação entre a morfologia e a localização de comércios e serviços no bairro Buritis

Para analisar um segmento específico em relação com o todo, na sintaxe espacial pode-se calcular a métrica conhecida como *step depth*, que irá fornecer a distância topológica (voltas), métrica (raio) ou angular (mudança de direção) e possui aplicações para entender as dinâmicas da complexidade espacial em escala humana – quanto mais densa, maior será a probabilidade para se atingir múltiplos destinos. No exemplo a seguir optamos por trabalhar com a distância métrica, por se adequar melhor a análise de segmentos (Hillier et al. 2012). Uma vez que a acessibilidade será condicionada ao modo de viagem, entende-se de tal modo que a distância entre dois pontos, pode ser percebida de maneiras muito distintas para quem se desloca de carro, bicicleta, transporte público ou a pé. Outros fatores como a densidade, velocidade de deslocamento e o alcance da viagem também irão influenciar a acessibilidade. O foco de análise nessa dissertação será no modo de caminhada, por ser o modo de transporte mais democrático, saudável e em consonância com as premissas de sustentabilidade das cidades do século XXI. A figura abaixo demonstra a taxa de decaimento da predisposição para se caminhar em relação ao tempo de deslocamento.

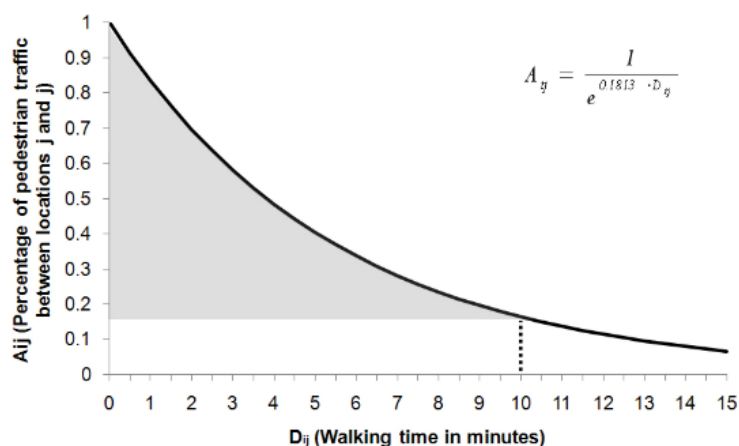


Fig. 12 | Estimativa de decaimento da atividade de pedestres em lojas de conveniência, de acordo com a Comissão Metropolitana de Transportes de Oakland de 1980. Fonte: (Sevetsuk, 2010).

Embora outros fatores possam interferir nessa função, evidências empíricas sugerem que uma distância a pé de 10 minutos, que por sua vez corresponde à uma distância entre 500 e 600 metros, é um marco significativo para a desistência, interrupção do trajeto ou troca do modo de deslocamento. Essa referência servirá de base para análises subsequentes.

Abaixo foi calculado uma distância de 500 metros a partir dos segmentos com os maiores valores de integração e escolha conjuntamente.



Fig. 13 | Step Depht com raio de 500 metros e normalizado por natural breaks (valores redistribuídos em todas as classes) a partir dos segmentos com os maiores índices de integração + escolha. Fonte: Elaborado pelo autor.

Desse modo, entende-se que a distância de 500 metros percorridas a pé, a partir dos segmentos com os maiores valores de integração, fornece o potencial de localidades a serem atingidas ao longo dos demais segmentos da rede, que são inversamente proporcionais a taxa de decaimento. Portanto, os segmentos com maiores valores de *step*

deph, contam com um potencial de acesso que favorecerá comércios e serviços ali instalados.

O resultado da localização dos maiores valores acima, está em consonância com os locais de maior concentração de pontos de comércio e serviços do bairro, representados na Fig. 14 pelo georreferenciamento das pequenas e micro empresas registradas no local. Aplicou-se a esses pontos, a Estimativa de Densidade de Kenerl, um tipo de função de densidade de probabilidade, que demonstra a agregação de fenômenos pontuais. A existência de uma correlação entre a densidade de localização destes pontos com os índices morfológicos analisados, corrobora, com a teoria de Hillier que nos diz que a relação entre os aspectos funcionais e espaciais impulsiona a vida econômica e social das cidades, sendo a metodologia descrita aqui, suficiente para detectar o que ele chamou de centralidade viva – o elemento essencial para a criação e manutenção das centralidades urbanas. Além disso ao analisar os resultados gerados, pode-se perceber também como a centralidade se estabelece de uma forma mais difusa e tem uma certa capilaridade na rede urbana analisada, em que a morfologia será determinante.

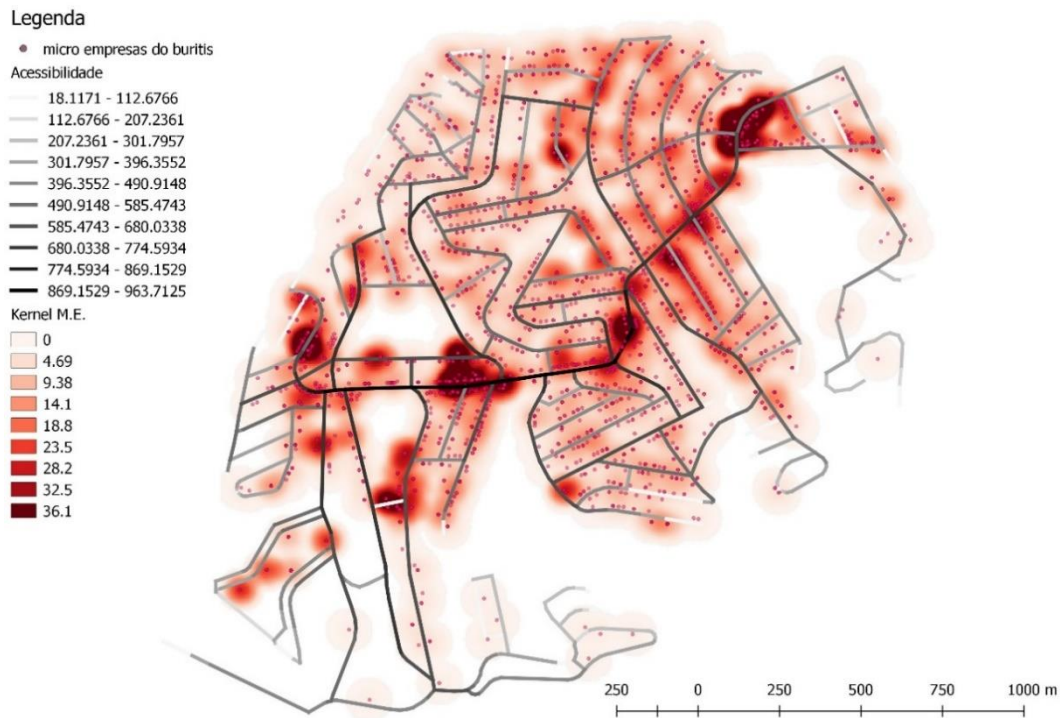


Fig. 14 | Estimativa de Densidade de Kernel da concentração de micro empresas e sua correlação cos segmentos de ruas com os maiores índices de integração (representado pelos segmentos mais escuros) no bairro Buritis em Belo Horizonte, M.G. Dados obtidos pelo site da Prefeitura e área pelo Censo IBGE 2019. Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma observação importante a ser feita sobre o mapa acima é que a maior parte das micro empresas no bairro representadas pelos índices de 4,68 à 19,8, são registradas em áreas residenciais, cujas atividades são destinadas a prestações de serviços (*home office*), pequenos comércios eletrônicos, endereço postal, dentre outras atividades não abertas aos pedestres. Isso significa que tais atividades não estão diretamente relacionadas com o centro vivo, nos termos em que Hillier explica, porém, indiretamente contribuem para o reforço dos índices que representam os comércios e serviços disponíveis aos pedestres e fisicamente estabelecidos nos segmentos de maior integração.

4. O PESO DE EDIFICAÇÕES NOS CÁLCULOS DE CENTRALIDADES

Para mensurar os aspectos funcionais da centralidade podemos utilizar ferramentas de Sistema de Informação Geográfica (SIG), através da parametrização de dados censitários e sociais para ponderar as análises de redes urbanas.

Recentemente, uma abordagem de representação que reconcilia as duas abordagens, foi introduzida por Sevtsuk e Mekonnen (Sevtsuk e Mekonnen 2012) do *City Form Lab* vinculado ao *Massachusetts Institute of Technology* (MIT). O laboratório disponibilizou uma caixa de ferramentas chamada *Urban Network Analysis* (UNA) de uso gratuito para análise de redes urbanas, até então disponíveis para os softwares ArcGIS e Rhinoceros. Através dela é possível calcular cinco tipos de centralidades, a saber: alcance (*reach*), gravidade (*gravity*), intermediação (*betweenness*), proximidade (*closeness*) e ação direta (*straightness*) além de possibilitar a formulação de índices de redundância (caminhos alternativos) e *wayfinding*.

Vejamos a seguir a estrutura de representação de rede urbana e o detalhamento das métricas e índices obtidos através dos cálculos de múltiplas centralidades apresentados pelas duas abordagens anteriores e maneira como são conciliadas na ferramenta UNA.

4.1.1. Representação métrica

Embora as análises topológicas tenham diversas aplicações ao planejamento urbano, a abordagem mais comum na utilização da teoria dos grafos para a análise de redes urbanas é a assunção de que diferentes locais no grafo são melhores capturados por distâncias métricas (Sevtsuk 2010). Na abordagem métrica convencional, os segmentos de ruas são representados como arestas e os cruzamentos como nós, sendo o foco dos cálculos para elaboração das métricas, o número de cruzamentos de ruas, em vez de

arestas (segmentos de ruas ou linhas axiais). Desse modo, os resultados podem ser convertidos em segmentos de ruas, pelo cálculo do valor médio de dois nós adjacentes e aplicando o resultado até as extremidades que ficam entre os dois nós (Sevtsuk 2010).

Sergio Porta e colegas, compilaram diversos cálculos de centralidade aplicados à teorias dos grafos, nomeando a metodologia de *Multiple Centrality Assessment* (MCA) (Porta et al. 2006) (Porta et al. 2009), sendo as métricas mais comuns utilizadas na MCA intermediação (*betweenness*), proximidade (*closeness*) e ação direta (*straightness*).

Esses cálculos foram utilizados por Sevtsuk para composição da ferramenta *Urban Network Analysis* (UNA) juntamente com os cálculos de alcance (*reach*) e gravidade (*gravity*). Todos serão detalhados no item 2.3 dessa dissertação.

4.2. A introdução do terceiro elemento (edifícios) na rede urbana

A ferramenta UNA, inaugura duas inovações nesse tipo de análise. Primeiramente, ela introduz um terceiro elemento, as edificações (ou outra instância de localização como terrenos ou estações de transporte público), o que nos permite estabelecer índices diferentes para cada edificação ou terreno. Além disso, existe a possibilidade de usar os nós como input de entrada para os prédios ou para realizar a análise convencional. Essas possibilidades representam um avanço para o campo de estudos, uma vez que se torna possível estabelecer pesos diferentes entre as edificações e uso do solo em toda a área de análise, o que não era possível na maioria dos métodos anteriores. A conexão do edifício com a aresta que representa a rua mais próxima, se dá mediante a um segmento na menor conexão perpendicular, como se pode observar no destaque da imagem a seguir:

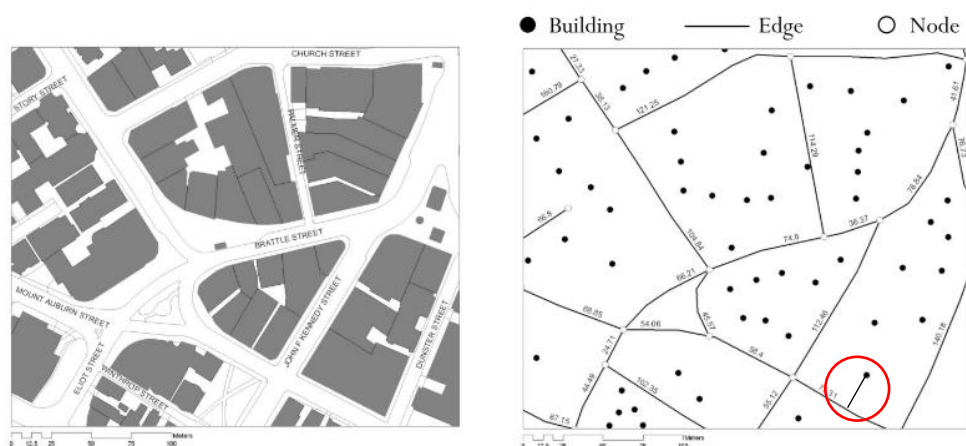


Fig. 15 | Representação básica de redes em UNA. Esquerda: Quarteirões em Harvard, MA. Direita: Representação do mesmo conjunto com destaque nas unidades em UNA. Fonte: (Sevtsuk, 2010) com detalhe feito pelo autor.

Caso a configuração espacial do ambiente de estudo não seja capaz de ser representado em um plano bidimensional em função de passagens subterrâneas, elevados (como pontes e viadutos), ou ainda se os edifícios estiverem conectados entre si acima ou abaixo do nível da rua (através de passarelas ou túneis), poderá ainda ser adicionado ao grafo um eixo vertical Z, contendo valores em cada elemento. Nesse caso, a análise das relações espaciais entre os elementos do grafo deverá ser computada em tridimensionalmente, como demonstrado a seguir:

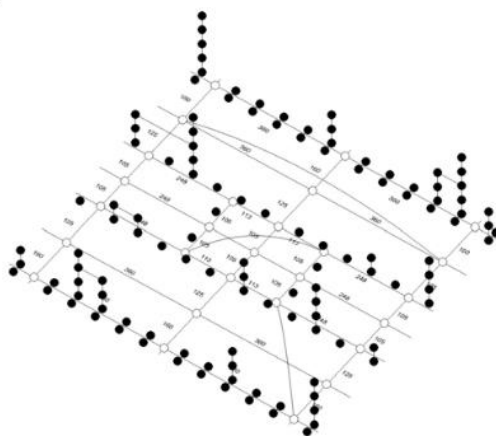


Fig. 16 | Grafo de uma rede urbana tridimensional. Fonte: (Sevtsuk, 2010).

O terceiro elemento da rede pode ainda ser adaptado a partir da escala da análise. Em uma escala em que se pode visualizar a planta de uma edificação, o terceiro elemento pode representar cada ambiente, enquanto as arestas representam os corredores e os nós suas interseções; o que tem uma utilidade relevante nas análises espaciais de projetos complexos. Em uma escala maior o terceiro elemento pode representar a totalidade de um quarteirão ou até mesmo bairros inteiros. Porém, o mais comum até o momento é utilizá-lo para representar edifícios singulares, sendo a marcação gráfica do terceiro elemento a entrada do limite de controle espacial que o conecta com o restante da rede.

Usando a representação tripartida proposta da configuração urbana, uma matriz de origem-destino (OD) pode ser calculada para descrever a separação espacial entre todos os pares de construção no gráfico. O *GIS Network Analyst*, *TransCAD* e outros *softwares* de análise de redes espaciais oferecem algoritmos flexíveis para calcular caminhos ao longo de diferentes características da rota. Além disso, pode-se armazenar uma matriz OD em um banco de dados, em que a identificação (IDs) dos edifícios ou terrenos, com suas respectivas características podem ser utilizadas para uma ampla variedade de análises espaciais como por exemplo, consultar quantos estabelecimentos, residentes ou empregos podem ser atingidos em uma área dentro de um determinado percurso. Ao conectar a matriz OD com as tabelas de atributos de edifícios, arestas e nós abre assim uma estrutura de análise, na qual a forma urbana, a distribuição do uso do solo e as características da rota são representadas em conjunto (Sevtsuk 2010).

Além disso, pode-se descrever a impedância calculada a partir das variáveis encontradas ao longo deste percurso. Por exemplo, se o caminho é calculado pela distância metricamente mais curta, as rotas podem ser calculadas mediante atributos encontrados no trajeto como: número de curvas e cruzamentos, número de edifícios (com suas respectivas características e pesos), etc.

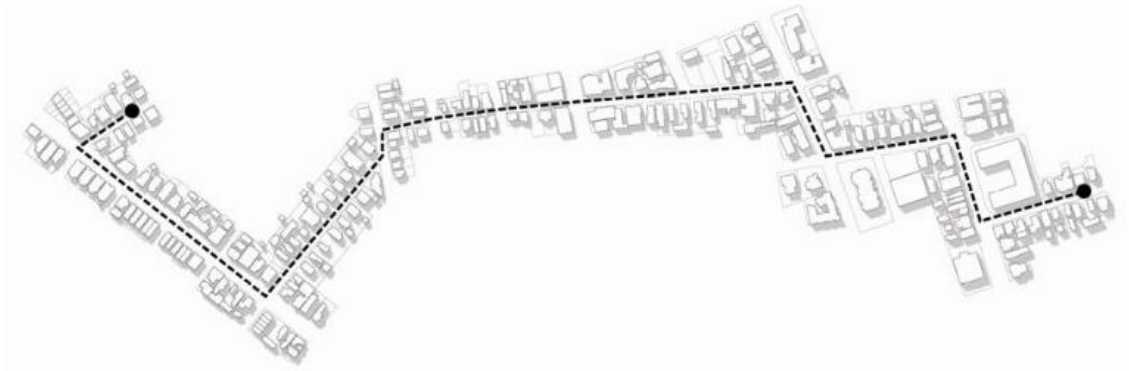


Fig. 17 | Uma medida de impedância pode ser calibrada para capturar qualquer atributo substancialmente justificado no deslocamento espacial entre dois pontos em uma rede. Fonte:

(Sevtsuk, 2010).

Desse modo, ao utilizar medidas de impedância diferentes, torna-se possível conciliar as duas abordagens anteriores. No caso da metodologia MCA que utiliza a abordagem primária, escolhe-se o fator métrico como impedância (e.g., a menor distância). Analogamente, para a representação dual, caracterizada pela ênfase na topologia espacial, utiliza-se como fator de impedância o número de curvas para se chegar à uma análise de integração do tipo da sintaxe espacial. Essa possibilidade representa um avanço significativo para o desenvolvimento de futuras pesquisas no campo da análise espacial.

Vejamos a seguir os detalhes envolvidos nas composições das métricas de centralidades utilizadas pela UNA e suas aplicações.

4.3. Métricas

Em termos gerais a ferramenta de análise espacial UNA trabalha com dois tipos de índices (Sevtsuk 2018a), o primeiro analisa as propriedades de um grafo ou sub grafo e suas relações com a rede como um todo e se tornam significativos quando comparados entre redes; enquanto a segunda analisa as propriedades de relação interna de uma rede singular e seus respectivos componentes, como nós, arestas e edifícios.

4.3.1. Índices entre redes

4.3.1.1. Índice gama

Usado para capturar propriedades gerais de um grafo, o índice gama é mais utilizado na análise convencional da teoria dos grafos, em que são representados por nós e arestas, embora, nas análises em UNA é possível atribuir aos nós qualquer instância de uma rede urbana, como edifícios, lotes, estações de transporte, etc. O índice gama, ilustra até que ponto uma rede espacial se assemelha a um grafo hexagonal totalmente conectado, onde cada nó está diretamente conectado a qualquer outro nó no grafo (Sevtsuk, 2018, p. 52), conforme imagem a seguir:

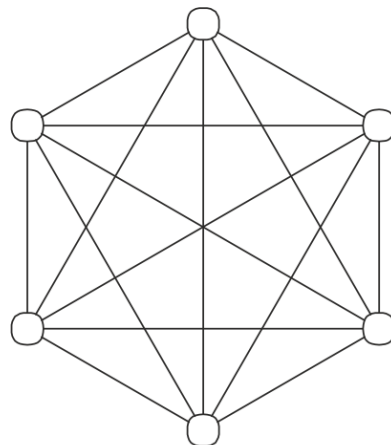


Fig. 18 | Grafo em forma de hexágono com 6 nós e 15 arestas. Fonte: (Sevtsuk, 2018).

Para se aferir o nível de semelhança que a representação de uma rede urbana tem com o modelo acima, o índice gama é calculado da seguinte maneira:

$$\text{Índice Gama} = e / [(v^2 - v) / 2]$$

em que e representa o número de arestas e v o número de nós. Desse modo, o índice gama quantifica a conectividade de um determinado grafo a partir do número de interseções. O valor gama varia entre 0 e 1, em que o valor 1 indica uma rede extremamente conectada

como na figura acima. Além disso, o índice apresenta outras aplicações, por exemplo, para se medir a progressão de integração de uma determinada rede ao longo do tempo. Na imagem a seguir um grafo é apresentado de modo progressivo, em que o nível de conectividade é crescente ao começar com 4 conexões e índice gama 0.44 até chegar a 9 conexões e índice gama 1. Portanto, quanto maior o índice gama maior é a possibilidade de acesso direto à um determinado ponto na rede, uma vez que maior será o número de conexões no grafo que representa uma rede urbana.

4.3.1.2. Índice ciclomático, máximo de ciclos e redundância

O índice ciclomático, ou número ciclomático mostra a disponibilidade de rotas alternativas, em vez de exclusivas, entre nós na rede (Sevtsuk, 2018, p. 52) e é expresso pela fórmula:

$$\text{Índice Ciclomático} = e - v + g$$

em que g é o número de elementos conectados no grafo como na Fig. 17. Em um layout urbano, uma grade de quatro quarteirões cercados por ruas de todos os lados produz quatro ciclos como na imagem a seguir:

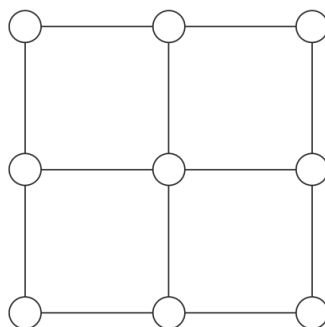


Fig. 19 | Grafo de representação de uma malha urbana em grade regular composta por quatro quarteirões cercados por ruas. Sendo $e = 12$, $v = 9$, índice gama = 0,33 ou $1/3$ e índice

ciclomático = 4, número máximo de ciclos = 28 e índice de redundância = 0,14 ou 1/7. Fonte: (Sevtsuk, 2018).

Já para as redes urbanas com ruas sem saídas, o tipo mais adequado de representação é o grafo de árvore como na Fig. 18. Nos grafos desse tipo o número de arestas (e) é sempre o número de nós (v) $- 1$, uma vez que apenas um único caminho mais curto estará disponível entre qualquer par de nós em um grafo de árvore (Sevtsuk, 2018, p. 53). Do ponto de vista da morfologia urbana, significa uma maior limitação de escolha de trajetos devido a padrões fortemente hierárquicos da configuração espacial, tal como pode ser encontrado em grande parte em assentamentos constituídos por meio de processos espontâneos como em cidades medievais e ocupações irregulares.

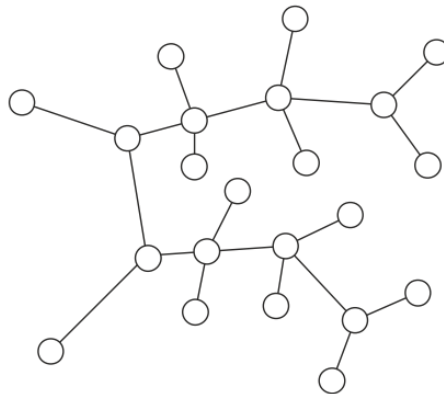


Fig. 20 | Representação de uma rede urbana como grafo de árvore. Em que $e = 21$ e $v = 22$. Índice gama = 0.09, índice ciclomático = 0, máximo de ciclos = 210 e índice de redundância = 0. Fonte: (Sevtsuk, 2018).

O número máximo de ciclos (i.e. caminhos alternativos) para um dado número de vértices é calculado como o número máximo de arestas possíveis em um grafo menos as bordas de um grafo em árvore com o mesmo número de vértices (Sevtsuk, 2018, p. 53), conforme fórmula a seguir:

$$N^{\circ} \text{ máx. de Ciclos} = [(v^2 - v) / 2] - (v - 1)$$

Já o índice de redundância demonstra a vulnerabilidade da rede a divisões (Sevtsuk, 2018, p. 53) e é definido como a razão entre o número de ciclos observados e o número máximo de ciclos possíveis, conforme expresso:

$$\text{Índice de Redundância} = (e - v + g) / [(v^2 - v) / 2] - v + 1]$$

Nas redes urbanas representadas por grafo de árvore, o índice de redundância será = 0. Ao contrário, quando o índice de redundância for = 1, demonstra que uma rede está totalmente conectada, como na Fig. 7. Sendo algumas das suas aplicações a demonstração da volatilidade de uma rede de ruas a rupturas causadas, por exemplo, por desastres naturais, como enchentes e deslizamentos de terra.

Pode-se concluir de tal modo que os índices possuem várias aplicações nas análises de redes urbanas, baseadas em dados e orientadas por hipóteses que podem ser complementadas por outras métricas de modo a fornecer uma descrição mais precisa da rede urbana em questão. A seguir, algumas dessas métricas serão apresentadas no contexto do ferramental UNA para ArcGIS e Rhinoceros 3D.

4.3.2. Índices intra-rede

Os índices intra-rede descrevem a importância relativa de nós ou edifícios individuais em uma rede. Esses índices nos permitem comparar até que ponto diferentes elementos da mesma rede estão conectados ao restante da rede (Sevtsuk 2018a), sendo a centralidade de um cruzamento, por exemplo, medido pelo número de segmentos de ruas que o interceptam. Quanto maior o número de ruas em um cruzamento, maior será a sua centralidade, pois estará mais conectada ao restante da malha. Embora a maioria dos cruzamentos tenham 3 ou 4 ruas adjacentes, existem exceções como na Charles de Gaulle Etoile (também conhecida como Arco do Triunfo) em Paris que nos apresenta um nó atipicamente conectado à 12 ruas radiais. Embora um nó possa capturar o grau de

centralidade em razão do número de ruas adjacentes, outras métricas de centralidades podem ser formuladas para descrever a conectividade de uma determinada localização, como um edifício, lote ou estação de metrô à um conjunto de destinos possíveis que se encontra nos limites de um dado raio e condicionada pelo fator de decaimento.

4.3.2.1. Centralidade por alcance (*reach*)

A centralidade por alcance de um determinado nó i em um grafo G e um dado raio r descreve o número de outros nós em G que são alcançáveis de i em um caminho mais curto naquele raio (Sevtsuk e Mekonnen 2012). É definido pelo cálculo:

$$Alcance^r[i] = \sum_{j \in V(G) - \{i\}; d[i,j] \leq r} W[j]$$

onde $d[i, j]$ é o caminho mais curto entre os nós i e j em G , e $W[j]$ é o peso do nó de destino j . O peso, é obtido através dos atributos numéricos que caracterizam cada edifício, que pode ser, por exemplo, o número de pavimentos, número de residentes ou de funcionários. É um indicador relevante, uma vez que é através dele que se consegue aferir a quantidade daquele mesmo atributo selecionado para análise (ex. residentes) que podem ser alcançados em cada edifício em um dado raio na rede. A figura a seguir ilustra a representação visual do alcance na rede urbana, em que é delimitado um *buffer* de acessibilidade de uma edificação de interesse i em todas as direções de ruas possíveis até se atingir o raio r .

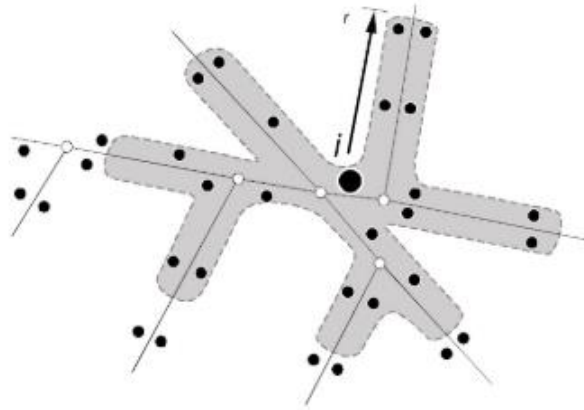


Fig. 21 | Representação visual do índice por alcance. Fonte: (Sevetsuk, 2012).

Em seguida, a centralidade por alcance calcula quantos pontos j de interesse são encontrados, dado um raio r . No caso acima, foram encontrados para o edifício i , 20 possíveis localizações no raio r . Se os pesos forem especificados, a soma dos pesos será contada em vez do número de destinos (Op. cit. p. 293).

A Fig. 22, ilustra a medida de alcance com um raio de 600 metros aplicado aos edifícios da nossa área de estudo, ponderado pela área dos edifícios. Desse modo, torna-se possível estimar o volume construído que pode ser alcançado no raio determinado. Fatores como a densidade construtiva e a conectividade das ruas são elementos de grande influência nesse tipo de análise.



Fig. 22 | Alcance da área construída em um raio de rede de 600 metros de cada edifício no Bairro Buritis, Belo Horizonte, Minas Gerais. Dados da rede obtidos pelo site da Prefeitura e área pelo Censo IBGE 2019. Fonte: Elaborado pelo autor.

A medida de alcance pode ser interpretada como uma alternativa às medidas de densidade de área (por exemplo, domicílios por acre ou empregos por quilômetro quadrado) (Sevtsuk e Mekonnen 2012) com a vantagem de representar a forma como a rede urbana é percebida por pedestres, ciclistas ou motoristas. Ao se adequar o tamanho do raio, diferentes modos de transporte podem ser igualmente analisados. A centralidade por alcance, tendo o volume como peso é especialmente significativa para a predição da localização de novos estabelecimentos de varejo e serviços (Sevtsuk 2010).

4.3.2.2. Centralidade por gravitação (*gravity*)

Diferentemente da centralidade por alcance que quantifica o número de destinos acessíveis em um dado raio e opcionalmente ponderado pelos atributos dos edifícios, a

gravidade, por sua vez, necessariamente quantifica esses atributos para conferir o peso espacial necessário para se alcançar cada destino em particular na rede urbana. Em outras palavras, o cálculo de gravidade mede a facilidade com que um conjunto de destinos pode ser acessado a partir de um conjunto de origens e dependem direta e simultaneamente do tamanho, força de atração do destino e da distância (Sevtsuk 2018b).

A gravidade de um nó i em um grafo G e um raio r , se baseia na noção de que a acessibilidade é inversamente proporcional à menor distância do caminho entre i e cada um dos outros nós em G que são alcançáveis por i em uma distância geodésica r (Sevtsuk e Mekonnen 2012) da seguinte forma:

$$Gravidade^r[i] = \sum_{j \in V(G) - \{i\}; d[i,j] \leq r} \frac{w[j]}{e^{\beta \cdot d[i,j]}}$$

em que, β é o expoente que controla o efeito do decaimento da distância em cada caminho mais curto entre i e j , ou seja, como a força de atração dada pela distância entre i e seus destinos possíveis j afeta o resultado. Se os edifícios receberem atributos de peso, dados por $W[j]$, o índice de gravidade será diretamente proporcional ao peso de cada um dos prédios que podem ser alcançados no limite de um dado raio r . Se o valor de beta (β) for configurado como zero, então nenhum efeito de decaimento na distância será aplicado e o cálculo de gravidade se tornará equivalente ao cálculo de alcance (Sevtsuk e Mekonnen 2012).

A especificação de β será influenciada pelo modo de viagem assumido na análise (caminhada, bicicleta, automóvel, metrô, etc.), bem como as unidades de distância. A bibliografia sobre o ferramental, utiliza como critério um estudo empírico⁴ de viagens de

⁴ Sevtsuk, 2012, p. 295, apud. Handy e Niemeier, 1997.

pedestres à lojas de conveniência que foi realizado em Oakland, Califórnia. Nesse estudo, foi sugerido que, para distâncias a pé, medidas em minutos, β é aproximadamente 0,1813⁵. Desse modo, torna-se possível quantificar o número de pontos de interesse e sua força de atração, assim como o custo de viagem.

No exemplo a seguir, foi usada a mesma base de dados anterior, utilizando a área dos prédios como peso de beta e 600 metros de raio. Como o cálculo de gravidade tem uma sensibilidade maior a distância (taxa de decaimento), os valores obtidos são menos espaçados do que no cálculo por alcance e mais conectados em áreas de concentração de grandes edificações, formando caminhos mais densos com intervalos menores. Para o cálculo de gravidade a utilização da área não se mostrou eficaz, uma vez que esta não possui muita variação entre os terrenos que são condicionados pelo Plano Diretor, apresentando um resultado disperso em todo o bairro. Para medir o potencial gravitacional das edificações, o ideal seria trabalhar com o volume construído (Sevtsuk 2018a).

⁵ O valor equivalente de β para unidades de distância em metros é 0,00217; em pés 0,000663; em quilômetros 2.175 e em milhas 3.501.



Fig. 23 || Gravidade da área construído em um raio de 600 metros, com $\beta = 0,00217$ de cada edifício em relação a todos os outros na rede urbana no Bairro Buritis, Belo Horizonte, Minas Gerais. Dados da rede obtidos pelo site da Prefeitura e área pelo Censo IBGE 2019. Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3.2.3. Centralidade por intermediação (*betweenness*)

A intermediação de uma edificação i , estima o número de vezes que i se encontra no caminho mais curto entre pares de edifícios que se encontram dentro de um determinado raio r de um grafo G . Se mais de um caminho apresentar a mesma distância, considerada a menor entre dois pontos, como ocorre em malhas regulares (Sevtsuk e Mekonnen 2012), então cada um desses caminhos equidistantes receberá peso igual, como se segue:

$$\text{Intermediação}^r[i] = \sum_{j,k \in G - \{i\}; d[j,k] \leq r} \frac{n_{jk}[i]}{n_{jk}} \cdot w[j]$$

em que, n_{jk} é o número de caminhos mais curtos entre os edifícios j e k em G ; $n_{jk}[i]$ é o subconjunto desses caminhos que passam por i com j e k localizado num raio r a partir de i ; e por fim, $W[j]$ é o peso do edifício de destino j .

A medida de intermediação pode ser utilizada para mensurar o potencial que o pedestre tem para atingir determinados destinos em diferentes pontos da rede urbana. Se o peso das edificações for dado em função da densidade demográfica, logo, se conseguirá aferir o potencial de determinado edifício ser alcançado pela população local dado determinado raio. No exemplo abaixo, tal como os exemplos anteriores, foi utilizado como peso a área dos edifícios.



Fig. 24 | Centralidade por intermediação com raio de 600 metros ponderado pela área de construção no Bairro Buritis, Belo Horizonte, Minas Gerais. Dados da rede obtidos pelo site da Prefeitura e área pelo Censo IBGE 2019. Fonte: Elaborado pelo autor.

Em função das vias principais apresentarem rotas mais extensas e conectadas com o restante da rede urbana, elas apresentam um índice de intermediação mais elevado, que

conforme documentações anteriores (Porta et al. 2009; Sevtsuk 2010), pode ser um fator de localização significativo na explicação da distribuição espacial de estabelecimentos de varejo e serviços em áreas urbanas densas.

Tal abordagem, pode ser muito útil para a análise de fluxos, conectividade da malha viária, assim como os desdobramentos de teorias subjacentes as quais dependam de tais premissas, tal como encontramos na bibliografia sobre a sintaxe espacial. Além disso, quando o volume de dados for reduzido, de modo a não ser possível produzir uma separação mais detalhada dos edifícios, seus usos, volume, densidade populacional, etc., pode-se utilizar dessa forma de análise de intermediação, a partir do eixo das ruas para a produção de linhas axiais ou segmentos de ruas, sem restrição de raio ($r = n$), de modo a produzir uma análise global.

Já a Fig. 25, demonstra a diferença da aplicação do cálculo de intermediação em dois tipos comuns de layouts urbanos com o mesmo número de edifícios, do lado esquerdo uma malha de grade regular e do lado direito uma configuração em árvore com ruas sem saídas.

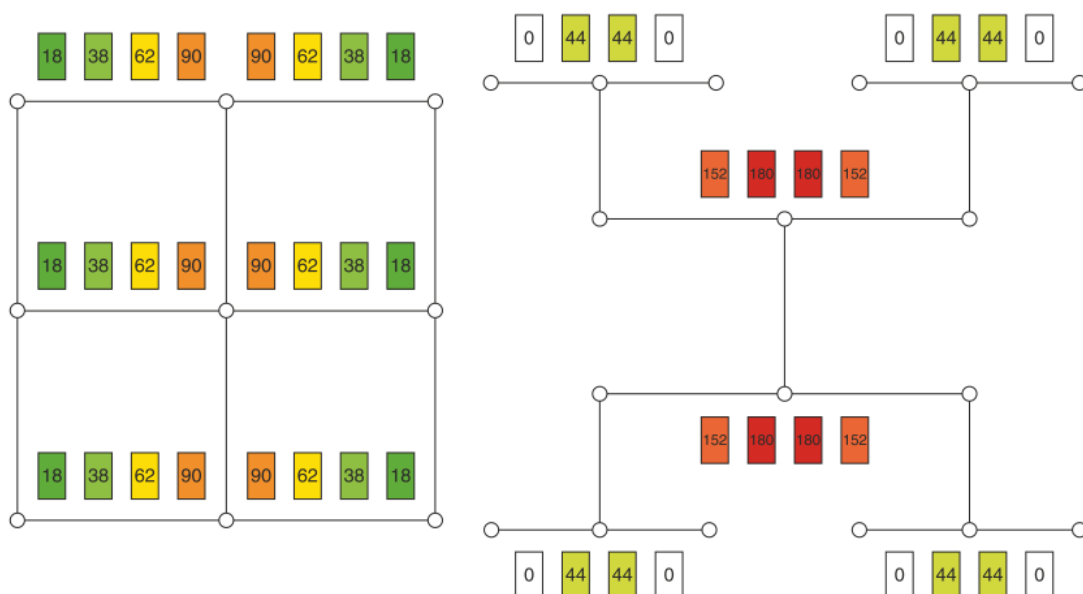


Fig. 25 | Comparação do cálculo de intermediação em dois layouts urbanos (grade e árvore) com o mesmo número de edifícios (24) e o mesmo comprimento linear de ruas. Os valores nos edifícios indicam quantas vezes o edifício é passado. Fonte: (Sevtsuk, 2018).

Como resultado, percebe-se que o grafo em árvore, apresenta os valores dos picos de intervalo duas vezes maior do que na grade regular. Antagonicamente, a malha em grade regular oferece mais opções de rotas entre os pares de edifícios, produzindo caminhos alternativos e resultando em valores distribuídos de forma mais homogênea e resultando em uma hierarquia espacial mais difusa. Desse modo, ilustra-se muito claramente como dois edifícios em uma mesma rua apresentam índices de centralidades diferentes no mesmo segmento de rua.

4.3.2.4. Centralidade por proximidade (*closeness*)

O cálculo por proximidade avalia quão perto cada edificação se encontra em relação a todos os demais edifícios da rede em um determinado raio e é adequado para analisar a proximidade relativa dos objetos de análise em relação aos recursos que os circundam.

A centralidade por proximidade de uma edificação i em um grafo G , é dado pelo inverso da distância total de i para todos as demais edificações que são alcançáveis em G dentro de um raio r ao longo dos caminhos mais curtos (Sevtsuk 2018a; Sevtsuk e Mekonnen 2012) e é definida como se segue:

$$Proximidade^r[i] = \frac{1}{\sum_{j \in G - \{i\}} (d[i, j] \cdot w[j])}$$

Conforme explica a bibliografia (Sevtsuk 2018a), diferentemente do cálculo por intermediação, que estima o tráfego potencial que passa por cada um dos pares de edifícios do grafo, o cálculo de proximidade contempla cada edifício singular e sua distância relativa a todos os demais pontos de interesse selecionados no grafo em um

determinado limite estabelecido opcionalmente por um raio. Outra característica que o diferencia do cálculo de gravidade é o fato de não utilizar peso nos objetos de destino no numerador, ilustrando puramente o quão longe um prédio está de seus vizinhos, conforme a imagem a seguir:



Fig. 26 | Centralidade por proximidade dos edifícios vizinhos, sem limite de raio e sem peso no Bairro Buritis, Belo Horizonte, Minas Gerais. Dados da rede obtidos pelo site da Prefeitura. Fonte: Elaborado pelo autor.

Na imagem acima, fica evidente como as edificações no centro da rede obtiveram valores mais elevados. Isso acontece devido a análise ter realizado um recorte em um bairro específico excluindo-se os demais que compõe a cidade. Esse efeito de borda pode ser eliminado (Sevtsuk 2018a) caso a análise abranja toda a região metropolitana e/ou se estipule um determinado raio que inclua na análise apenas edificações que se encontrem em uma determinada distância de cada elemento.

Portanto, o cálculo por proximidade pode ser aplicado como um indicativo do valor econômico de venda e aluguel de bens imóveis, uma vez que esses são equivalentes à economia nos custos de transporte que o local oferece ⁶.

4.3.2.5. Centralidade por ação direta / retidão (*straightness*)

A centralidade por ação direta, ou retidão de um edifício i em um grafo G , demonstra quão próximo a distância mais curta da rede entre i e outras edificações em G que são atingíveis dentro de um raio r se assemelham a distâncias euclidianas⁷ e é definida como se segue:

$$Ação\ direta[i] = \sum_{j \in G - \{i\}; d[i,j] \leq r} \frac{\delta[i,j]}{d[i,j]} \cdot w[j]$$

em que $\delta[i,j]$ é a distância em linha reta⁸ entre as edificações i e j , $d[i,j]$ é a menor distância na rede das mesmas edificações e $w[j]$ é o peso das edificações de destino. Como o cálculo considera a razão entre distâncias euclidianas e geodésicas, o peso só pode ser atribuído em distância linear (e.g. metros, milhas, pés) e não em unidades de tempo (e.g. minutos) ou topológicas (e.g. curvas) (Sevtsuk 2010, 2018a; Sevtsuk e Mekonnen 2012).

⁶ Sevtsuk, 2018, p. 298, apud. Di Pasquale e Wheaton, 1996.

⁷ Sevtsuk, 2018, p. 299, apud. Vragovic, Louis, 2005; Porta, 2005.

⁸ N. do A.: a distância euclidiana, ao contrário da distância geodésica desconsidera a morfologia da rede.



Fig. 27 | Centralidade por ação direta, sem limite de raio e sem peso no Bairro Buritis, Belo Horizonte, Minas Gerais. Dados da rede obtidos pelo site da Prefeitura. Fonte: Elaborado pelo autor.

A imagem acima demonstra que assim como o cálculo por intermediação, o cálculo por ação direta também concentra os valores mais altos ao longo das principais vias que tem a característica de serem mais longas e por isso conectar mais as edificações contidas nelas com o restante da rede urbana em trajetos mais diretos. Desse modo, a literatura sobre a análise de rede urbana nos informa que o cálculo por ação direta tem aplicações para a detecção de locais com maiores índices de conexão direta com a rede urbana com aplicações na economia de infraestrutura, por exemplo, ao indicar pontos estratégicos para construção de novas vias ou possíveis instalações de ciclovias e na

detecção de nós visíveis a longas distâncias ⁹. Além disso, a imagem acima demonstra que a centralidade por ação direta aumenta à medida que a distância média dos destinos vizinhos aumenta, sugerindo que caminhos mais longos tendem a se parecerem com mais com linhas retas do que caminhos mais curtos.

⁹ Sevtsuk, 2018, p. 300, apud. Lynch, 1960.

5. CONCLUSÃO E DIRECIONAMENTOS POSSÍVEIS

Nessa dissertação foi investigada a correlação entre a morfologia urbana e diversos cálculos de centralidade de modo a prever a acessibilidade em escala local. A partir de uma metodologia exploratória, objetivou o desenvolvimento da familiaridade com os fenômenos descritos e analisados pelas teorias e ferramentas desenvolvidas pelos laboratórios *Space Syntax* vinculado à UCL (*University College London*) e o *City Form Lab* vinculado ao *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), de modo a fundamentar pesquisas subsequentes com maior compreensão, entendimento e precisão.

Portanto, ainda que longe de oferecer uma resposta definitiva para a questão, foi possível investigar a dupla acepção das centralidades (espacial e funcional) tal como proposta por Hillier, de modo que os resultados obtidos confirmaram a correlação entre as métricas de acessibilidade e a localização de comércios e serviços no local de estudo. Tal correlação reforça a noção de que a relação entre os aspectos funcionais e espaciais impulsiona a vida econômica e social das cidades, sendo a morfologia determinante para a criação e sustentação do elemento vital da centralidade, que o autor chama de centro vivo. Tal constatação foi confirmada pelo georreferenciamento das pequenas e micro empresas registradas no local. Aplicou-se a esses pontos, a Estimativa de Densidade de Kenerl, um tipo de função de densidade de probabilidade, que demonstra a agregação de fenômenos pontuais e constatou-se que os maiores valores de agregação se correlacionam com os segmentos de maior acessibilidade. Para mensurar o potencial de acesso para pedestres, foi aplicado um raio geodésico de 500 metros a partir dos eixos mais acessíveis.

Ao analisar os resultados gerados, pode-se perceber também como a centralidade se estabelece de uma forma difusa e capilarizada em meio a rede urbana, sendo a morfologia determinante para a localização de edificações e atividades que sustentarão os aspectos

funcionais das centralidades, tais como comércios, serviços, bens imóveis e equipamentos de utilidade pública.

Em relação ao peso conferido às edificações, sugere-se investigar a mineração de dados sociais não governamentais, de modo a suprir a ausência de eventuais dados oficiais, além da possibilidade da atualização em tempo real via web, de modo a diversificar a quantidade e aprimorar a qualidade de dados que poderão indicar os pesos das edificações nos cálculos de centralidade. A atualização desses dados em tempo real para a gestão urbana em escala local e o uso de inteligência artificial nesse processo também poderão ser contemplados.

De todo modo, na ausência dos dados supracitados, concluiu-se que a análise puramente da morfologia urbana se mostrou consistente o suficiente para se indicar as centralidades em nível local (escala de bairro), tendo como unidade de análise os segmentos de ruas, sendo a coleta de dados adicionais necessários apenas quando se desejar conferir pesos diferentes entre edifícios contidos no mesmo segmento de rua.

6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- Allen, P. M. e M. Sanglier. 1981. “Urban Evolution, Self-Organization, and Decisionmaking”. *Environment and Planning A* 167–83.
- Batty, M., K. W. Axhausen, F. Giannotti, A. Pozdnoukhov, A. Bazzani, M. Wachowicz, G. Ouzounis, e Y. Portugali. 2012. “Smart cities of the future”. *European Physical Journal: Special Topics* 214(1):481–518.
- Batty, Michael. 2008. “Cities as Complex Systems”. in *The Encyclopedia of Complexity & System Science*. Berlin.
- Batty, Michael e Paul Longley. 1994. *Fractal cities*. London: Academic Press.
- Benenson, Itzhak e Paul M. Torrens. 2004. *Geosimulation: automata-based modeling of urban phenomena*. Chippenham: Wiley.
- Eldredge, Wentworth Hanford. 1979. *Taming the Megalopolis*. Oxford: Pergamon Press.
- Gregory, Derek. 2009. *The dictionary of human geography*. Wiley-Blackwell.
- Haken, Hermann. 1983. *Synergetics Introduction and Advanced Topics*. Heidelberg: Springer.
- Haken, Hermann e Juval Portugali. 2015. *Information Adaptation: the interplay between Shannon information and semantic information in cognition*. Heidelberg: Springer.
- Haken, Hermann e Juval Portugali. 2017. “Smart Cities: Distributed Intelligence or Central Planning?” *Smart City Networks, Springer Optimization and Its*

Applications 125.

- Hillier, Bill. 1999. “Centrality as a Process: accounting for attraction inequalities in deformed grids”. in *Space Syntax Second International Symposium*. Brasília.
- Hillier, Bill. 2007. *Space is the machine*. Vol. 18. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hillier, Bill e Julienne Hanson. 1984. *The social logic of space*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hillier, Bill, Tao Yang, e Alasdair Turner. 2012. “Normalising least angle choice in Depthmap and it opens up new perspectives on the global and local analysis of city space”. *Journal of Space Syntax* 3(2):155–93.
- Jacobs, Jane. 1961. *The Death and Life of Great American Cities*. New York: Vintage Books Ed.
- Natapov, Asya. 2016. “Cities as visuospatial networks: Linking visibility of urban activities and pedestrian movement”. Technion — Israel Institute of Technology.
- Nicolis, G. e I. Prigogine. 1977. *Self-organization in nonequilibrium systems: from dissipative structures to order through fluctuations*. New York: Wiley-Interscience.
- Porta, Sergio, Paolo Crucitti, e Vito Latora. 2006. “The network analysis of urban streets: A primal approach”. *Environment and Planning B: Planning and Design* 33(5):705–25.
- Porta, Sergio, Emanuele Strano, Valentino Iacoviello, Roberto Messori, Vito Latora,

- Alessio Cardillo, Fahui Wang, e Salvatore Scellato. 2009. “Street centrality and densities of retail and services in Bologna, Italy”. *Environment and Planning B: Planning and Design* 36(3):450–65.
- Portugali, Juval. 2000. *Self-Organization and the City* Springer-Verlag. Heidelberg: Springer.
- Portugali, Juval. 2011. *Complexity, Cognition and the City*. Tel Aviv: Springer.
- Portugali, Juval. 2016. *Complexity, Cognition, Urban Planning and Design*. Springer
P. organizado por E. Stolk. Springer.
- Portugali, Juval. 2017. *Encyclopedia of Complexity and Systems Science*. New York: Springer-Verlag New York.
- Portugali, Juval. 2018. “Notes on the Smartification of Cities”. Zürich: Colegium Helveticum.
- Portugali, Juval, Han Meyer, Egbert Stolk, e Ekim Tan. 2014. *Complexity Theories of Cities Have Come of Age An Overview with Implications to Urban Planning and Design*. Berlin: Springer.
- Prigogine, Ilya. 1980. *From Being to Becoming: Time and Complexity in the Physical Sciences*. San Francisco: Freeman & Co.
- Prigogine, Ilya e Isabelle Stengers. 1984. *Order out of chaos: man’s new dialogue with nature*. New York: Bantam.
- Sayed, K. Al, Bill Hillier, A. Penn, e A. Turner. 2018. *Space Syntax Methodology*. London: Space Syntax, UCL.

- Sevtsuk, Andres. 2010. "Path and Place: A Study of Urban Geometry and Retail Activity in Cambridge and Somerville, MA". Massachusetts Institute of Technology.
- Sevtsuk, Andres. 2018a. "Analysis and Planning of Urban Networks". *Encyclopedia of Social Network Analysis and Mining* 46–58.
- Sevtsuk, Andres. 2018b. *Urban network analysis for Rhinoceros 3D - Tools for modelling pedestrian and bicycle trips in cities*. Cambridge: City Form Lab.
- Sevtsuk, Andres e Michael Mekonnen. 2012. "Urban network analysis A new toolbox for ArcGIS". *Revue internationale de géomatique* (n° 2/2012):287–305.
- Turner, Alasdair. 2001. "Angular Analysis". *Proceedings of the Third International Space Syntax Symposium* (May):30.1-30.11.