

LIGA DE ENSINO DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO UNIVERSITÁRIO DO RIO GRANDE DO NORTE
CURSO BACHARELADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

MAURICIO PEREIRA MARTINS

**APLICABILIDADE DE MAPAS INTERATIVOS USANDO LEAFLET E
GEOJSON PARA VISUALIZAÇÃO DE DADOS GEORREFERENCIADOS DE
CONFIGURAÇÃO ESPACIAL**

NATAL/RN

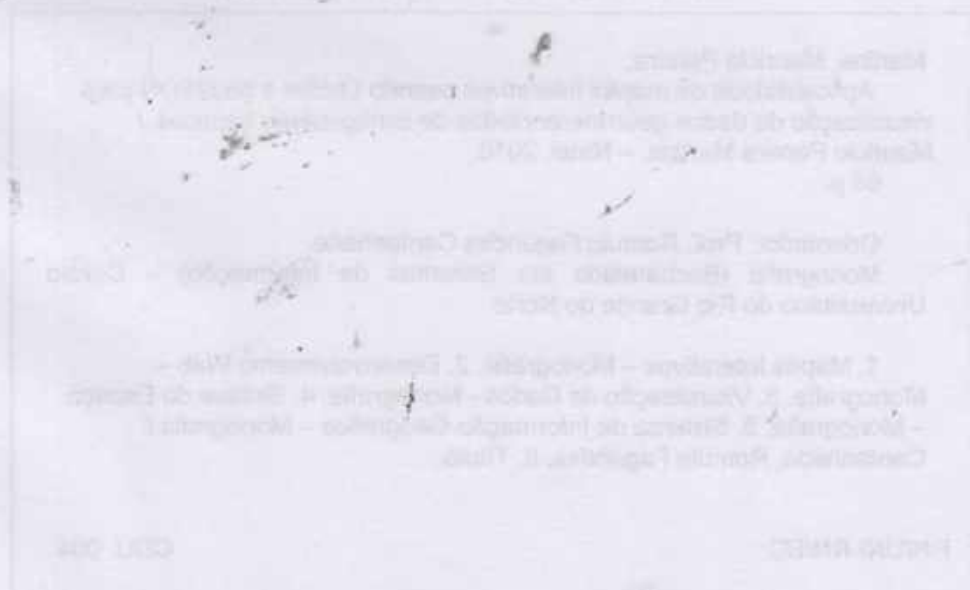
2016

MAURICIO PEREIRA MARTINS

**APLICABILIDADE DE MAPAS INTERATIVOS USANDO LEAFLET E
GEOJSON PARA VISUALIZAÇÃO DE DADOS GEORREFERENCIADOS DE
CONFIGURAÇÃO ESPACIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso do
Bacharelado em Sistemas de
Informação apresentado ao Centro
Universitário do Rio Grande do Norte
(UNI-RN) como requisito final para
obtenção do título de Bacharel em
Sistemas de Informação.

Orientador(a): Romulo Fagundes
Cantanhede



NATAL/RN

2016

APLICABILIDADE DE MAPAS INTERATIVOS USANDO LEAFLET E
GEOJSON PARA VISUALIZAÇÃO DE DADOS GEORREFERENCIADOS DE
CONFIGURAÇÃO ESPACIAL

Título da Conclusão de Curso do
Bacharelado em Sistemas de
Informação apresentado ao Centro
Universitário do Rio Grande do Norte
(UNIRN) como requisito final para
obtenção do título de Bacharel em
Sistemas de Informação.

Orientador(s): Romulo Fagundes

Catálogo na Publicação – Biblioteca do UNI-RN
Setor de Processos Técnicos

Martins, Mauricio Pereira.

Aplicabilidade de mapas interativos usando Leaflet e geoJSON para
visualização de dados georreferenciados de configuração espacial. /
Mauricio Pereira Martins. – Natal, 2016.

65 p.

Orientador: Prof. Romulo Fagundes Cantanhede.

Monografia (Bacharelado em Sistemas de Informação) – Centro
Universitário do Rio Grande do Norte.

1. Mapas Interativos – Monografia. 2. Desenvolvimento Web –
Monografia. 3. Visualização de Dados - Monografia. 4. Sintaxe do Espaço
– Monografia. 5. Sistema de Informação Geográfica – Monografia I.
Cantanhede, Romulo Fagundes. II. Título.

RN/UNI-RN/BC

CDU 004

MAURICIO PEREIRA MARTINS

**APLICABILIDADE DE MAPAS INTERATIVOS USANDO LEAFLET E
GEOJSON PARA VISUALIZAÇÃO DE DADOS GEORREFERENCIADOS DE
CONFIGURAÇÃO ESPACIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso do
Bacharelado em Sistemas de
Informação apresentado ao Centro
Universitário do Rio Grande do Norte
(UNI-RN) como requisito final para
obtenção do título de Bacharel em
Sistemas de Informação.

Aprovado ____/____/____

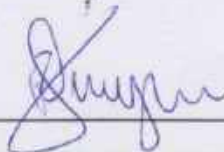
BANCA EXAMINADORA

Prof. Msc. Romulo Fagundes Cantanhede

Orientador

Prof. Msc. Israel Eduardo de Barros Filho

Membro



Prof. Msc. Patrick Reinecke de Alverga

Membro

Este trabalho é dedicado aos que colaboram na
difusão e aprimoramento do Software Livre e
aos arquitetos e urbanistas com apreço pela li-
berdade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar à Liga de Ensino do Rio Grande do Norte por institucionalizar através do conhecimento que os que pisam neste chão são co-responsáveis pelo desenvolvimento do Rio Grande do Norte.

Ao professor Romulo Fagundes Cantanhede que, além das linguagens de programação de máquinas, me revelou a linguagem de gente, orientada a pessoas.

A quem primeiro me apresentou a Teoria da Sintaxe do Espaço, a ex-aluna da Escola Doméstica Profª Edja Trigueiro.

Ao meu pai, Odair Martins, por ter me apresentado o Linux desde Kurumin e me apoiado na decisão de cursar BSI na UNI-RN.

À minha mãe, Solange Pereira Martins, por ter me ensinado a prática da polivalência e seus desdobramentos com ternura.

À Laura Martins e sua mãe Raquel de Araújo Serrão pelas horas ou dias concedidos para a realização deste e outros trabalhos acadêmicos ao longo do curso.

Ao professor Werner Farkatt Tabosa, do curso de Engenharia Civil da UNI-RN, por facilitar minha introdução ao geoprocessamento.

À professora Cristiane Clébia Barbosa, pois me assegurou mais que o suficiente do conhecimento de grafos para a realização deste trabalho.

À professora Joseane Pinheiro pela energia contagiante e motivações inspiradoras durante o curso.

Ao professor Alexandre Damasceno por ter mostrado mais de uma forma de persistência, a de dados e a das convicções de vida.

Ao professor Patrick Alverga, por abrir e organizar mentes.

Ao professor Luiz Damasceno, que me deixou confiante para algum dia eu tentar refazer esse trabalho de mapas interativos em 3D.

Aos “linuxeiros” professores Gilles Silvano, Ricardo Kléber e Romulo Fagundes por garantirem que o curso de Bacharelado em Sistemas de Informação se alinhe à melhores práticas de desenvolvimento econômico regional de viés emancipatório.

Ao Leslie Lamport, o cara que bolou o L^AT_EX, e Lauro César Araújo pela organização do abnT_EX2, maravilhosas ferramentas usadas na formatação desta monografia.

Ao professor Ytalo do Amaral pela condução da disciplina de TCC.

Aos colegas de curso.

RESUMO

O presente trabalho explora tecnologias de desenvolvimento web que proporcionem a visualização de modelos de movimento das pessoas relacionados com a organização espacial. Segundo a Teoria da Sintaxe do Espaço, esse movimento pode se previsto pela análise das conexões entre os espaços. Prever quais lugares são mais favoráveis ao movimento das pessoas pode ajudar a posicionar atividades econômicas bem como planejar o uso do solo nas cidades. As questões de representação envolvem conceitos de sistemas de informação geográfica, mapas interativos e visualização de dados. O resultado explora as aplicabilidades da exibição de mapas com LeafLet e descrição de geometrias através de GeoJSON com foco na representação de sintaxe espacial para mapas interativos. O estudo identifica a necessidade de criar uma estratégia de visualização mais seletiva e conclui que a inclusão de uma simples camada de sintaxe espacial em outros sistemas existentes pode ser mais promissora do que conceber uma única aplicação de uso geral.

Palavras-chave: mapas interativos. desenvolvimento web. visualização de dados. sintaxe do espaço. Sistema de Informação Geográfica (SIG).

ABSTRACT

The present work explores web development technologies that provide the visualization of people's movement models related with the space organization. According to Space Syntax Theory, this movement is predictable by analysing the connections between the spaces. To forecast which places are more favorable to people's movement can help positioning economic activities as well as to plan the land use in the cities. The representation issues involves geographic information system concepts, interactive maps and data visualization. The result explores the possibilities of displaying maps with Leaflet and describing geometries, with GeoJSON focusing on spatial syntax representation for interactive maps. The study identifies the need to create a more selective visualization strategy and concludes that adding a simple layer of spatial syntax to other existing systems may be more promising than designing a single multipurpose application.

Keywords: interactive maps. web development. data visualization. space syntax. Geographic Information System (GIS).

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Representação axial e de segmentos.	21
Figura 2 – As pessoas preferem os caminhos mais simples.	22
Figura 3 – “Movimento-para”. Idas, vindas, de todas as origens para todos os destinos.	23
Figura 4 – Mapa de <i>Integração</i>	23
Figura 5 – “Movimento-através”. Alguns trechos de caminhos que são passados mais vezes.	24
Figura 6 – “Movimento-através”. Sobreposição de caminhos mais curtos tem maior potencial de escolha pelas pessoas.	24
Figura 7 – “Movimento-através”, mapa com a medida <i>Choice</i>	24
Figura 8 – “Movimento para” em Chester destacando o centro comercial.	25
Figura 9 – “Movimento através” em Chester evidenciando rotas propícias ao comércio.	25
Figura 10 – Mapa axial com intervenções propostas e sobreposição de camada com equipamentos turísticos-culturais	26
Figura 11 – Modelagem axial do cenário da época, em 2007, e da simulação com a então futura ponte.	27
Figura 12 – Precursor de SIG em mapa feito em 1854 por John Snow, casos de cólera em Londres.	28
Figura 13 – Parâmetros espaciais e não espaciais.	29
Figura 14 – Representação do espaço em SIG usual.	31
Figura 15 – Abstração incluindo sintaxe do espaço em SIG, proposta por Jiang e Claramunt (1999):	32
Figura 16 – Evolução dos sistemas de informação geográfica.	33
Figura 17 – Tela do QGIS.	35
Figura 18 – QGIS com um dos painéis do Space Syntax Toolkit (SST) ativado.	35
Figura 19 – Tela do DepthmapXnet	36
Figura 20 – Painel <i>Graph analysis</i>	37
Figura 21 – Painel <i>Attributes explorer</i>	37
Figura 22 – Sistema de Coordenadas Geográficas e sua projeção em fusos (casca de laranja).	38
Figura 23 – Sistema de Coordenadas Geográficas.	38
Figura 24 – Tipos de projeções cartográficas	39
Figura 25 – SRC Universal Transverso de Mercator (UTM).	39
Figura 26 – Marcador	43
Figura 27 – Exemplo de uma reta em notação GeoGSON.	43
Figura 28 – Visualização de mapa usando Leaflet.	47
Figura 29 – Aplicando Leaflet na página web.	48
Figura 30 – Visualização de mapa usando Leaflet.	49

Figura 31 – Criação de marcadores	50
Figura 32 – Marcadores Leaflet implementado em Python.	51
Figura 33 – Estrutura de dados GeoJSON da representação axial, resumida.	52
Figura 34 – Estrutura de dados GeoJSON da representação axial, expandida	52
Figura 35 – Função para inserção dados GeoJSON em mapa interativo usando Folium.	53
Figura 36 – Adição da camada de representação axial anotada em GeoJSON.	54
Figura 37 – Mapa de segmentos exibindo medida <i>Choice</i> (CH), produzido pelo SST.	54
Figura 38 – Mapa de segmentos, <i>Choice</i> normalizada (NACH), SST.	54
Figura 39 – Tela de exportação da visualização do QGIS para web.	55
Figura 40 – Visualização exportada do QGIS.	55
Figura 41 – Atributos de sintaxe do espaço em um objeto geométrico em GeoJSON	56
Figura 42 – Mapa de segmentos com a medida <i>choice</i> normalizada.	57
Figura 43 – Encontrando localização da UNI-RN no OpenStreetMap.	58
Figura 44 – Exemplo de resultado XML gerado em consulta em Nominatim.	58
Figura 45 – Exemplo de resultado JSON gerado em consulta em Nominatim.	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAD	Computer Aided Design
CRS (SRC)	Coordinate Reference Systems
CSS	Cascading Style Sheets
CSV	Comma-separated values
DPI/INPE	Divisão de Processamento de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
EPSG	European Petroleum Survey Group
ESRI	Environmental Systems Research Institute
FOSS4GIS	Free and Open Source Software for GIS
GDAL	Geospatial Data Abstraction Library
GIS (SIG)	Geographic Information System
GML	Geography Markup Language
GPL	General Public License
GPS	Sistemas de Posicionamento Global
GRS	Geodetic Reference System
GRASS GIS	Geographic Resources Analysis Support System
HTML	HyperText Markup Language
IANA	Internet Assigned Number Authority
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia Estatística
IETF	Internet Engineering Task Force
JPEG	Joint Photographics Experts Group
JSON	JavaScript Object Notation
MUsA/UFRN	Base de Pesquisa em Morfologia e Usos da Arquitetura da UFRN
OGC	Open Geospatial Consortium

ODbL	Open Database License
OGR	OpenGIS Simple Features Reference Implementation
OSGeo	Open Source Geospatial Foundation
PNG	Portable Network Graphics
RFC	Request for comments
SDTS	Spatial Data Transfer Standard
SIG (GIS)	Sistema de Informações Geográficas
SRC (CRS)	Sistemas de Referência de Coordenadas
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UCL	University College London
UNI-RN	Centro Universitário do Rio Grande do Norte
URL	Uniform Resource Locator
URN	Uniform Resource Name
UTM	Universal Transverso de Mercator
WCS	Web Coverage Service
WFS	Web Feature Service
WFS-T	transactional Web Feature Service
WMTS	Web Map Tile Service
WMS	Web Map Server
WGS	World Geodetic System
WGS-84	World Geodetic System 1984
XML	Extensible Markup Language

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	Objetivos	19
1.1.1	Geral	19
1.1.2	Específicos	19
1.2	Justificativa	20
2	REFERENCIAL TEÓRICO E EXPLORAÇÃO DE TECNOLOGIAS	21
2.1	Configuração espacial, Sintaxe do Espaço	21
2.1.1	Aplicações da Sintaxe do Espaço	25
2.2	Sistema de Informação Geográfica (SIG)	28
2.3	Representação computacional da sintaxe do espaço em um SIG	30
2.4	Evolução dos Sistemas de Informação Geográfica	33
2.4.1	QGIS	34
2.4.2	Space Syntax Toolkit	35
2.5	Dados georreferenciados	37
2.5.1	Latitude e Longitude	37
2.5.2	Sistemas de Coordenadas Geográficas	38
2.5.3	Sistemas de coordenadas projetadas	38
2.5.4	Precisão, elipsoide de referência e denominação	40
2.5.5	Nomes padronizados pela Open Geospatial Consortium (OGC)	41
2.6	OpenStreetMap	41
2.7	Leaflet	42
2.7.1	Folium-Python	43
2.8	GeoJSON	43
3	METODOLOGIA	45
4	UM MAPA INTERATIVO	47
4.1	Visualização de mapa na web usando Leaflet-JavaScript	47
4.1.1	Aplicabilidade do mapa de fundo	49
4.1.2	Gerando visualização de mapas com Leaflet usando Python	49
4.1.2.1	Aplicabilidade dos marcadores	50
4.1.2.2	Entradas de dados em grande quantidade ao invés de posicionamento de marcadores um a um:	51
4.1.3	Inserindo camada de representação axial de um arquivo GeoJSON:	52

4.2	Simulando a implantação da escala de cores para demonstrar a aplicabilidade do mapa interativo	54
4.2.1	Exemplo de aplicabilidade da análise de mapa interativo de configuração espacial	56
4.3	Como as coordenadas da UNI-RN foram encontradas	57
4.3.1	Uso de coordenadas obtidas com GPS	59
5	CONCLUSÃO	61

REFERÊNCIAS	63
------------------------------	----

1 INTRODUÇÃO

Se todos os caminhos levassem a Roma, não importam quais, que trechos desses caminhos ofereceriam os locais mais propícios para um comerciante estabelecer, por exemplo, uma bodega? Se a resposta for algo como *nos trechos dos percursos mais favoráveis à circulação de pessoas*, então consegue ser obtida com auxílio de computadores e mapas.

O mapa traz desenhos que se tornam informações, é um artefato útil para quem não conhece os passos dessas estradas e nem as pedras do caminho, ou quer evitar trajetos que dão em nada. Se quer saber onde está, pergunte ou olhe no mapa.

O antigo ditado dos caminhos de Roma insinua a formação da redes de estradas feitas em épocas de império e remetem a espaços que comunicam pessoas e coisas de uma lado a outro. Os mapas viários das cidades se parecem com tecidos de fios espaçados entremeados como numa renda de bilro, todos os caminhos se conectam. O mapa convencional poucas vezes basta para inferir os trechos mais favoráveis ao movimento de pessoas e presumir locais bons para novas bodegas, por exemplo.

Como quem procura um defeito no crochê, pode-se percorrer com os dedos no mapa todos os caminhos e trajetos possíveis para ver quais trechos ficaram com o papel mais gasto. Ali nas partes mais arranhadas pode estar a resposta. Para tarefas tão repetitivas assim, o computador é ótimo. Eis o cenário ideal, insira o mapa e a máquina resolve.

Mas se o computador responder em forma de códigos que só máquinas entendem, gastar os dedos arranhando papel de mapas consegue ser mais esclarecedor e informativo. Informação complicada tem a utilidade comprometida e uma visualização de dados bem elaborada, intuitiva, deve permitir que o computador revele de forma humana as medidas e relações espaciais que a máquina é capaz de guardar e manipular. Uma representação clara pode revelar os segredos que o bodegueiro experiente sabe de cor.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

O objetivo desta pesquisa é reconhecer tecnologias de desenvolvimento web que proporcionem a visualização de modelos que relacionam movimento de pessoas com a estrutura de caminhos no espaço.

1.1.2 Específicos

- Identificar tecnologias existentes utilizadas na manipulação de dados espaciais;
- Compreender como dados de representação espacial podem ser descritas com GeoJSON e visualizadas com Leaflet;

- Demonstrar como inserir uma camada de dados em um mapa interativo com seus atributos claramente visualizáveis e compreensíveis.

1.2 JUSTIFICATIVA

A visualização a respeito de como os caminhos se articulam pode ser explorada como fator de decisão relativa ao posicionamento ou planejamento de atividades humanas no espaço, como o estabelecimento de um ponto comercial, intervenções arquitetônicas em praças e vias públicas, estudos sobre valor do solo urbano, dentre outras que envolvam a relação entre movimento de pessoas e a organização do espaço. O aprimoramento de sistemas de informação que lidam com dados geográficos ou espaciais podem facilitar tomadas tais tipos de decisão na sociedade.

A inclusão de camadas para visualização de configuração do espaço na web acompanham tendências recentes de disponibilização de dados em mapas interativos, revigorando as novas gerações dos Sistemas de Informação Geográfica.

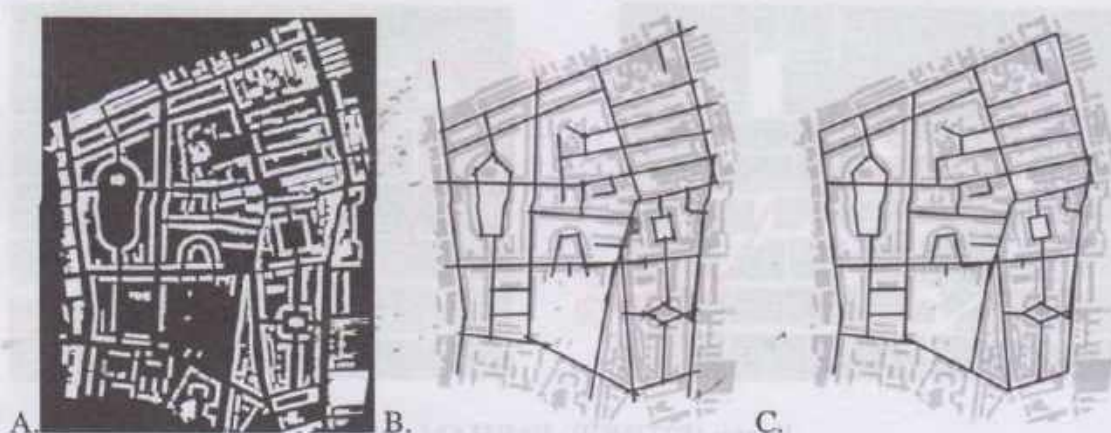
2 REFERENCIAL TEÓRICO E EXPLORAÇÃO DE TECNOLOGIAS

2.1 CONFIGURAÇÃO ESPACIAL, SINTAXE DO ESPAÇO

A superfície da terra onde os humanos vivem é ocupada por elementos que interferem no movimento de pessoas, paredes, muros, cercas, rochas, montanhas e precipícios bloqueiam ou dificultam acessos, os vãos entre essas barreiras são espaços que conferem diferentes possibilidades de caminhadas e permanências de pessoas.

A abordagem da Sintaxe do Espaço relaciona a organização entre os espaços com fenômenos sociais, econômicos e ambientais, incluindo padrões de movimento e interação, densidade, uso e valor do solo, crescimento urbano e diferenciação social, segurança e distribuição da criminalidade. A Sintaxe do Espaço é estudada desde a década de 70, Bill Hillier e Julienne Hanson foram seus pioneiros (SPACE SYNTAX LABORATORY, 2016). Tem origem nesses estudos a *teoria da economia do movimento*, que propõe que a organização espacial dos assentamentos humanos gera um padrão de distribuição de fluxos de pessoas, dos mais movimentados aos mais calmos, que influenciam as escolhas de uso do solo (HILLIER, 1996).

Figura 1 – Representação axial e de segmentos.



Fonte: (SPACE SYNTAX LABORATORY; SPACE SYNTAX LIMITED, 2016).

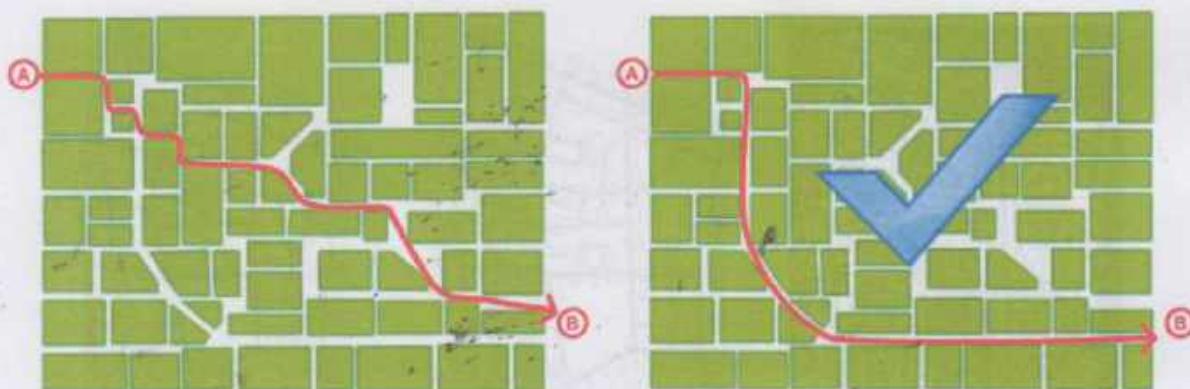
O potencial de movimento pode ser representado por *linhas axiais*, definida como a linha reta mais longa que atravessa a máxima extensão de um espaço (HILLIER; HANSON, 1984, pp. 17, 91). As axiais podem ser divididas em segmentos à cada intersecção entre retas. As representações de configuração espacial são baseadas em linhas axiais ou em segmentos destas linhas. A Figura 1 exemplifica a representação axial e de segmentos: a base é a figura fundo do bairro de Barnsbury, Londres, Reino Unido, em (A); a representação Axial, na qual eixos são as maiores linhas que cruzam os espaços, aparece em (B); e a representação segmento-axial, na qual os segmentos começam e terminam entre cada cruzamento de linha axial, aparece em (C). Uma linha axial (B) pode conter vários segmentos (C). A pequena diferença visual entre (B) e

(C) é percebida nas pequenas sobras de linhas nas pontas dos cruzamentos dos eixos em (B), que não têm em (C).

A análise das linhas axiais ou de seus segmentos permitem a medição de dois tipos de movimento: “movimento-para” (*to-movement*), e “movimento através” (*through-movement*), como explicado adiante.

Pessoas vão de um lugar “para” outro, em caminhos com mais ou menos quebras de percurso. Cada uma dessas mudanças de direção nos percursos interfere no acesso entre origem e destino. Se é possível ir de um lugar a outro sem mudar de direção no percurso, dizemos que a *distância topológica* é a mais curta. *Distância topológica*, no caso, é medida pela quantidade de mudanças de direção no caminho de um ponto a outro. Explicando com exemplos do cotidiano, a ideia aqui é expressar o quão “fácil” é explicar para um viajante perdido como chegar a um lugar pelas vias principais, ao invés de explicar um caminho complicado mesmo que fosse mais curto em distância métrica: “siga em frente e vire no primeiro semáforo à esquerda” traduz uma distância topológica mais curta que “vire à esquerda, depois a segunda direita, em seguida vire a esquerda, e depois...” até o viajante não conseguir se lembrar. Estudos demonstram que pessoas preferem o caminho mais simples (STONOR; PARHAM, 2011) (Figura 2).

Figura 2 – As pessoas preferem os caminhos mais simples.

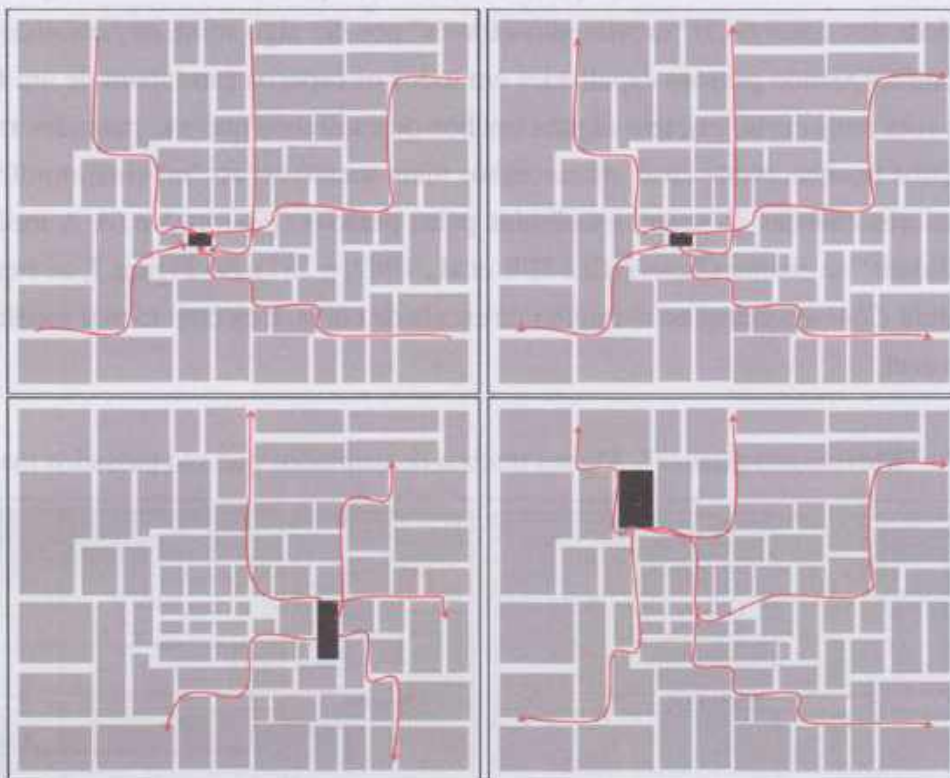


Fonte: (STONOR; PARHAM, 2011).

Enfim, aqueles caminhos explicados com “siga por ali, chegando em tal lugar pergunte novamente, para não se perder” consequentemente têm distância topológica mais alta e são destinos menos acessíveis ao “movimento-para”.

A Figura 3 apresenta o “movimento-para”: a cada conjunto de origem e destinos podemos calcular uma média de quantas mudanças na direção (passos topológicos) são necessárias a partir de cada origem. Se sobrepormos em um mapa este destino junto com todos os outros destinos, é possível medir que lugares na malha urbana tem destinos mais acessíveis ou menos acessíveis ao “movimento-para”, medida denominada *integração* (HILLIER; HANSON, 1984). Dizemos que os lugares com destinos mais acessíveis ao “movimento-para” são os mais *integrados* à malha de caminhos como um todo.

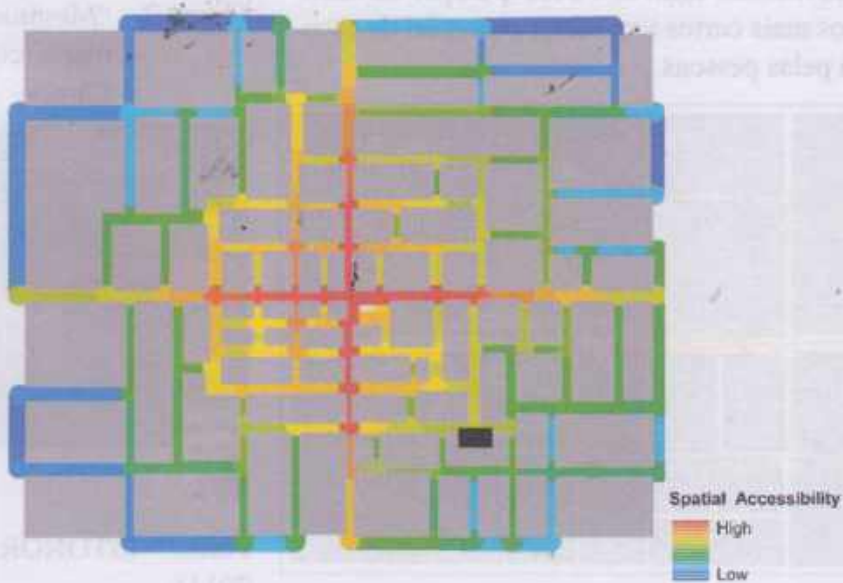
Figura 3 – “Movimento-para”. Idas, vindas, de todas as origens para todos os destinos.



Fonte: (STONOR; PARHAM, 2011).

Na Figura 4, os espaços mais integrados tendem ao vermelho na escala de cores, e os menos integrados tendem ao azul.

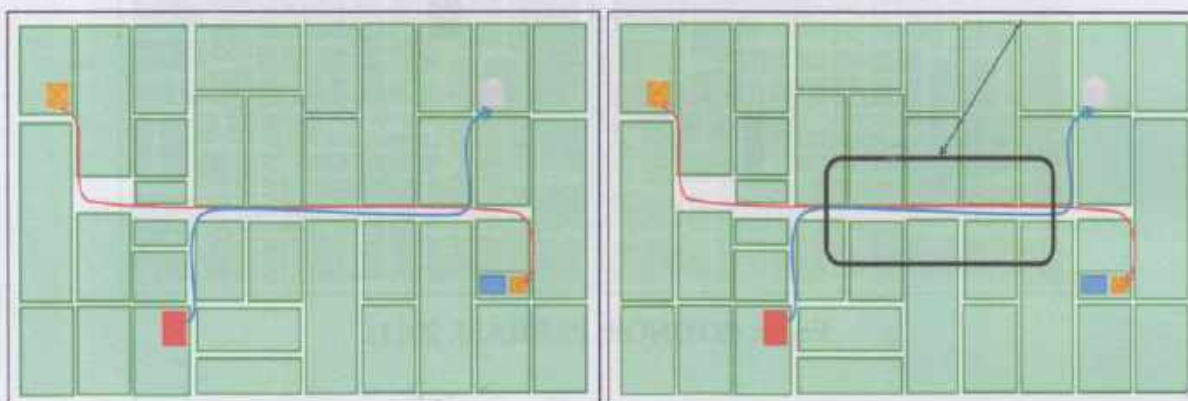
Figura 4 – Mapa de Integração.



Fonte: (STONOR; PARHAM, 2011).

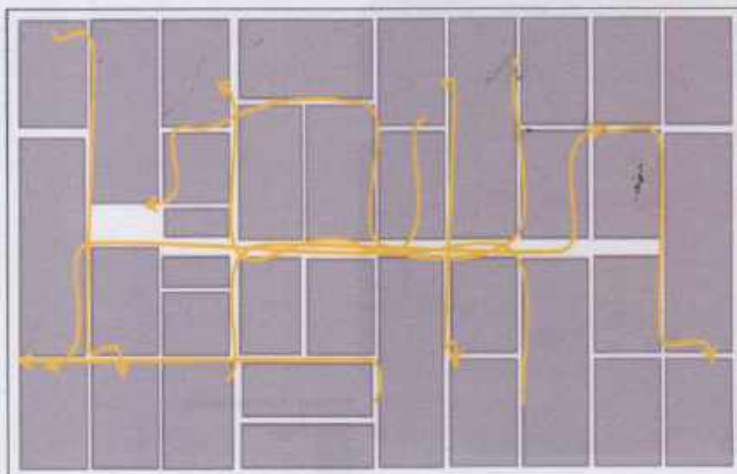
O “movimento-através” é um pouco diferente. Enquanto o “movimento-para” revela a acessibilidade dos destinos, o “movimento-através” nos diz algo sobre os *caminhos* entre um espaço e outro. Quando pessoas espalhadas em todos os espaços caminham de um lugar para outro pela rota mais curta, existem alguns trechos de caminhos que são passados mais vezes que em outros trechos. Neste caso, os caminhos mais acessíveis ao “movimento-através” são os com maiores chances de serem escolhidos pelas pessoas (Figuras 5 e 6). A medida desta “escolhabilidade” se chama *Choice* (HILLIER et al., 1987, p.237). Na Figura 7, os espaços com maior medida *Choice* tendem ao vermelho na escala de cores, e os com menor medida *Choice* tendem ao azul.

Figura 5 – “Movimento-através”. Alguns trechos de caminhos que são passados mais vezes.



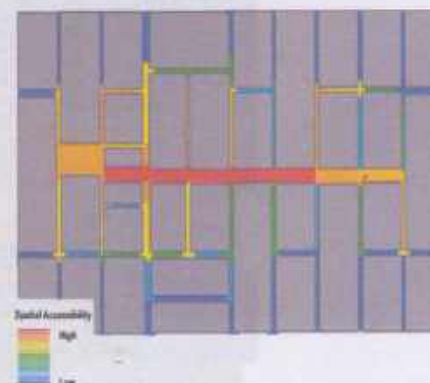
Fonte: (STONOR; PARHAM, 2011).

Figura 6 – “Movimento-através”. Sobreposição de caminhos mais curtos tem maior potencial de escolha pelas pessoas.



Fonte: (STONOR; PARHAM, 2011).

Figura 7 – “Movimento-através”, mapa com a medida *Choice*.



Fonte: (STONOR; PARHAM, 2011).

2.1.1 Aplicações da Sintaxe do Espaço

Stonor e Parham (2011) indicam um exemplo de aplicação da medida *Integração* (“movimento-para”) para encontrar lugares propícios para centros comerciais e um exemplo de aplicação da medida *Choice* para encontrar rotas mais favoráveis ao comércio em um estudo sobre a cidade de Chester, no Reino Unido.

Na Figura 8, as linhas mais vermelhas são as mais integradas (“movimento-para”) e coincidem com o centro comercial da cidade (STONOR; PARHAM, 2011). Na Figura 9, as linhas mais vermelhas são as com maior medida de *Choice* (“movimento através”) e destacam as rotas que alimentam o principal centro comercial da cidade (STONOR; PARHAM, 2011), sendo que elas próprias dão indícios de centros locais ao longo dos bairros.

Figura 8 – “Movimento para” em Chester destacando o centro comercial.



Fonte: (STONOR; PARHAM, 2011).

Figura 9 – “Movimento através” em Chester evidenciando rotas propícias ao comércio.



Fonte: (STONOR; PARHAM, 2011).

O exemplo de como a organização do espaço contribui no prognóstico do movimento de pessoas é usado tanto para estudar a cidade existente como para planejar novas possibilidades de dispor os espaços. O estudo da sintaxe do espaço auxilia desfazer alguns mitos presentes no censo comum ou na cabeça de projetistas novatos. Saboya (2010) cita o caso frequente, no curso onde leciona, de alunos de arquitetura que durante o processo de planejamento de um bairro posicionam áreas de comércio com a expectativa de que tais atividades econômicas “atraíssem” fluxos de pessoas e tornassem o local mais “interessante”. O professor apresenta aos alunos evidências acumuladas há cerca de 30 anos pela teoria da sintaxe do espaço de que é o contrário, as pessoas é que atraem o comércio, e reforça:

“Não adianta propor comércio para trazer movimento. É preciso criar condições para o movimento, para trazer o comércio” (SABOYA, 2010).

Indo nessa direção, relacionar atividade econômica com movimento de pessoas ampara projetos de preservação de edifícios com valor histórico. A pesquisa de (TRIGUEIRO et al., 2009) demarcou a localização de prédios antigos que poderiam ser recuperados no bairro da Ribeira, em Natal, uma área portuária com bastante edificações vazias ou abandonadas. Em

seguida identificou, usando a sintaxe do espaço, quais as vias com maior ou menor potencial de movimento com a finalidade de propor uma intervenção que favorecesse a vinda de pessoas, incentivando assim o turismo histórico e cultural na Ribeira. A ideia é que o prédio reformado tem mais chance de se tornar um atrativo se contar com a facilitação do acesso das pessoas até ele. Na figura 10, as medidas que indicam o potencial de movimento de pessoas e automóveis obtidas pela análise da sintaxe do espaço (esquerda) são justapostas com a localização de equipamentos importantes para atividades turísticas e culturais (direita).

Figura 10 – Mapa axial com intervenções propostas e sobreposição de camada com equipamentos turísticos-culturais

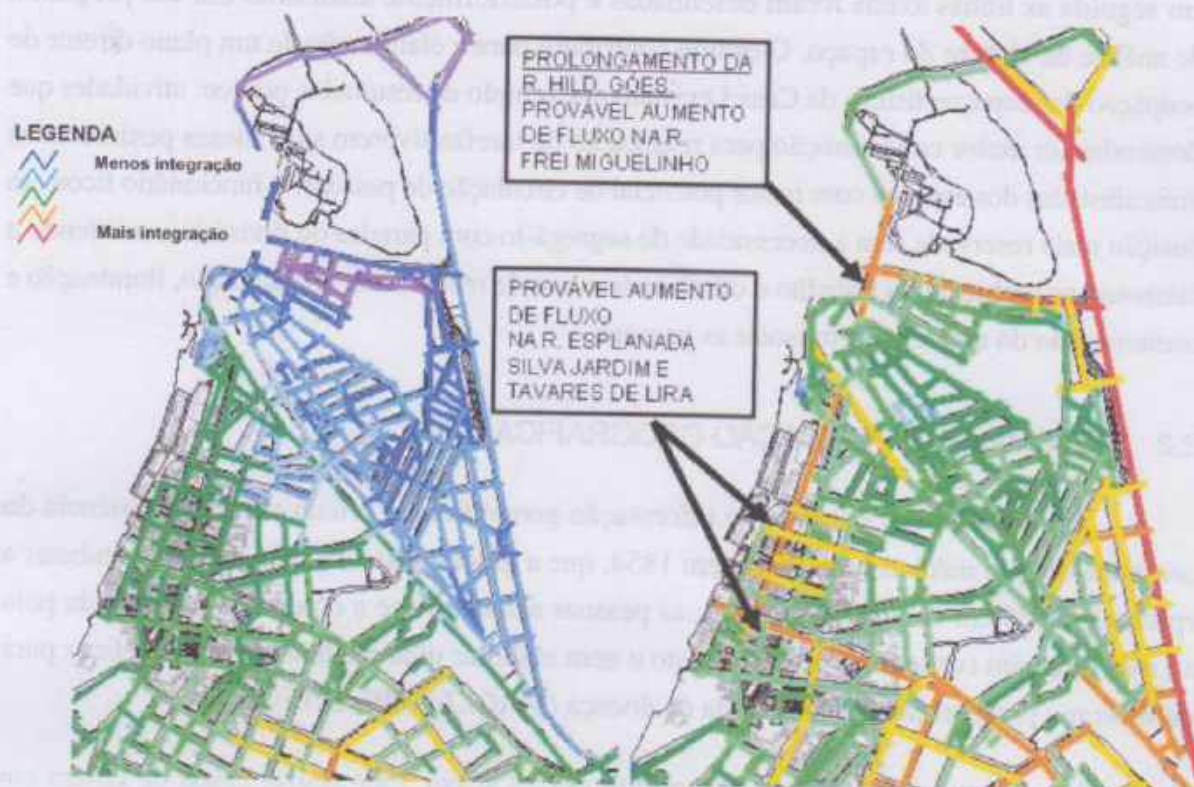


Fonte: (TRIGUEIRO et al., 2009).

Outras estudos compararam o potencial de movimento humano, também no bairro da Ribeira, antes e depois da construção de uma ponte sobre o principal rio que corta a cidade, o Potengi, a Newton Navarro, conhecida como ponte Forte-Redinha. Na época a ponte não existia, foi um trabalho de predição. As medidas anunciavam um aumento nas medidas de “movimento-para” e “movimento-atraves” que favoreciam áreas entre a Ribeira e alguns bairros antigos de alta renda, como Petrópolis. A figura 11 mostra a diferença na medida de integração (“movimento-para”) na situação em 2007, época da pesquisa, e a ponte na situação prevista simulada.

Os dados dessa pesquisa sobre a influência da ponte na Ribeira foram extraídos do Base de Pesquisa em Morfologia e Usos da Arquitetura (MUsA) da Universidade Federal do Rio

Figura 11 – Modelagem axial do cenário da época, em 2007, e da simulação com a então futura ponte.



Fonte: (FERRAZ, 2008).

Grande do Norte (UFRN), que naquele período conseguiu demonstrar que, embora o discurso corrente era de que nova ligação beneficiaria a população do outro lado do rio, a Zona Norte, a nova configuração satisfizes prioritariamente a especulação imobiliária em eixos da região central da cidade entre a nova ponte e a Ribeira (TRIGUEIRO; MEDEIROS, 2007). Hoje, passados quase uma década, o transeunte natalense pode constatar a proliferação de prédios novos entre a Ribeira e Petrópolis, enquanto habitantes da Zona Norte continuam com grandes dificuldades de acesso, mesmo com a ponte nova.

Não se trata de “futuurologia”, a sintaxe do espaço sistematiza algo semelhante ao que já intuía alguns experientes comerciantes, aqueles que já tiverem vários estabelecimentos bem sucedidos abertos para rua, que é a capacidade de prever se um ponto é bom ou ruim para os negócios observando como os espaços do entorno ou da cidade são organizados. Um bodegueiro com anos de conhecimento acumulado consegue apontar um lugar para uma futura bodega bem sucedida mesmo em bairros novos, com os lotes ainda à venda ou em planta. A aplicação da teoria da sintaxe do espaço também, utilizando-se de recursos computacionais.

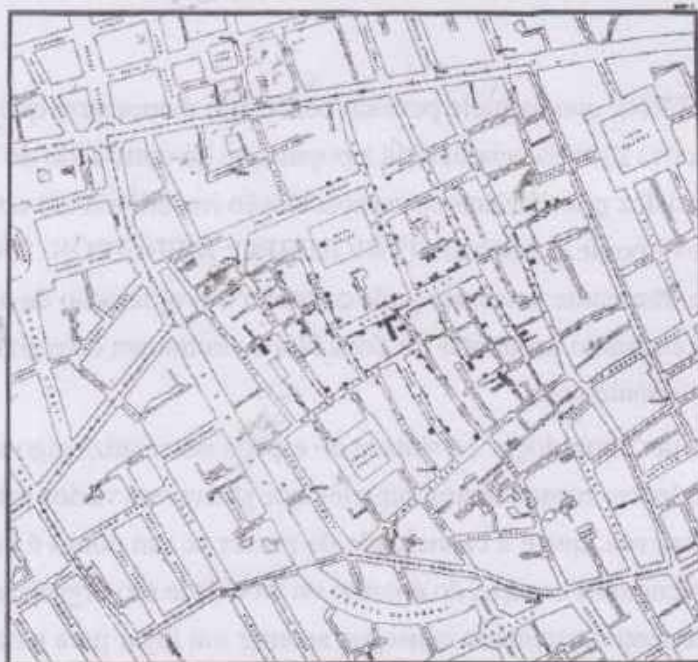
Além de cidades e bairros, a análise da sintaxe do espaço também se presta para ambientes internos de edifícios. Medeiros (2010, p. 120) faz uso de mapas axiais para tornar claramente visível e matematicamente mensurável fatores espaciais que interferem na movimentação de pessoas dentro do prédio da Câmara dos Deputados. A planta do edifício contendo ambientes,

corredores e mobiliário foram georreferenciados em um Sistema de Informação Geográfica, em seguida as linhas axiais foram desenhadas e posteriormente analisadas em um programa de análise da sintaxe do espaço. O estudo contribuiu para a elaboração de um plano diretor de ocupação dos espaços físicos da Casa Legislativa. Exemplo de resultados prático: atividades que demandavam maior concentração para realização de tarefas tiveram suas mesas posicionadas mais afastadas dos espaços com maior potencial de circulação de pessoas, o funcionário ficou em posição mais reservada sem a necessidade de segregá-lo com paredes ou divisórias, mantendo a harmonia no ambiente do trabalho e otimizando o uso de recursos de climatização, iluminação e comunicação do ambiente sem isolar as pessoas.

2.2 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)

O precursor dos sistemas de informação geográfica foi criado antes da existência do computador pelo médico John Snow, em 1854, que a graças a isto descobriu como combater a epidemia de cólera em Londres. Antes, as pessoas achavam que a cólera era transmitida pelo ar, mas ninguém conseguia comprovar isto e nem elaborar uma medida preventiva eficaz para minimizar a proliferação descontrolada da doença (MACKENZIE, 2016).

Figura 12 – Precursor de SIG em mapa feito em 1854 por John Snow, casos de cólera em Londres.



Fonte: (SNOW, 1855)

Snow marcou no mapa de Londres os locais de ocorrência de pacientes com cólera. O resultado é que o número de infectados se concentrava mais em alguns lugares que em outros. Os lugares mais infectados coincidiam com as proximidades da bomba de água pública na rua Broad

Street. Foi descoberto que nas proximidades da bomba havia uma fossa vazando. A suspeita de que a cólera era transmitida pela água contaminada começa a tomar corpo, mesmo com análises de água não conclusivas feitas com os microscópios e conhecimentos da época: a relação da distribuição da cólera com a localização da distribuição de água era forte (MACKENZIE, 2016). O mapa criado por Snow é apresentado na Figura 12. O espaço se revelou como informação importante, os métodos de relacionar dados com espaço vêm se aperfeiçoando até os dias de hoje.

Comumente, um Sistema de Informação Geográfica (SIG/GIS) reúne dados com parâmetros espaciais, não espaciais e temporais (LAURINI; THOMPSON, 1992). Os parâmetros espaciais informam a localização de uma entidade e sua forma geométrica. Os parâmetros não espaciais contemplam atributos que descrevem a entidade. Os parâmetros temporais informam variações sobre o tempo ou período de validade dos dados (LAURINI; THOMPSON, 1992; BORGES, 2002). Este trabalho prioriza os parâmetros espaciais, seguidos pela relação entre estes e dados não espaciais. Os dados temporais serão pouco discutidos aqui.

Figura 13 – Parâmetros espaciais e não espaciais.



Fonte: (OSM, 2016)

A Figura 13 ilustra esses parâmetros tomando como exemplo um mapa georreferenciado da implantação do Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN). Os parâmetros espaciais utilizados são: *polígonos* para representar os blocos edificados, áreas vegetadas, piscinas, limites do lote (ou área de implantação); *linhas*, para representar ruas e caminhos; *pontos*, para localizar a biblioteca e posicionamento das letras com a denominação dos lugares (etiquetas). São parâmetros não espaciais, as denominações dos lugares e demais atributos relacionados às entidades, como identificador, nome de quem elaborou a entidade, etiquetas de classifica-

ção. Nesse exemplo, são parâmetros temporais, a data da última modificação e o histórico de modificações no mapa.

A representação espacial básica por meio de pontos, linhas e polígonos é denominada forma *vetorial*. Outra opção de representação espacial é a *matricial*, que se faz por matrizes com células de tamanhos regulares (*raster*), que podem ter diferentes formatos, como retangulares (*pixel*), triangulares ou hexagonais (BORGES, 2002). A forma de matrizes de pixel é comumente utilizada para imagens de satélite.

2.3 REPRESENTAÇÃO COMPUTACIONAL DA SINTAXE DO ESPAÇO EM UM SIG

A descrição da realidade envolve a seleção de informações pelas pessoas do modo mais favorável para tomar alguma decisão ou compreender algum problema. Esse é o processo da abstração. “Abstração é a habilidade de esconder detalhes e concentrar-se no geral” (DAMASCENO; ROCHA Neto, 2013, p. 6).

Existem diferentes níveis de abstração, o mundo real, o descritivo, o conceitual, o operacional e o interno, para citar os organizados didaticamente na disciplina de Banco de Dados (DAMASCENO; ROCHA Neto, 2013, p. 6). Por enquanto, abordaremos os três primeiros, com ênfase no segundo.

O nível do *mundo real* é a realidade das coisas, dos seres e do ambiente tal como são ou estão, sem estar representada.

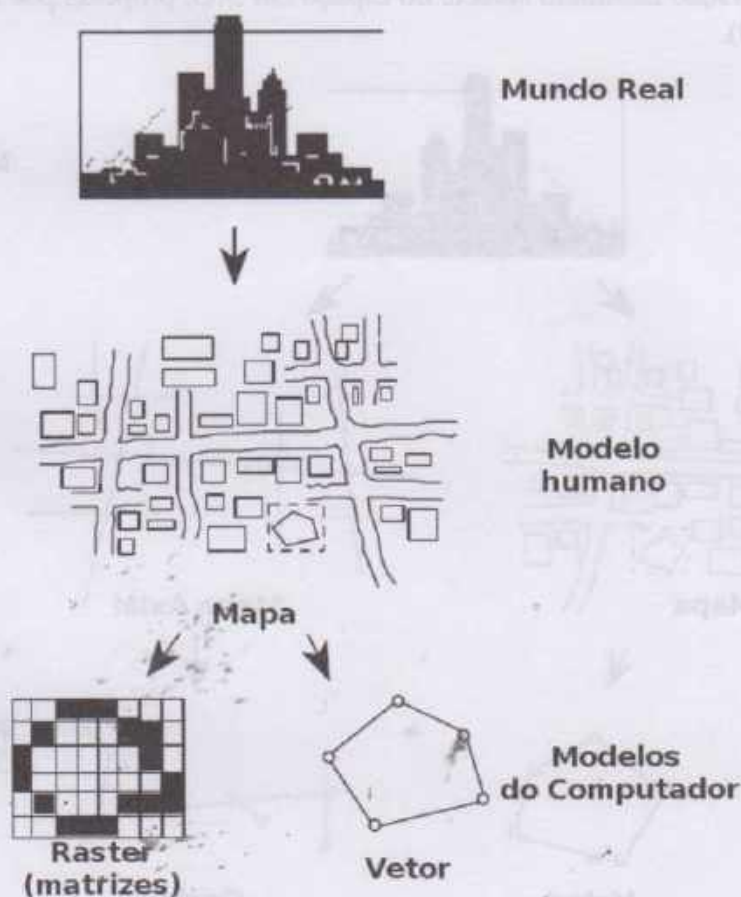
O segundo nível de abstração é o *descritivo*, no qual características da realidade são representadas através de uma linguagem natural, como a língua portuguesa. Ampliando a definição para caso da representação de espaços, o nível descritivo pode incluir o desenho de mapas como uma forma de linguagem humana gráfica, que auxilia na descrição do posicionamento das coisas, seres e objetos no mundo, minimizando ambiguidades quando usados junto com a linguagem natural.

A título de exemplo, note como existem diferentes maneiras de descrever a localização do espaço do campus da UNI-RN: “no bairro do Tirol”; “na rua do posto de gasolina tal da avenida Hermes da Fonseca”; “entre o sopé de dunas vegetadas e áreas ocupadas com edificações”; “atrás da Escola Doméstica”; “o átrio e a biblioteca estão interconectados por três espaços intermediários entre eles”. A descrição se ajusta a propósitos ou necessidades. A primeira pode ser mais útil para um levantamento sobre quantidade de instituições de ensino por bairro, enquanto a segunda para ensinar alguém a chegar de carro no campus, a terceira para o planejamento urbano, a quarta para situar alguém em relação a um lugar que já conhece e a última para estudos de análise da sintaxe do espaço (seção 2.1).

Cada uma dessas expressões pode ser acompanhada de um mapa para facilitar a compreensão humana. Mas para serem “entendidas” por um computador precisam ser posteriormente transformadas em dados manipuláveis por máquina. Antes de chegar no terceiro nível de abstração, o *conceitual*, o de como as informações são estruturadas e manipuladas, é importante modelar os mapas de modo serem utilizáveis pelo computador.

Um mapa que expressa a “quantidade de instituições por bairro” pode ser interpretada como vetores do tipo ponto (instituições) sobre vetores de polígonos (bairros). “Área vegetada” consegue ser traduzida como vários pixels contíguos na cor verde em uma matriz de pixels (*raster*). Vetores e rasters atendem à representação computacional de mapas em Sistemas de Informação Geográfica usuais, os que ainda não contemplam suporte para análises da sintaxe do espaço, cujos níveis de abstração espacial são ilustrados na Figura 14.

Figura 14 – Representação do espaço em SIG usual.



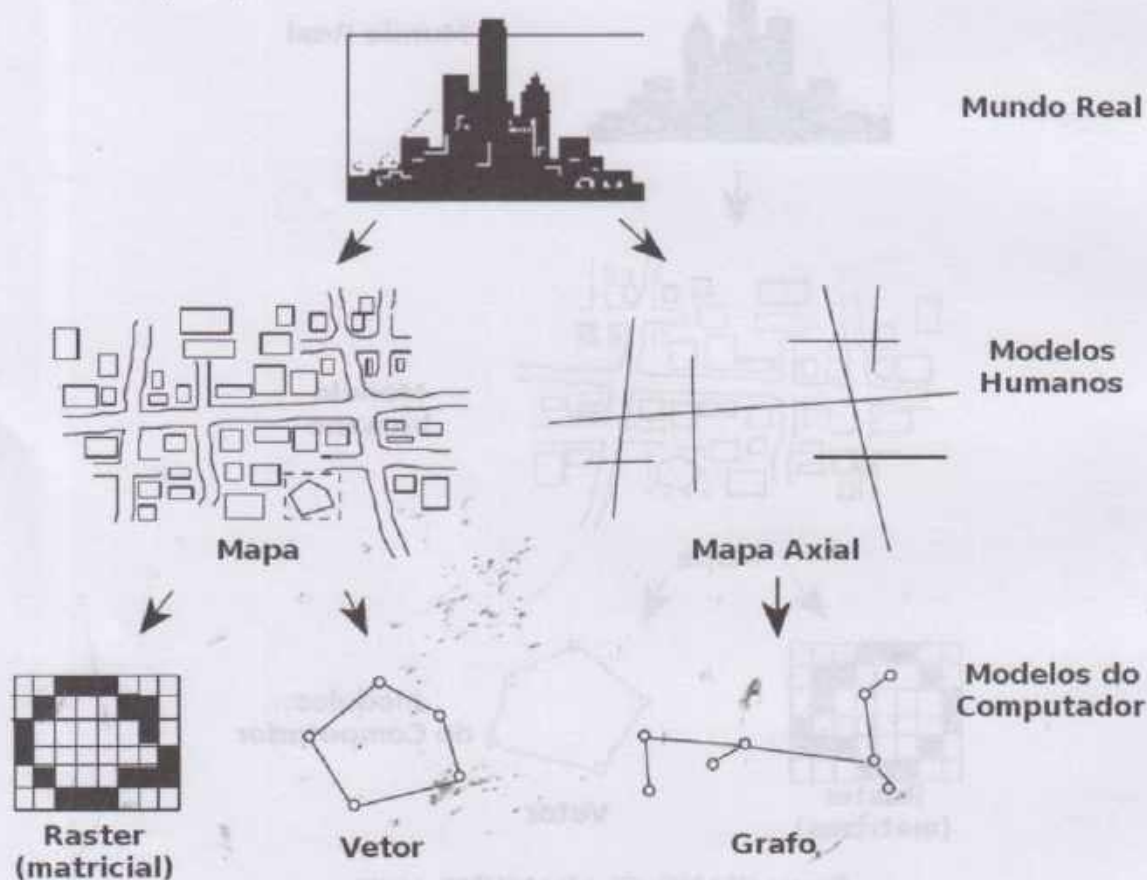
Fonte: (JIANG; CLARAMUNT, 1999).

Jiang e Claramunt (1999) examinam a sintaxe do espaço em termos da capacidade de representação e análise nos modelos humano e computacionais do espaço em Sistemas de Informação Geográfica. Os estudos consideram a distinção entre espaços fechados e espaços abertos. A diferença é gerada por limites, barreiras, entre algo edificado e a rua, ou entre blocos de edifícios e sua área de circulação externa. O artigo explica que modelos de sintaxe do espaço em sistemas urbanos se concentram em espaços abertos. Basta imaginar que para chegarmos de um prédio a outro precisamos passar por algum espaço aberto entre os dois. Numa cidade, ou em um campus universitário, a relação entre espaços fechados é dependente dos espaços abertos e da conectividade entre esses espaços.

No modelo computacional, a representação de como e o quanto os espaços estão

conectados entre si pode ser feita com grafos. Assim, cada espaço é um vértice e a conexão entre eles são as arestas, graficamente isso é visualizável como uma malha com bolinhas (vértices) ligadas por linhas (arestas). Mas esta representação não é muito intuitiva para o modelo humano, pois uma rua comprida poderia ser erroneamente interpretada como uma aresta, quando na verdade é um espaço bem comprido, ou seja, um vértice. Visualmente, uma bolinha não parece representar uma rua ou demais espaços compridos.

Figura 15 – Abstração incluindo sintaxe do espaço em SIG, proposta por Jiang e Claramunt (1999).



Fonte: (JIANG; CLARAMUNT, 1999).

Outro problema, é em que lugar da rua comprida a pessoa que estaria elaborando o modelo colocaria a bolinha? No meio? Nas pontas? É plausível se confundir. Como um dos objetivos de análises da sintaxe do espaço é a predição do movimento de pessoas no ambiente urbano, para estes casos o modelo humano fica mais cômodo quando o vértice referente a cada espaço é representado como linhas, as que coincidem com eixos de movimento, conceituada como linha axial (seção 2.1). Na abstração do espaço para SIG proposta por Jiang e Claramunt (1999), Figura 15, o modelo humano acrescenta os mapas de linhas axiais e o modelo do computador inclui os grafos. Observem que a figura aborda modelos humanos e computacionais que partem da “mesma realidade”, ou seja, o mapa usual e o mapa axial se referem aos mesmos

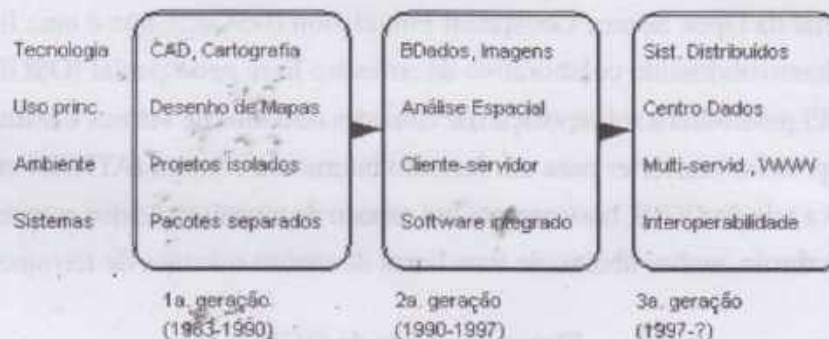
lugares. Notem também que o grafo diz respeito aos mesmos espaços do mapa axial, embora visualmente fique mais difícil reconhecer o ambiente original no grafo.

É importante esclarecer que as características de conectividade em um grafo são imutáveis independentemente da posição dos vértices no espaço (NETTO, 2003). Exemplificando, em um grafo de um vértice conectado a outros três vértices, se mudarmos a distância entre os elementos ou a posição relativa entre eles, continuará sendo o mesmo grafo conectado à três vértices. Consequentemente, o georreferenciamento dos vértices não interfere nas propriedades do grafo. Depreende-se que a vantagem de marcar a posição geográfica de objetos em um mapa é facilitar a representação para humanos. Então, para o analista da sintaxe do espaço, o georreferenciamento é um modo de descomplicar a visualização ao contextualizar as linhas axiais junto a demais elementos que qualificam o lugar.

2.4 EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Uma outra vantagem de incluir ferramentas de sintaxe do espaço nos SIGs é o benefício da robustez e interoperabilidade na manipulação de dados alcançada pelos SIGs de terceira geração.

Figura 16 – Evolução dos sistemas de informação geográfica.



Fonte: (DPI/INPE, 2006).

O DPI/INPE (2006) divide os sistemas de informação geográfica em três gerações. A primeira geração, iniciada década de 80, é a da cartografia feita com software de desenho auxiliado por computador (CAD), o apoio de banco de dados era pobre. É a geração definida como sistemas orientados a projetos (*projected-oriented GIS*) por ser utilizada em projetos isolados e sem a preocupação de manter arquivos digitais. A segunda geração introduz o banco de dados geográfico. É elaborada para uso em ambientes cliente-servidor acoplados a gerenciadores de bancos de dados relacionais e pacotes para processamento de imagens. Se iniciou na década de 90 e ficou conhecida como “sistemas para suporte a instituições” (*enterprise-oriented GIS*). A terceira geração teve início no final da década de 90, instaura as bibliotecas geográficas digitais ou centros de dados geográficos, gerenciam grandes volumes em bases de dados geográficos acessíveis em redes locais e pela internet. A terceira geração demanda interoperabilidade, para

que o acesso às informações possa ser compartilhado entre SIGs diferentes. É a geração entendida como a de troca de informações entre instituições e sociedade (*society-oriented GIS*). A Figura 16 indica as três gerações da evolução dos SIGs.

As ferramentas de análise da sintaxe do espaço têm sido incorporadas aos SIGs na forma de complementos (*plugin*), as soluções mais relevantes em código aberto e livre são o Space Syntax Toolkit (SST), discorrido na seção 2.4.2 e o Space Syntax Analysis (SSA), desenvolvido na Universidade de Mersin, Turquia, sob a coordenação de Burak Beyhan, como complemento para uma gama de softwares livres e de código aberto para SIGs, cuja expressão em inglês é *Free and Open Source Software for GIS (FOSS4GIS)*, que inclui OpenJUMP, gvSIG, OrbisGIS, QGIS, OpenEV, Thuban, MapWindow GIS, SAGA e R Project (MERSIN UNIVERSITY, 2016).

2.4.1 QGIS

QGIS é um Sistema de Informação Geográfica de código aberto e livre. É multiplataforma, roda em Linux, Mac OSX, Windows e Android (até versão 4.4). Conta com uma comunidade grande e crescente de desenvolvedores e usuários, pode ser estendido em complementos (*plugins*), ferramentas em diferentes formatos de dados de entrada e saída, possui um gerenciador de instalação e manutenção de complementos e ferramentas de automação e customização utilizando a linguagem Python (GIL, 2015; COMUNIDADE QGISBRASIL, 2016). É um projeto oficial da Open Source Geospatial Foundation (OSGeo), que é uma fundação criada para apoiar o desenvolvimento colaborativo de software livre geoespacial (OSGEO, 2016).

O QGIS possibilita a sobreposição de camadas de dados de vetores e raster em diferentes projeções sem precisar converter para um formato interno ou comum (ATHAN et al., 2014a). A Figura 17 exibe a tela do QGIS, basicamente um espaço de visualização dos mapas acompanhado de janelas de controle, ambas abaixo de uma barra de menus e ícones de ferramentas.

Figura 17 – Tela do QGIS.



Fonte: QGIS 2.14

Os formatos de dados aceitos são tabelas espacialmente habilitadas usando os banco de dados PostGIS, SpatialLite, MS SQL Spatial, Oracle Spatial, vetores da biblioteca OGR, incluindo ESRI (*shapefiles*), MapInfo, SDTS, GML, imagens raster suportadas pela biblioteca Geospatial Data Abstraction Library (GDAL), como GeoTIFF, ERDAS IMG, ArcInfo ASCII GRID, JPEG dentre outros (ATHAN et al., 2014a).

O QGIS se integra ao sistema de suporte a análise de recursos geográficos, o Geographic Resources Analysis Support System (GRASS GIS), quanto a vetores e base de dados (ATHAN et al., 2014a).

O QGIS suporta dados espaciais servidos pela internet como OGC Web Services, incluindo WMS, WMTS, WCS, WFS, and WFS-T (ATHAN et al., 2014a).

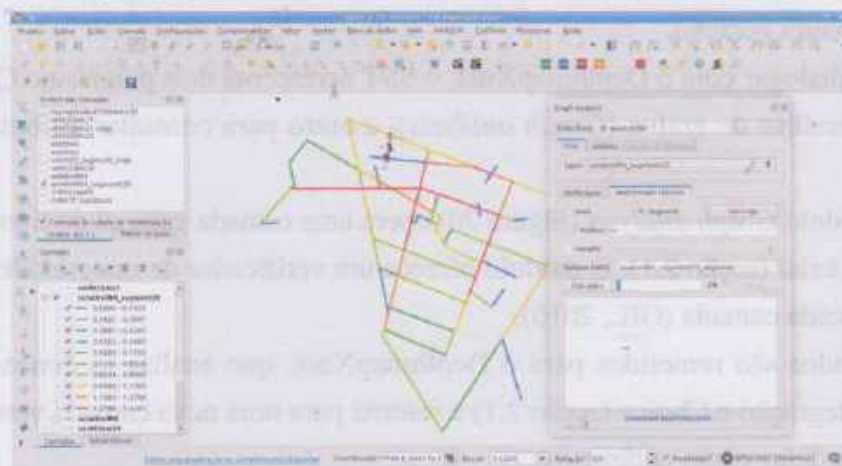
Aqui, o QGIS foi usado para estudar, escolher ou converter formato de arquivos e sistemas de coordenadas usados neste trabalho, bem como conferir se as representações estavam adequadas e realizar simulações. Por exemplo, para verificar se o mapa interativo gerado na seção 4.1 estava parecido com o manipulado por um SIG na posição geográfica esperada.

2.4.2 Space Syntax Toolkit

O Space Syntax Toolkit (SST) é um complemento para QGIS originalmente desenvolvido por Jorge Gil para o Space Syntax Laboratory, na The Bartlett, University College London (UCL) (GIL, 2016).

O SST foi lançado em julho de 2015 no Space Syntax Symposium, é provavelmente o plugin para QGIS mais utilizado por pesquisadores brasileiros da área por morfologia do espaço por aproveitar o legado de usuários do DepthmapX, um software de análise da sintaxe do espaço de primeira geração com o código aberto sob licença GPL desde 2012. A Figura 18 exibe o QGIS com um dos painéis do SST ativado, possibilitando calcular e exibir as medidas de propriedades axiais e de segmentos em uma escala de cores.

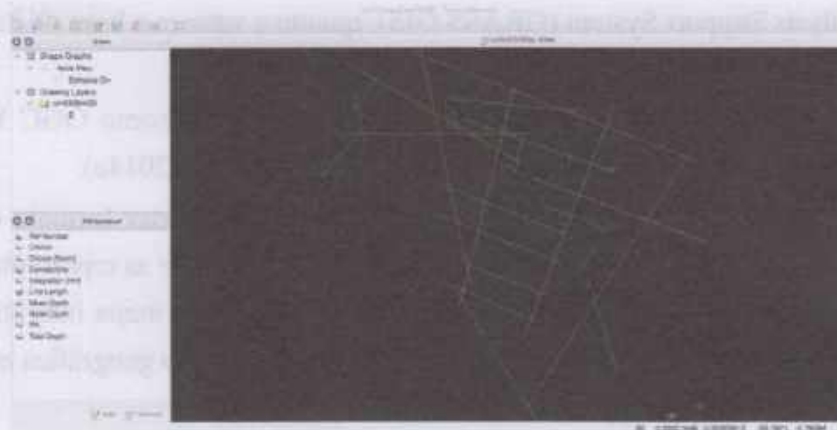
Figura 18 – QGIS com um dos painéis do Space Syntax Toolkit (SST) ativado.



Fonte: QGIS 2.14

O SST faz o QGIS comunicar-se com o software de análise da sintaxe do espaço DepthmapX, mais especificamente com uma adaptação deste software chamada DepthmapXnet, que permite ser acessada pelo SST, cuja tela é exibida na Figura 19, apresentando os resultados de uma análise espacial através de uma escala cromática os eixos.

Figura 19 – Tela do DepthmapXnet



Fonte: DepthmapXnet 0.30

O DepthmapX é elaborado em C++ e usa biblioteca QT4 (VAROUDIS, 2016). SST é feito em Python (GIL, 2016).

O DepthmapX (VAROUDIS, 2016), é um software ainda da primeira geração (seção 2.4), recebe as representações oriundas de um CAD, converte-as para um formato interno e realiza as análises. Os resultados podem ser exportados em tabela (CSV) ou em arquivos do SIG no formato do MapInfo (arquivos .MIF). A variante DepthmapXnet é habilitada para ser conectada pelo complemento SST no QGIS. Para o SST funcionar, o DepthmapXnet deve ficar aberto rodando. Esta arquitetura é um tanto limitante, tendo em vista que DepthmapXnet roda somente nas plataforma Windows e Mac, localmente. Mas como tanto o DepthMapX como o SST tem código aberto e são livres, é questão de tempo para surgir alguma versão ainda mais integrada à terceira geração.

Para dialogar com o DepthmapXnet, o SST acrescenta dois painéis no QGIS, um para o módulo de análise de grafos (*Graph analysis*), e outro para consultar atributos (*Attributes explorer*).

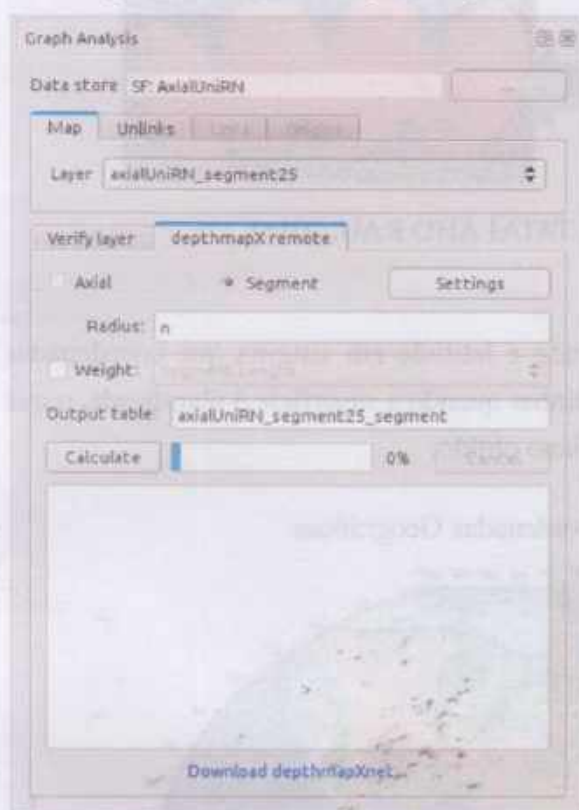
O módulo *Graph analysis* (Figura 20) opera uma camada vetorial do tipo linha, que é a representação axial (seção 2.1). O módulo oferece um verificador de integridade geométrica e topológica de cada camada (GIL, 2016).

Os dados são remetidos para o DepthmapXnet, que analisa as conexões e gera as medidas de integração e Choice (seção 2.1) e retorna para uma nova camada vetorial do QGIS contendo as medidas como parâmetros.

O painel *Attributes explorer* (Figura 21) possibilita a consulta das medidas, que agora são parâmetros em uma camada vetorial do tipo linha. Os resultados são apresentados na forma

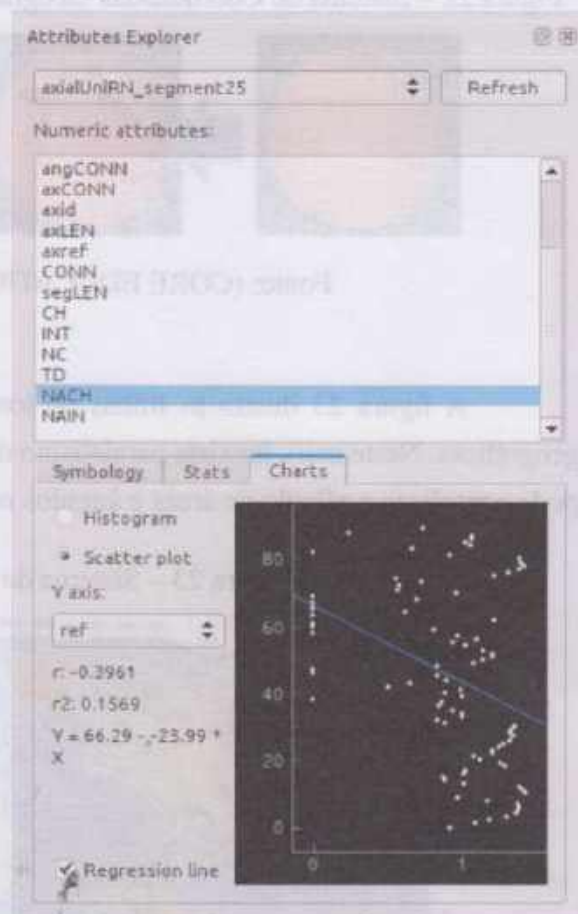
de escala de cores nas linhas do mapa e também como gráfico de dispersão, histograma, além da descrição estatística elementar do conjunto de dados (média, desvio padrão, máximo, mínimo, entre outras) (GIL, 2016).

Figura 20 – Painei *Graph analysis*.



QGIS 2.14

Figura 21 – Painei *Attributes explorer*.



QGIS 2.14

2.5 DADOS GEORREFERENCIADOS

2.5.1 Latitude e Longitude

A localização na superfície da terra se referencia em linhas de latitude e longitude.

As Linhas de latitude “são paralelas ao equador e dividem a terra em 180 seções igualmente espaçadas entre si deste o Norte ao Sul (ou do Sul ao Norte)” (ATHAN et al., 2014b). O equador é a linha de referência (0°). Cada hemisfério é dividido em noventa seções, cada uma representando um grau de latitude (até 90° Norte, ou até 90° Sul) (ATHAN et al., 2014b).

As Linhas de longitude são perpendiculares ao equador e se encontram nos polos Norte e Sul. Linhas de longitude são medidas de 0° a 180° Este ou Oeste em relação ao meridiano principal, o que passa pela cidade de Greenwich, na Inglaterra (ATHAN et al., 2014b).

2.5.2 Sistemas de Coordenadas Geográficas.

No Sistemas de Coordenadas Geográficas, o plano é obtido como se superfície da terra fosse uma casca de laranja descascada (Figura 22).

Figura 22 – Sistema de Coordenadas Geográficas e sua projeção em fusos (casca de laranja).



Fonte: (CORE EDUCATION TATAI AHO RAU, 2016)

A figura 23 ilustra as linhas de longitude e latitude em sistema que coordenadas geográficas. Neste caso, inexistente paralelismo das linhas quando a superfície é planificada, o que pode complicar o cálculo de áreas e ângulos no plano obtido.

Figura 23 – Sistema de Coordenadas Geográficas.



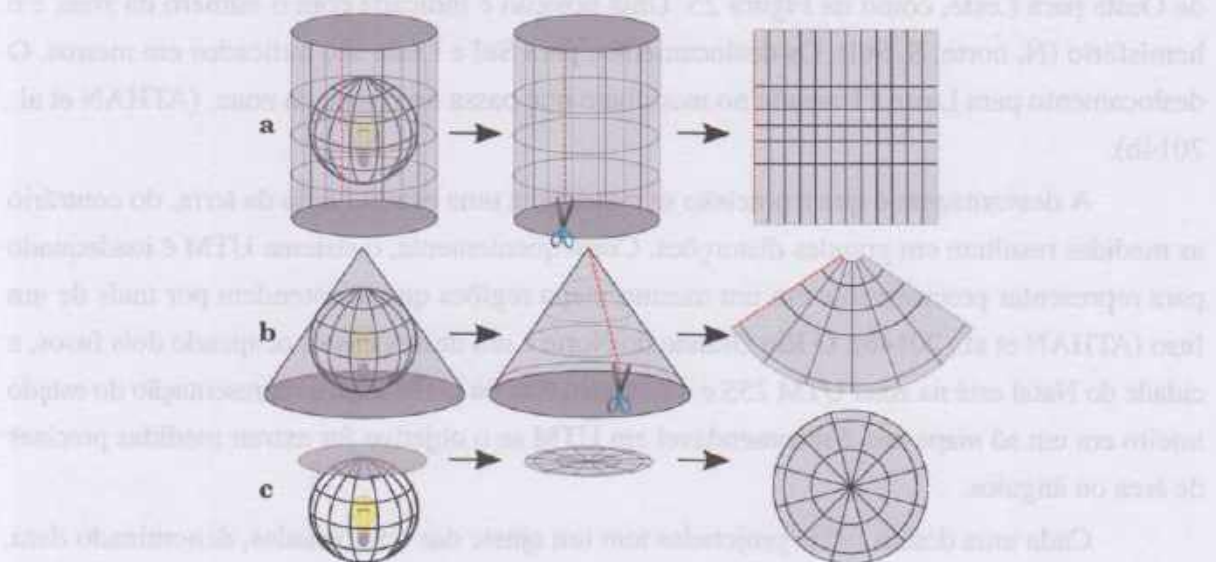
Fonte: (ATHAN et al., 2014b)

2.5.3 Sistemas de coordenadas projetadas

Nos sistemas de coordenadas projetados (ou cartesianos), a representação da superfície da terra na tela do computador ou demais planos, é feito por uma projeção da superfície “redonda” da terra sobre um cilindro, um cone ou um plano, (ATHAN et al., 2014b), como mostrado na Figura 24. É como se uma lâmpada fosse colocada no centro da terra e a superfície fosse

“projetada” nos cilindros e cones posteriormente planificados. O cilindro planificado é um retângulo no qual as linhas de latitude e longitude ficam ortogonais.

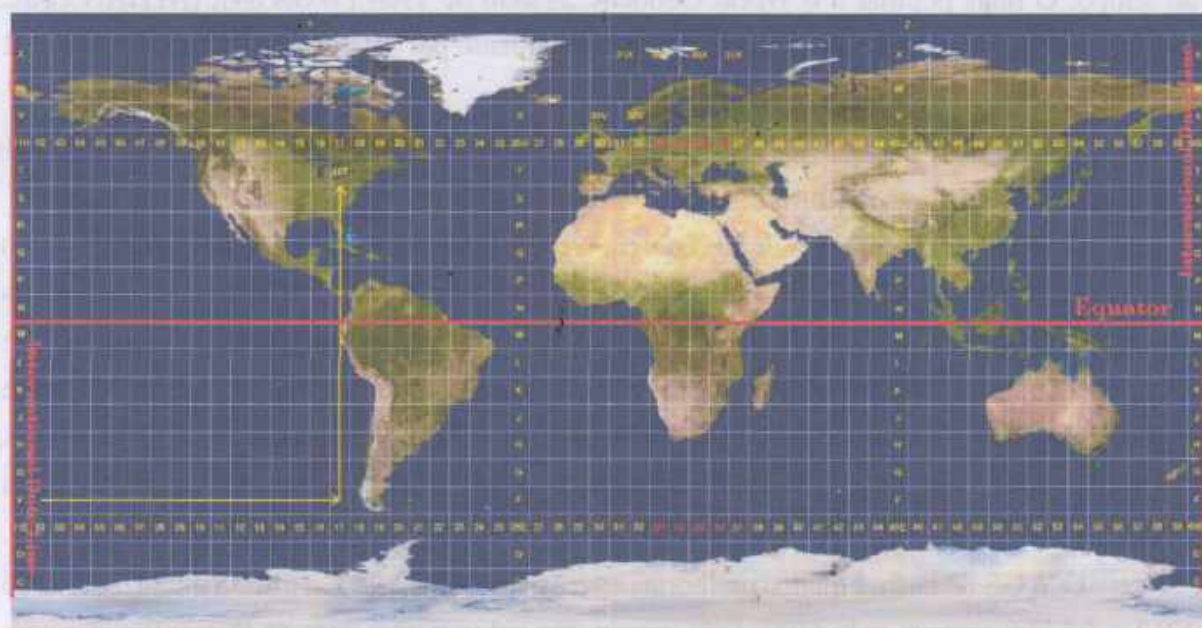
Figura 24 – Tipos de projeções cartográficas



Fonte: (ATHAN et al., 2014b)

Em um sistema de coordenadas projetadas cilíndrico, os eixos X e Y estão posicionados em ângulo reto. A linha de origem costuma ser o equador, o valor de X aumenta para Oeste, o valor de Y para o Sul (ATHAN et al., 2014b). A vantagem é que as linhas de longitude e latitude ficam paralelas ou ortogonais, facilitando o cálculo de áreas usando o plano cartesiano (x,y).

Figura 25 – SRC Universal Transverso de Mercator (UTM).



Fonte: (ATHAN et al., 2014b)

Um sistema de coordenadas projetadas cilíndrico bastante utilizado é o Universal Transverso de Mercator (UTM) (Figura 25). Para minimizar distorções da projeção cilíndrica, o planeta é dividido em 60 fusos de 6° entre cada longitude, cada fuso é numerado de 1 a 60, de Oeste para Leste, como na Figura 25. Uma posição é indicada com o número da zona e o hemisfério (N, norte; S, Sul). Os deslocamentos para Sul e Leste são indicados em metros. O deslocamento para Leste é baseado no meridiano que passa no centro da zona. (ATHAN et al., 2014b).

A desvantagem é que a precisão se restringe a uma estreita fatia da terra, do contrário as medidas resultam em grandes distorções. Consequentemente, o sistema UTM é inadequado para representar precisamente em um mesmo mapa regiões que se estendem por mais de um fuso (ATHAN et al., 2014b). O Rio Grande do Norte é um desses casos, ocupando dois fusos, a cidade do Natal está na zona UTM 25S e a de Caicó está na UTM 24S, a representação do estado inteiro em um só mapa não é recomendável em UTM se o objetivo for extrair medidas precisas de área ou ângulos.

Cada uma dessas fatias projetadas tem um ajuste das coordenadas, denominado *data*, no singular, ou *datum*, no plural. A decisão sobre qual *datum* e sistema de referência usar está sujeito à extensão da área analisada, disponibilidade de dados e a análise adotada (ATHAN et al., 2014b).

2.5.4 Precisão, elipsoide de referência e denominação

O planeta terra é um pouco mais achatado que uma esfera. a forma aproximada utilizada para basear o sistema de coordenadas são os elipsoides de referência, aprimorados ao longo do tempo. O mais popular é o World Geodetic System de 1984 (WGS 84), (ATHAN et al., 2014b), base para os sistema americano de posicionamento por satélite conhecido como Global Positioning System (GPS).

WGS 84 é usual em mapas criados para visualização na web, como o projeto OpenStreetMap (ATHAN et al., 2014b).

O Brasil adota Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS2000) desde 25 de fevereiro de 2015, substituindo os South American Datum 1969 (SAD 69) e Córrego Alegre (CA) (IBGE, 2016). O SAD 69 e o CA eram baseados na triangulação da superfície terrestre, enquanto o SIRGAS2000, assim como o WGS 84, se baseiam no centro da terra e medidas obtidas do Global Navigation Satellite Systems (GNSS), conhecido como GPS. (IBGE, 2016). Consequentemente, a discrepância entre o SIRGAS2000 e as medidas do GPS são menores em relação aos sistemas brasileiros anteriores.

O WGS 84 sofreu quatro melhorias sucessivas desde 1984, a última atualização é de 2012 e foi incorporada pelo GPS. Esta versão não exige parâmetros de transformação para o padrão oficial brasileiro SIRGAS2000 pois são equivalentes, ou seja, a diferenças entre coordenadas é igual a 0 ($DX = 0$, $DY = 0$ e $DZ = 0$) (IBGE, 2016).

O sistema de geodésias (elipsoide de referência), o sistema de coordenadas (geográfica ou projetada), a unidade (graus ou metros) e os datum (cálculo de correção em projeção) resultam em uma variedade de Sistemas de Referência de Coordenadas (SRC), cuja identificação é padronizada pela European Petroleum Survey Group (EPSG).

EPSG:31985 identifica o SIRGAS2000 zona UTM 25S, isto é, o SRC oficial usado no Brasil na zona que pode representar a cidade de Natal, por exemplo (EPSG, 2016). É usado para mapas em pequena escala mas que requerem precisão no cálculo de áreas, como plantas cadastrais de imóveis ou terras urbanas e rurais. Não é usual para visualização web por abranger somente uma fatia da terra de cada vez.

EPSG:3857 identifica o WGS 84 / *Popular Visualization Pseudo-Mercator*, o SRC também conhecido como *Web Mercator*, é usado em aplicações web, cobre qualquer região do mundo (EPSG, 2016). É utilizado pelo OpenStreetMap e outros provedores de mapas interativos na Web (OSM, 2016). A unidade é o metro.

EPSG:3246 identifica o WGS 84 usado em GPS (EPSG, 2016), é a versão “laranja descascada” do EPSG:3857 usando o mesmo elipsoide WGS 84.

2.5.5 Nomes padronizados pela Open Geospatial Consortium (OGC)

Visando facilitar a operação de dados por dentre diferentes sistemas de informação, um consórcio de desenvolvedores de SIGs, o Open Geospatial Consortium (OGC), padronizou nomes usados como identificadores de dados espaciais (OGC, 2016).

O GeoJSON, apresentado na seção 2.8, usa nomes no padrão OGC para designar o Sistema de Referência de Coordenadas (SRC) utilizado (GEOJSON.ORG, 2016).

Os nomes padronizados (uniformizados) de entidade espaciais da OGC são homologados como Uniform Resource Name (URN) pela Internet Assigned Number Authority (IANA), autoridade responsável por manter vários códigos e números em protocolos de internet estabelecido conjuntamente com a Internet Engineering Task Force (IETF) (OGC, 2016).

2.6 OPENSTREETMAP

O projeto OpenStreetMap é uma iniciativa para criar e fornecer dados geográficos livremente, para todo mundo que queira compartilhar mapas. É mantido, mas não controlado, pela OpenStreetMap Foundation, uma organização sem fins lucrativos sediada no Reino Unido (OPENSTREETMAP FOUNDATION, 2016).

OpenStreetMap é como se fosse uma Wiki de mapas, colaboradores do mundo todo podem se cadastrar para manter a base atualizada.

Os dados são abertos e estão sujeitos à Open Database License (ODbL). A atribuição é feita com o texto no canto dos mapas “©OpenStreetMap Contributors” (OPENSTREETMAP FOUNDATION, 2016).

Todos os nós, caminhos e relações do OpenStreetMap estão em único arquivo, o Planet.osm, uma variante de XML com mais de 721.1GB de tamanho quando descomprimido. Pode ser baixado de vários espelhos hospedados em diferentes países, alguns são atualizados semanalmente e outros diariamente (OSM, 2016). Idealmente, se a aplicação for demandar um fluxo intenso de dados, talvez fosse o caso de replicar os mapas, mesmo que parcialmente, em um servidor à parte.

Para usar os mapas em uma aplicação, os dados são transformados em mosaicos (tiles) nos chamados servidores de tiles. O correto é evitar solicitações aos servidores de tile.OpenStreetMap para não sobrecarregar a banda deles, o que seria uma ofensa aos voluntários que a mantêm, que são os únicos patrocinadores do serviço (OSM, 2016). O uso do tile.OpenStreetMap em aplicativos é proibido sem prévia consulta a seus administradores (OSM, 2016, Tile usage policy).

Usualmente OpenStreetMap e derivados adotam os SRCs EPSG:3857 e EPSG:3246 (OSM, 2016). EPSG:3857 identifica o WGS 84 / *Popular Visualization Pseudo-Mercator*, o SRC também conhecido como *Web Mercator*, é usado em aplicações web, cobre qualquer região do mundo (EPSG, 2016). EPSG:3246 identifica o WGS 84 usado em GPS (EPSG, 2016), é a versão “laranja descascada” do EPSG:3857 usando o mesmo elipsoide WGS 84 (EPSG, 2016).

2.7 LEAFLET

Leaflet.js ou Leaflet é uma biblioteca JavaScript de código-aberto para mapas interativos amigáveis a dispositivos móveis. Foi criada por Vladimir Agafonkin, visando fazer que o básico em mapeamento trabalhe perfeitamente para a maioria das necessidades dos desenvolvedores (AGAFONKIN, 2015). É leve, apenas 33 KB, e não tem dependências externas.

O Leaflet possibilita a visualização em camadas de vetores, marcadores, janelas de texto (popups), imagens sobrepostas, GeoJSON (Seção 2.8) e base de mapas de provedores de mapas Tile e Web Map Server (WMS).

Tile e WMS são padrões de requisição de mapas e se referem a como são organizadas e disponibilizados os arquivos de imagens, geralmente agrupados em resoluções distintas conforme o zoom. Lado a lado, as imagens formam mosaicos, o zoom dita o tamanho do retângulo de cada imagem do mosaico. Leaflet suporta mosaicos bastante difundidos fornecidos por OpenStreetMap, STAMEN, Mapbox, MapQuest Open, muitos deles baseados no OpenStreetMap. Mosaicos de diferentes fornecedores podem oferecer diferentes informações, como relevo, trilhas de ciclismo, trajetos de serviços de transporte público, imagens de satélite ou simplesmente uma seleção de cores diferenciada (mapas “bonitinhos”), com preços, licenças e limites de acesso variados.

A interação em Leaflet admite arrastes e deslises panorâmicos com inércia (iniciar o arraste com o dedo ou mouse e o movimento durar um pouco mais), zoom da roda de rolagem, *pinch-zoom* no celular zoom com os dedos, clique duas vezes em zoom, zoom para a área (shift-drag), navegação por teclado e eventos do mouse.

Figura 26 – Marcador



Fonte: (AGAFONKIN, 2015).

Os marcadores (Figura 26) podem ser customizados, bem como popups (CSS3) e controles do mapa.

2.7.1 Folium–Python

Criado em 2013 por Rob Story, Folium é uma biblioteca que manipula dados usando a linguagem de programação Python e os visualiza em mapas interativos por meio da biblioteca Leaflet.js. Está sob licença MIT, é código aberto e livre.

Folium suporta a sobreposição de camadas geoJSON e esquemas de cores característicos das análises espaciais.

São suportados os mosaicos providos por OpenStreetMap, Mapbox e Stamen.

2.8 GEOJSON

GeoJSON é uma notação para codificar estruturas de dados geográficos, é um formato de intercâmbio de dados baseado em JavaScript Object Notation (JSON) (BUTLER et al., 2016).

Figura 27 – Exemplo de uma reta em notação GeoGSON.



Fonte: (GEOJSON.IO, 2016).

3 METODOLOGIA

Os elementos típicos dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG ou GIS) foram primeiramente guiados pela Open Source Geospatial Foundation, que reúne em sua página ligações para congressos, periódicos, tutoriais e comunidades de desenvolvedores. As demais referências foram acrescentadas à medida em que bibliotecas de códigos, frameworks, APIs e soluções técnicas despertavam interesse para aplicabilidades relacionadas à configuração espacial de cidades ou conjunto de edificações.

A abordagem de configuração espacial aqui utilizada é proveniente de literatura no âmbito da Teoria da Sintaxe do Espaço, da qual o espaço é socialmente constituído e existe uma lógica social na organização das barreiras e permeabilidades que constituem o espaço. Este trabalho se restringe às características dos “eixos de movimento”, que são linhas no espaço com maior tendência das pessoas circularem.

Os eixos são representados por linhas ou segmentos de reta conectados entre si. A influência de cada linha sobre as demais no favorecimento ou obstrução de caminhos é calculada com auxílio do software de análise da sintaxe do espaço DepthmapX versões 0.30 e 0.50 ou de seu respectivo complemento Space Syntax Toolkit (GIL et al., 2015) para o sistema de informação geográfica QGIS.

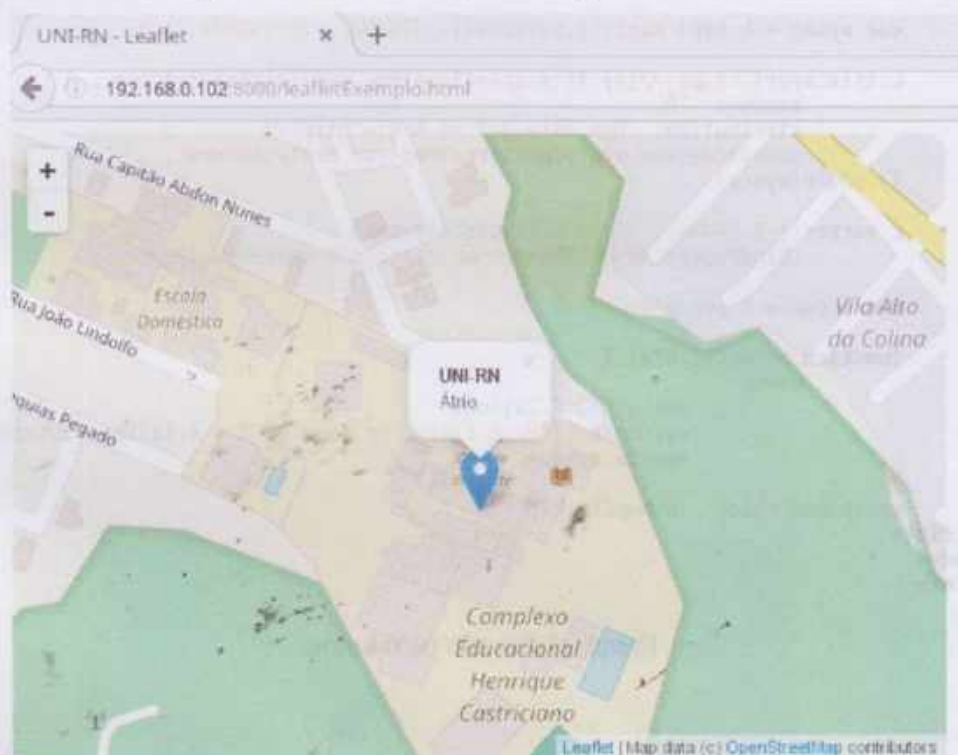
Algumas tecnologias de visualização foram ensaiadas para criar uma camada de representação de eixos de movimento em um mapa interativo. Foram usados bibliotecas JavaScript, Python e GeoJSON.

4 UM MAPA INTERATIVO

Como visto no capítulo 2, a importância do georreferenciamento para o trabalho de quem está analisando a sintaxe do espaço é facilitar a visualização do contexto da camada de representação axial em relação a outros elementos que caracterizam o lugar. Este capítulo explora o Leaflet enquanto uma tecnologia útil para visualização do contexto geográfico do lugar sob a forma de mapas na internet.

4.1 VISUALIZAÇÃO DE MAPA NA WEB USANDO LEAFLEAT-JAVASCRIPT

Figura 28 – Visualização de mapa usando Leaflet.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O mapa da Figura 28 foi feito com uso da biblioteca Leaflet, apresenta uma imagem de fundo fornecida por um servidor de mapas, um controle de zoom e um marcador inserido no código JavaScript.

A preparação de um mapa online usando essa biblioteca é exemplificada na Figura 29, a linha 6 do código inclui a folha de estilos Leaflet CSS no cabeçalho do documento, a linha 7 inclui o script Leaflet JavaScript, a linha 10 coloca um elemento div com um id onde será o mapa. A estrutura mínima é `<div id="mapid"></div>` mas é importante lembrar de definir o tamanho da visualização na folha de estilos. Basta acrescentar `style="width: 600px; height: 400px;"`

para dimensionar o tamanho da janela de visualização, como esta na linha 10. A linha 13 centraliza o mapa aproximadamente onde está o campus do Centro Universitário do Rio Grande do Norte, em Natal-RN, e define que o valor do zoom é igual a 17. As linhas 15 a 18 acrescentam uma camada com um mapa fornecido pelo projeto OpenStreetMap.

Figura 29 – Aplicando Leaflet na página web.

```

1 <!DOCTYPE html>
2 <html>
3 <head>
4   <title>UNI-RN - Leaflet</title>
5   <meta charset="utf-8" />
6   <link rel="stylesheet" href="https://unpkg.com/leaflet@1.0.1/dist/leaflet.css" />
7   <script src="https://unpkg.com/leaflet@1.0.1/dist/leaflet.js"></script>
8 </head>
9 <body>
10  <div id="mapid" style="width: 600px; height: 400px;"></div>
11  <script>
12
13    var mymap = L.map('mapid').setView([-5.79394, -35.19387], 17);
14
15    L.tileLayer('https://{s}.tile.openstreetmap.org/{z}/{x}/{y}.png', {
16      maxZoom: 18,
17      attribution: 'Map data (c) <a href="http://openstreetmap.org">OpenStreetMap</a> contributors',
18    }).addTo(mymap);
19
20    L.marker([-5.79439, -35.19387]).addTo(mymap)
21      .bindPopup("<b>UNI-RN</b><br />Átrio").openPopup();
22
23    var popup = L.popup();
24
25    function onMapClick(e) {
26      popup
27        .setLatLng(e.latlng)
28        .setContent("Você clicou no mapa em " + e.latlng.toString())
29        .openOn(mymap);
30    }
31    mymap.on('click', onMapClick);
32  </script>
33 </body>
34 </html>

```

Fonte: elaborado pelo autor.

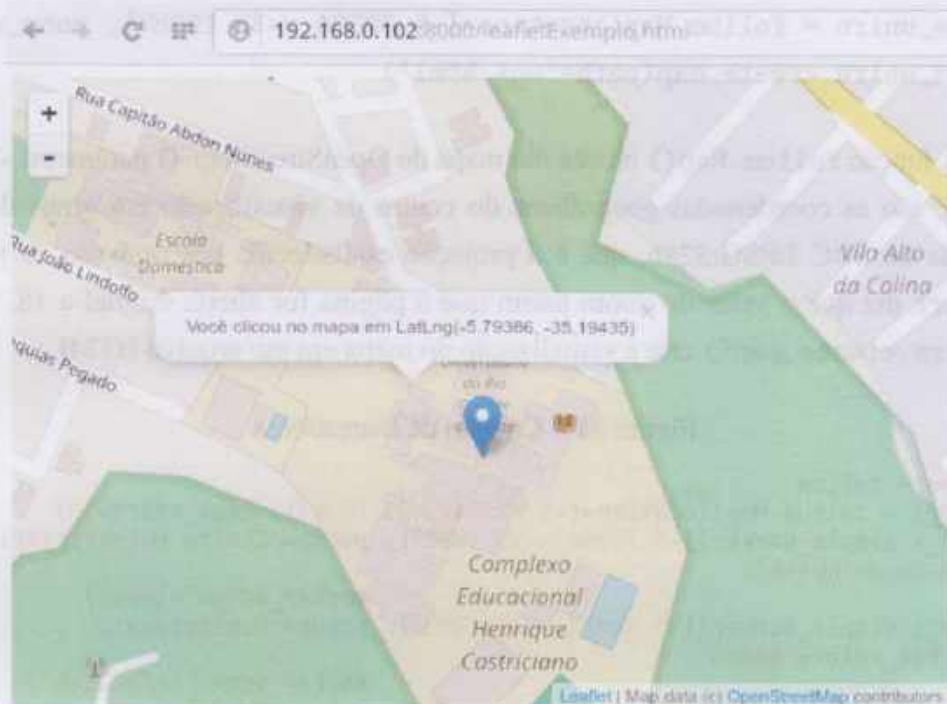
A palavra *tile* em mapeamento digital remete a mosaico, pois é feita de várias imagens juntas lado a lado. No caso, os mosaicos de Openstreetmap são imagens no formato PNG, chamadas pela URL `https://{s}.tile.openstreetmap.org/{z}/{x}/{y}.png`. Para cada fornecedor de mosaicos deve ser consultada a documentação sobre sua URL e sobre as permissões de uso e exibição das imagens a serem declaradas no campo `attribution`.

Existe uma recomendação para não utilizar os servidores de `tile.OpenStreetMap` para atividades que demandem intensamente os mosaicos, como aplicativos, visando não sobrecarregar a banda, que é mantida unicamente por voluntários (OSM, 2016). O uso desmedido do mosaico por aplicativos é considerado uma ofensa a quem contribui para manter a infraestrutura.

A linha 20 acrescenta um marcador e a linha 21 acrescenta os textos “UNI-RN” e “Átrio” para a caixa de texto (popup) do marcador, criada em uma variável na linha 23.

As linhas 26 a 31 permitem que o usuário visualize em uma caixa de texto (popup) as coordenadas de onde for clicado, em latitude e longitude, como mostrado na Figura 30.

Figura 30 – Visualização de mapa usando Leaflet.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.1 Aplicabilidade do mapa de fundo

A utilidade do mapa de fundo é apresentar o contexto. Entretanto, quando a intenção for destacar as linhas axiais, o contexto pode se tornar um ruído, competindo com o primeiro plano. A visualização dos resultados apresentados na Figura 11, na seção 2.1 dispensou mapa de fundo. A implementação habilitar e desabilitar camadas é desejável numa aplicação de visualização de mapas.

4.1.2 Gerando visualização de mapas com Leaflet usando Python

A visualização de mapas com Leaflet usando linguagem de programação Python pode ser feita com a biblioteca `folium`, requisitada com a instrução `import folium`.

Os complementos de QGIS costumam ser feitos em Python, isso provavelmente contribui para diversidade de soluções e bibliotecas para SIGs e análises espaciais feitas nessa linguagem. A escolha do `Folium` é justificável pela facilidade de integração com bibliotecas de análise estatísticas espaciais, como o `geoPandas` (feito em Python) e seu potencial tanto para ser usado em um complemento do QGIS como em uma aplicação independente.

Para solicitar a visualização de um mosaico de mapas OpenStreetMap para ser usado como base, o comando é:

```
import folium
mapa_unirn = folium.Map(location=[-5.79394, -35.19387], zoom_start=18)
mapa_unirn.create_map(path='uni.html')
```

A função `folium.Map()` chama um mapa do OpenStreetMap. O parâmetro `-5.79394, -35.19387` são as coordenadas geográficas do centro de visualização em graus de latitude e longitude no SRC EPSG:3246, que é a projeção estabelecida por omissão. O parâmetro `zoom_start` diz que o valor do zoom assim que a página for aberta é igual a 18. A função `mapa_unirn.create_map()` cria a visualização do mapa em um arquivo HTML.

Figura 31 – Criação de marcadores

```
import folium
map_1 = folium.Map(location=[-5.79394, -35.19387], zoom_start=18)
map_1.simple_marker([-5.79394, -35.19387], popup='Centro Universitário do Rio
Grande do Norte', marker_icon='cloud')
map_1.simple_marker([-5.79416, -35.19327], popup='Biblioteca', marker_color='green',
marker_icon='info-sign')
map_1.simple_marker([-5.79490, -35.19380], popup='Mandela', marker_color='orange',
marker_icon='cloud')
map_1.simple_marker([-5.79439, -35.19387], popup='Atrio', marker_color='red',
marker_icon='cloud')
map_1.create_map(path='unirnmarker.html')
```

Fonte: Elaborado pelo autor.

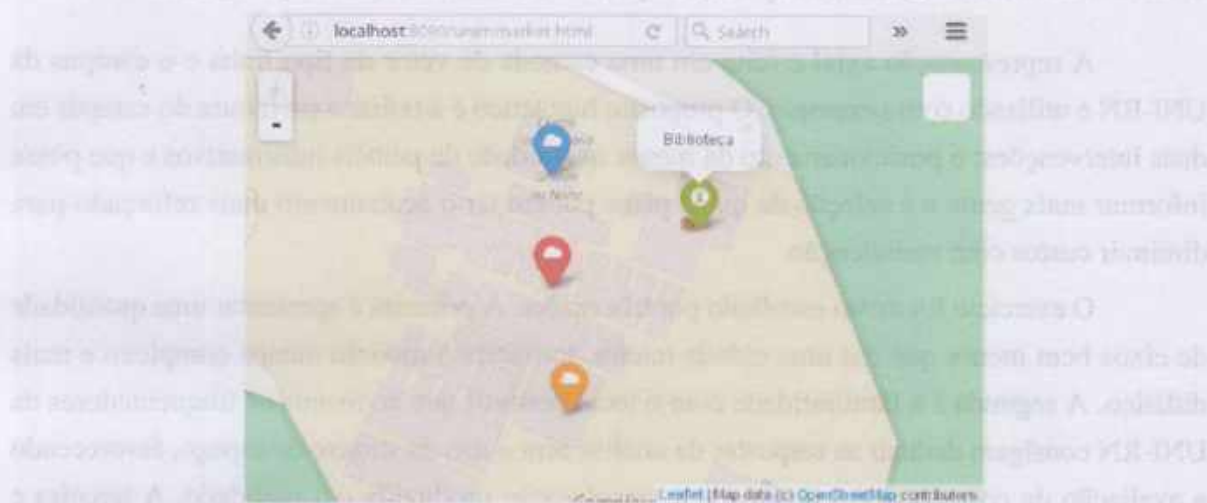
A função `simple_marker` cria marcadores, o parâmetro `popup` acrescenta um texto informativo ao marcador para ser visto pelo usuário após acionamento com clique do mouse. Um exemplo de código que gera quatro marcadores com ícones e cores diferenciados pode ser visto na Figura 31. O parâmetro `marker_icon` indica o tipo de ícone, `'info-sign'` contém o símbolo “i” de “informação” e `'cloud'` tem o ícone de uma nuvem. A parâmetro `marker_color` define as cores do marcador. O resultado pode ser visto na Figura 32:

4.1.2.1 Aplicabilidade dos marcadores

A utilidade dos marcadores é descrever o contexto. No caso do mapa da UNIRN foram usados para denominar alguns blocos.

O marcador possui uma posição e um rótulo. Para lidar com maior quantidade de parâmetros e ao mesmo tempo possam ser posicionados em grande número de uma vez, existem outras maneiras mais adequadas, como importar vetores arquivados em GeoJSON, como discorrido nas seções 4.1.2.2 e 4.1.3.

Figura 32 – Marcadores Leaflet implementado em Python.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.2.2 Entradas de dados em grande quantidade ao invés de posicionamento de marcadores um a um:

Como pontos podem ser definidos com dois parâmetros, longitude e latitude, que ocupariam dois campos em uma tabela, esta pode uma opção a ser considerada para entrada de dados, tendo em vista que é uma forma de organização de dados bem difundida.

Supondo que o objetivo de certa análise espacial fosse encontrar relações entre potencial de movimento de pessoas e locais de ocorrência de crimes afim de serem elaboradas medidas preventivas de segurança pública, seja refinando critérios para posicionamento de equipamentos de segurança ou seja encontrando diretrizes urbanísticas para planejamento de vias mais seguras. A sobreposição entre um mapa axial e uma camada de pontos localizando as ocorrências registradas em delegacias, poderiam revelar padrões de crimes que ocorrem em lugares mais ou menos acessíveis, ou ajudar a inferir quais os lugares são potencialmente mais frequentados ou mais ermos.

É razoável que tais dados costumem estar disponíveis nos órgãos de segurança pública organizados como tabelas com campos que identifiquem o crime e endereço da ocorrência. Existe um complemento para QGIS que a partir de cada nome das ruas constante nos campos de logradouro de tabela faz uma busca em bases de mapas como Google Maps ou OpenStreetView (Nominatim, seção 4.3) e retorna as coordenadas geográficas de cada local adicionando campos para latitude e longitude. Com isso o QGIS gera uma camada de pontos associada a uma tabela de atributos. Outro complemento do QGIS possibilita armazenar a camada em GeoJSON, facilitando sua integração com aplicações de visualização na web.

O procedimento de gerar uma tabela de pontos a partir de nomes de ruas não será detalhado aqui, pois será dada mais atenção à camada da representação axial em detrimento das camadas usuais nos SIGs, das quais vetores de pontos é uma delas.

4.1.3 Inserindo camada de representação axial de um arquivo GeoJSON:

A representação axial é feita em uma camada de vetor do tipo linha e o campus da UNI-RN é utilizado como exemplo. O propósito hipotético é auxiliar a prefeitura do campus em duas intervenções: o posicionamento da menor quantidade de painéis informativos e que possa informar mais gente e a seleção de quais pisos podem ter o acabamento mais reforçado para diminuir custos com manutenção.

O exercício foi assim escolhido por três razões. A primeira é apresentar uma quantidade de eixos bem menor que em uma cidade inteira, tornando o modelo menos complexo e mais didático. A segunda é a familiaridade com o local permitir que ao menos os frequentadores da UNI-RN consigam deduzir as respostas da análise sem o uso da sintaxe do espaço, favorecendo a avaliação da correspondência entre a visualização produzida e a realidade. A terceira e última, é que o campus da UNIRN acomoda pedestres em uma variedade de espaços abertos, corredores e ruas de tipos mais variados que a cidade em volta, onde os caminhos para andar são basicamente os mesmos dos carros e poderiam confundir linhas axiais com ruas, o que são conceitualmente diferentes. Relembrando, linhas axiais se referem a eixos de movimento (seção 2.1), então também podem cruzar largos, praças, canteiros e gramados, quando o caso, não precisam se restringir a ruas e corredores.

Figura 33 – Estrutura de dados GeoJSON da representação axial, resumida.

```
{
  "type": "FeatureCollection",
  "crs": {
    "type": "name",
    "name": "urn:ogc:def:crs:OGC:1.3:CRS84"
  },
  "features": [
    {
      "type": "Feature",
      "properties": {
        "FID": 2
      },
      "geometry": {
        "type": "LineString",
        "coordinates": [
          [
            [0, -35.194200842721095, -5.794173659097589],
            [0, -35.19278732882779, -5.794893867122323]
          ]
        ]
      }
    }
  ]
}
```

Fonte: (STACK.HU, 2016)

Figura 34 – Estrutura de dados GeoJSON da representação axial, expandida

```
{
  "type": "FeatureCollection",
  "crs": {
    "type": "name",
    "name": "urn:ogc:def:crs:OGC:1.3:CRS84"
  },
  "features": [
    {
      "type": "Feature",
      "properties": {
        "FID": 2
      },
      "geometry": {
        "type": "LineString",
        "coordinates": [
          [
            [0, -35.194200842721095, -5.794173659097589],
            [0, -35.19278732882779, -5.794893867122323]
          ]
        ]
      }
    }
  ]
}
```

Fonte: (STACK.HU, 2016)

A decisão de onde as linhas devem passar reflete o que se propõe investigar, uma escada é decidida como acesso ou barreira conforme o problema analisado. Se for relevante distinguir as rotas exclusivas para cadeirantes, podem ser feitas duas representações axiais, uma considerando as escadas como caminhos e a outra não. Se o acesso de funcionários for diferente do de alunos, o analista pode decidir qual a abrangência da representação ou fazer mais de uma. Se o objetivo for analisar somente pessoas que circulam de carro, a representação deve se restringir às vias para automóveis. Essa decisão resulta na quantidade de retas a serem memorizadas e representadas no sistema.

No caso, para o armazenamento dos dados de representação axial foi escolhida a notação GeoJSON, mostrada na Figura 33. O objeto `{crs}` se refere ao Sistema Referencial de Coordenadas adotado para todo o conjunto de *features*, a coleção de objetos geométricos. Estes aparecem parcialmente expandidos na Figura 34, que evidencia o objeto geométrico identificado com a Feature ID (FID) de valor 2. Cada linha axial do mapa corresponde a uma *geometry* do tipo *LineString* com coordenadas para o ponto inicial “[]0” e outra para o ponto final “[]1”, contendo parâmetros longitude “0:” e latitude “1:”. Nesse exemplo, as *feature* estão somente com FID para simplificar a ilustração, mas as propriedades de sintaxe do espaço também devem constar nos atributos de *properties*, como em exemplos mais adiante.

Para inserir a visualização em Leaflet.js a partir de dados anotados em GeoJSON, basta usar a função do Folium `geo_json()` indicando um caminho para o arquivo com parâmetro `geo_path`, ilustrado na linha 3 do código na Figura 35. As funções nas linhas 2 e 4 são as mesmas que foram expostas na seção 4.1.2.

Figura 35 – Função para inserção dados GeoJSON em mapa interativo usando Folium.

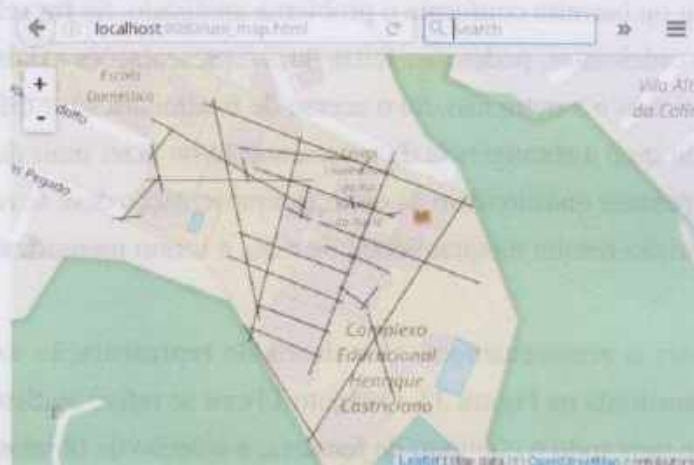
```
1 import folium
2 uni_map = folium.Map(location=[-5.79394, -35.19387], zoom_start=17)
3 uni_map.geo_json(geo_path='axialUnirNAxial.geojson')
4 uni_map.create_map(path='uni_map.html')
```

Fonte: Elaborado pelo autor.

A visualização resultante é ilustrada na Figura 36, as linhas pretas são as axiais. Como para efeito de cálculo da conectividade entre estas cada uma corresponde a um único vértice no grafo, se torna inadequado usar objetos compostos de linhas múltiplas, mesmo considerando que o GeoJSON os permita.

As informações sobre medidas da sintaxe do espaço somente com linhas da mesma cor é pouco útil. O desejável é cada linha estar sob uma escala de cor que ilustre uma medida. Contudo, é insuficiente acrescentar os valores das medidas nas propriedades das geometrias no arquivo GeoJSON. Com ou sem atributos, o resultado visual é o mesmo, linhas pretas se cruzando.

Figura 36 – Adição da camada de representação axial anotada em GeoJSON.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2 SIMULANDO A IMPLANTAÇÃO DA ESCALA DE CORES PARA DEMONSTRAR A APLICABILIDADE DO MAPA INTERATIVO

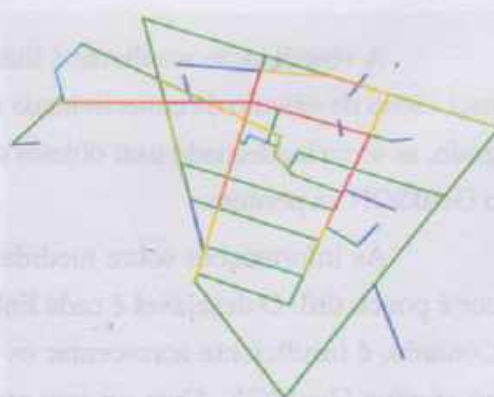
Para que as linhas fiquem coloridas é preciso relacionar valores da geometria a uma escala de cores. Mas cada medida tem um jeito diferente de variar, não basta pegar valor máximo e mínimo e fatiar em faixas “iguais” valores como os de *Choice*, por exemplo, cujas medidas não são “comportadas” – o desvio padrão é maior que a média, significando que variam muito. O SST trata esses dados e gera um segundo conjunto de medidas com menor variação, chamadas de “normalizadas” e organiza uma escala de cores com uma divisão mais adequada, chamada de “quebra naturais” ou *natural breaks*. A Figura exibe a medida *Choice* (CH) variando em cores do azul ao vermelho e painel de exploração de atributos do SST mostrando a variabilidade dos dados em um histograma. A Figura 38 expõe a medida *Choice* normalizada (NACH), na qual as diferenças de cores revelam mais nuances entre os segmentos que na opção não normalizada.

Figura 37 – Mapa de segmentos exibindo medida *Choice* (CH), produzido pelo SST.



Fonte: QGIS 2.14

Figura 38 – Mapa de segmentos, *Choice* normalizada (NACH), SST.

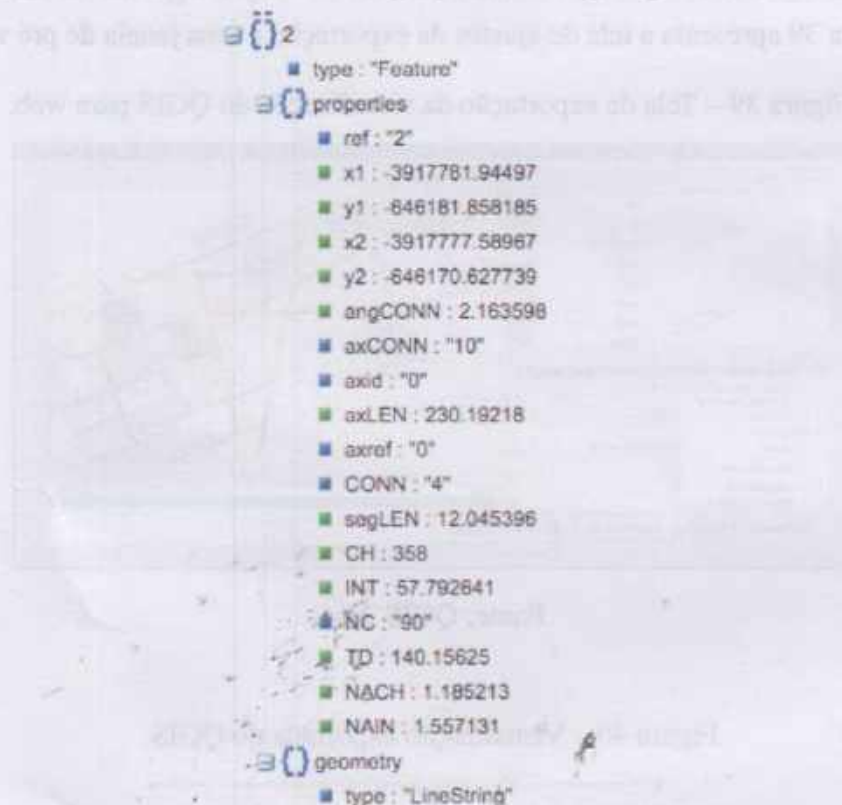


Fonte: QGIS 2.14

delas são variáveis auxiliares usadas nos cálculos de sintaxe do espaço realizados pelo SST e as mais importantes, como conectividade CONN, integração INT e NAIN (normalizada), *Choice* CH e NACH (normalizada), poderiam alternadamente repercutir na cor do mapa.

Essa limitação parece ser resultado de uma tradução literal de como os objetos geométricos se organizam no GeoJSON, a janela popup se torna um espelho de *properties* na Figura 41, falta algum mecanismo de controle mais refinado.

Figura 41 – Atributos de sintaxe do espaço em um objeto geométrico em GeoJSON



Fonte: (STACK.HU, 2016).

4.2.1 Exemplo de aplicabilidade da análise de mapa interativo de configuração espacial

Mesmo com esses problemas é possível esboçar as primeiras análises, na simulação com o popup desativado. A escala cromática das retas na Figura 42 variam de azul, mais fraca, a vermelho, mais forte, em relação a medida *Choice*, que mensura o potencial de escolha dos caminhos pelas pessoas. No caso, os segmentos mais avermelhados são os que cruzam o Átrio e os que passam rente à Reitoria em direção ao espaço e convivência Clara Camarão.

É possível inferir, por essas medidas, que os caminhos da Reitoria para dois lugares importantes de convívio têm o maior potencial de escolha de caminhos pelas pessoas. A prefeitura pode optar em colocar uma painel informativo com grandes chances de alguém passar por perto dele no Átrio ou no caminho entre a Reitoria e o edifício Clara Camarão. Também é possível

deduzir que esses caminhos em vermelho devem suportar maior carga e estão mais expostos a desgastes mecânicos que os caminhos em azul. E assim caminha a análise, relacionando organização do espaço com movimento humano e estes com outras informações espaciais ou não espaciais afim de entender ou atender algum propósito.

Figura 42 – Mapa de segmentos com a medida *choice* normalizada.



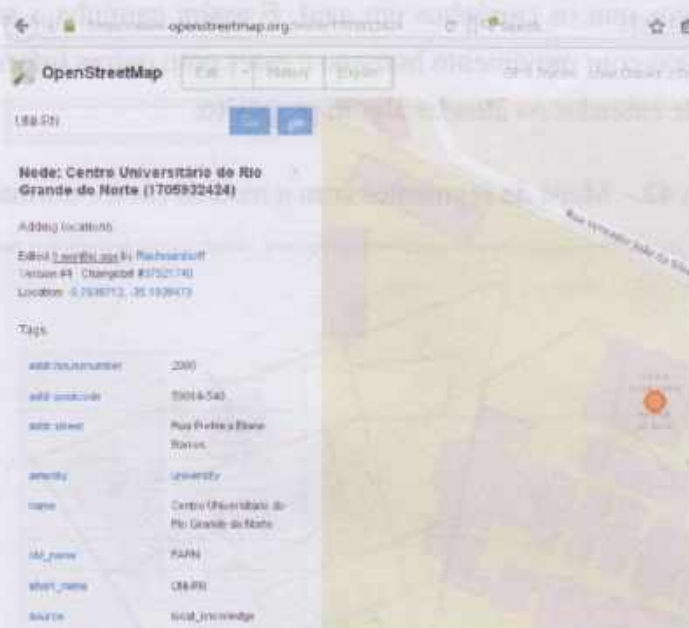
Fonte: QGIS 2.14

4.3 COMO AS COORDENADAS DA UNI-RN FORAM ENCONTRADAS

Como visto, a linha 13 do código mostrado na Seção 4.1, Figura 29, requer que as coordenadas da visualização sejam colocadas. Esta coordenada é usada para posicionar o centro da visualização. A localização da UNI-RN foi encontrada na página <<https://www.openstreetmap.org/>> fazendo a busca pelo termo “UNI-RN” na caixa de buscas. O resultado aparece na expressão “Location: -5.7938712, -35.1938473”, na Figura 43, e o ponto localizado aparece no centro da tela, destacado em laranja. A parte direita da imagem foi cortada para que as letras não apareçam reduzidas demais, mas o ponto laranja está no centro na visualização original. Essas coordenadas já estão no sistema de coordenadas WGS84 EPSG:3246.

Outra maneira de encontrar as coordenadas no OpenStreetMap, útil para quando o nome do local não é encontrado no mecanismo de busca, é arrastar e dar zoom pela imagem até encontrar o local desejado e anotar a o último par de números que aparece na URL mostrada no navegador. Por exemplo, na URL <<https://www.openstreetmap.org/#map=18/-5.79383/-35.19393>>, a latitude é -5.79383° e a longitude é -35.19393°, e o zoom é igual a 18.

Figura 43 – Encontrando localização da UNI-RN no OpenStreetMap.



Fonte: (OSM, 2016).

Os dois jeitos mencionados são operações que dependem de intermediação humana para navegar pelo site ou digitar as buscas. Se a intenção for incorporar a busca em um aplicativo, uma alternativa automatizada faz uso do Nominatim, uma ferramenta de pesquisa por nome e endereço em dados do OpenStreetMap (OPENSTREETMAP, 2016). A consulta pelo nome “UNI-RN” é feita pela URL `<http://nominatim.openstreetmap.org/search?q=uni-rn&format=xml>`, que retorna a notação XML da Figura 44. As coordenadas aparecem após as expressões `lat=` e `lon=`.

Figura 44 – Exemplo de resultado XML gerado em consulta em Nominatim.

```
<searchresults timestamp="Mon, 21 Nov 16 01:33:37 +0000"
attribution="Data © OpenStreetMap contributors, ODbL 1.0.
http://www.openstreetmap.org/copyright" querystring="uni-rn"
polygon="false" exclude_place_ids="17685813"
more_url="http://nominatim.openstreetmap.org/search.php?format=xml&
exclude_place_ids=17685813&accept-language=en-US,en;q=0.5&q=uni-rn">
  <place place_id="17685813" osm_type="node" osm_id="1705932424"
place_rank="30" boundingbox="-5.7939211,-5.7938211,-35.1938972,-
35.1937972" lat="-5.7938711" lon="-35.1938472" display_name="UNI-RN,
2000, Rua Vereador João da Silva Filho, Tirol, Natal, Microrregião de Natal,
Mesorregião do Leste Potiguar, Rio Grande do Norte, Northeast Region,
59014-540, Brazil" class="amenity" type="university" importance="0.201"
icon="http://nominatim.openstreetmap.org/images/mapicons
/education_university.p.20.png"/>
</searchresults>
```

Fonte: (OPENSTREETMAP, 2016).

A consulta <<http://nominatim.openstreetmap.org/search?q=uni-rn&format=json>> retorna a notação JSON da Figura 45. As coordenadas estão após as expressões "lat": e "lon":. Outras formas de consulta são explicadas na página de informações de Nominatim (OPENSTREETMAP, 2016).

Figura 45 – Exemplo de resultado JSON gerado em consulta em Nominatim.

```
[{"place_id":"17685813","licence":"Data © OpenStreetMap contributors,
ODbL 1.0. http://www.openstreetmap.org
/copyright","osm_type":"node","osm_id":"1705932424","boundingbox":
["-5.7939211","-5.7938211","-35.1938972","-35.1937972"],"lat":"-
5.7938711","lon":"-35.1938472","display_name":"UNI-RN, 2000, Rua
Vereador João da Silva Filho, Tirol, Natal, Microrregião de Natal,
Mesorregião do Leste Potiguar, Rio Grande do Norte, Northeast Region,
59014-540,
Brazil","class":"amenity","type":"university","importance":0.201,"icon
":"http://nominatim.openstreetmap.org/images/mapicons
/education_university.p.20.png"}]
```

Fonte: (OPENSTREETMAP, 2016).

4.3.1 Uso de coordenadas obtidas com GPS

Se a coordenada for obtida com uso de aparelhos receptores de GPS, deve ser tomado o cuidado de observar se o sistema de coordenadas apresentado pelo equipamento é o mesmo que o do mapa interativo. Caso contrário, deve ser convertido. O mapa interativo demonstrado aqui está no sistema de referência WGS84 EPSG:3246. Em geral, receptores GPS de telefone estão neste sistema, mas dependendo do aplicativo o formato numérico é grau, minutos e segundos, e não em grau decimal como usado aqui, basta converter.

5 CONCLUSÃO

Visualizar a representação de mapas axiais na plataforma web contribui para aproximar a análise da sintaxe do espaço aos Sistemas de Informação Geográfica da terceira geração, aqueles que se beneficiam da estrutura cliente-servidor ou, futuramente, do modo distribuído.

A biblioteca Leaflet se confirmou com promissora ao permitir a visualização dos eixos em mapas interativos.

A organização dos dados na notação GeoJSON se demonstrou viável, os dados de cada segmento pôde ser consultado no mapa, com ressalvas quanto ao excesso de atributos na janela popup. A relação entre visualização e modelo de dados precisa aprimorada.

Em trabalhos futuros, deve ser investigado como criar um mecanismo mais seletivo de visualização dos parâmetros. Do jeito que está, somente uma das medidas reflete nas cores das linhas, as demais ficam poluindo os popups. As alternativas que podem ser futuramente ensaiadas passam ou em reforçar a camada de visualização ou vão mais além e reorganizam a forma como os dados são organizados. Por exemplo, poderiam ser eliminados os parâmetros de sintaxe do espaço do arquivo GeoGSON, e os colocados em um novo arquivo JSON com a incumbência de dialogar com o Leaflet a relação entre cada medida e suas cores.

Do modo geral, a aplicabilidade consiste em relacionar movimento de gente no espaço com outras informações. E afinal para que serve? Tanto a parte teórica como o ensaio sobre mapa interativo buscaram ter algum reflexo em situações reais, como nos estudos citados, ou verossímeis, como na hipotética intervenção no campus da UNI-RN. Afinal, a utilidade norteia as necessidades da visualização e a aplicação.

Mesmo assim, a resposta mais adequada ainda depende das *outras* informações confrontadas com o espaço. O ponto mais propício para a bodega implica em ser verdadeira a premissa de que o comércio depende de pessoas. Colocar uma placa informativa no Átrio da UNI-RN implica na validade da premissa de que painéis são mais lidos onde passa mais gente.

Mas essas *outras* informações não seguem um padrão, ora podem ser representáveis por pontos, ora não são espaciais, algumas vem do IBGE outras de uma planilha da prefeitura, algumas são sigilosas como o perfil dos clientes de franquias ou redes de lojas.

Conclui-se que é cedo esperar um aplicativo genérico de análise da sintaxe do espaço que incorpore para qualquer uso todos os tipos de fontes de dados externas, mas o contrário parece promissor: incluir os dados sintaxe do espaço nas bases de informação já familiarizadas pelo usuário, nos aplicativos e SIGs que ele já utiliza, acrescentar uma camada nos mapas interativos já existentes e com facilidade. Este trabalho colabora com os esforços de avançar neste caminho.

REFERÊNCIAS

- AGAFONKIN, V. *Leaflet*. OpenStreetMap contributors., 2015. Disponível em: <<http://leafletjs.com;http://leafletjs.com/examples/quick-start>>. Acesso em: 7 nov. 2016. Citado 2 vezes nas páginas 42 e 43.
- ATHAN, T. et al. *QGIS user guide*. [S.l.], 2014. Disponível em: <https://docs.qgis.org/2.8/en/docs/user_manual>. Acesso em: 17 nov. 2016. Citado 2 vezes nas páginas 34 e 35.
- ATHAN, T. et al. *Sistemas de Referência de Coordenadas*. [S.l.], 2014. Disponível em: <https://docs.qgis.org/2.2/pt_BR/docs/gentle_gis_introduction/coordinate_reference_systems.html>. Acesso em: 7 nov. 2016. Citado 4 vezes nas páginas 37, 38, 39 e 40.
- BORGES, K. A. d. V. *Modelagem de Dados Geográficos*. [S.l.], 2002. (Curso de Especialização em Geoprocessamento). Citado 2 vezes nas páginas 29 e 30.
- BUTLER, H. et al. *The GeoJSON Format*. [S.l.], 2016. 14 p. Request for Comments: 7946. Disponível em: <<https://tools.ietf.org/html/rfc7946#page-14>>. Acesso em: 17 nov 2016. Citado 2 vezes nas páginas 43 e 44.
- COMUNIDADE QGISBRASIL. *Comunidade QGISBrasil*. 2016. Disponível em: <<http://qgisbrasil.org>>. Acesso em: 12 nov. 2016. Citado na página 34.
- CORE EDUCATION TATAI AHO RAU. *Mapping our world*. CORE Education Tatai Aho Rau, 2016. Disponível em: <<http://www.learnz.org.nz/location162/mapping-our-world>>. Acesso em: 7 nov. 2016. Citado na página 38.
- DAMASCENO, A. L. G.; ROCHA Neto, A. F. apostila, *Banco de Dados (I e II)*. Natal: [s.n.], 2013. 62 p. Data de criação do arquivo em PDF, documento não datado. Citado na página 30.
- DPI/INPE. *Introdução ao Geoprocessamento*. [S.l.], 2006. (Manuais SPRING). Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_geo.html>. Acesso em: 2 set. 2016. Citado na página 33.
- EUROPEAN PETROLEUM SURVEY GROUP. *EPSG Geodetic Parameter Registry*. 2016. Disponível em: <<http://www.epsg-registry.org>>. Citado 2 vezes nas páginas 41 e 42.
- FERRAZ, V. d. S. *Turismo Cultural na ZEPH-Ribeira: possibilidades e limitações*. Dissertação (Mestrado), Natal, 2008. Dissertação apresentada ao Mestrado em Arquitetura e Urbanismo sob a orientação da Professora Doutora Edja Trigueiro. Citado na página 27.
- GEOJSON.IO. *GeoJSON.io*. 2016. Disponível em: <<http://geojson.io>>. Citado na página 43.
- GEOJSON.ORG. *GeoJSON*. GeoJSON.org, 2016. Disponível em: <<http://geojson.org>>. Acesso em: 17 nov 2016. Citado 2 vezes nas páginas 41 e 44.
- GIL, J. *Workshop Análise Espacial Urbana: QGIS e 'Space Syntax Toolkit'*. [S.l.]: UCL, 2015. Citado na página 34.
- GIL, J. *Space Syntax Toolkit for QGIS*. 2016. Disponível em: <<https://github.com/SpaceGroupUCL/qgisSpaceSyntaxToolkit>>. Acesso em: 2 set. 2016. Citado 3 vezes nas páginas 35, 36 e 37.

- GIL, J. et al. The space syntax toolkit: Integrating depthmapX and exploratory spatial analysis workflows in QGIS. In: *SSS 2015-10th International Space Syntax Symposium*. [S.l.: s.n.], 2015. Citado na página 45.
- HILLIER, B. *Space is the Machine*. Cambridge: Cambridge University Press, 1996. Citado na página 21.
- 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. Citado na página 24.
- HILLIER, B.; HANSON, J. *The social logic of space*. Cambridge: Cambridge University Press, 1984. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 22.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Geodésia*. 2016. Frequently Asked Questions - Perguntas Mais Frequentes. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/pmrg/faq.shtm>>. Acesso em: 23 nov 2016. Citado na página 40.
- JIANG, B.; CLARAMUNT, C. A Comparison study on space syntax as a computer model of space. In: HOLANDA, F. (Ed.). *Proceedings, Second International Symposium on Space Syntax, Universidade de Brasília, Brasília*. Brasília, 1999. v. 29, p. 09–01. Citado 3 vezes nas páginas 13, 31 e 32.
- LAURINI, R.; THOMPSON, D. *Fundamentals of Spatial Information Systems*. London: Academic Press, 1992. 680 p. (Apic Studies in Data Processing). Citado na página 29.
- MACKENZIE, J. *FREC 682: Spatial Analysis COURSE SYLLABUS*. 2016. Disponível em: <<https://www1.udel.edu/johnmack/frec682>>. Acesso em: 07 nov 2016. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 29.
- MEDEIROS, V. A. S. de. O Espaço e as Leis: Estratégias para o Planejamento da Câmara dos Deputados. *E-Legis-Revista Eletrônica do Programa de Pós-Graduação da Câmara dos Deputados*, v. 4, n. 4, p. 114–132, 2010. Citado na página 27.
- MERSIN UNIVERSITY. *Space Syntax Studies at Mersin University*. 2016. Disponível em: <<http://mekandizim.mersin.edu.tr/index.html>>. Acesso em: 12 nov. 2016. Citado na página 34.
- NETTO, P. O. B. *Grafos: teoria, modelos, algoritmos*. São Paulo: Edgard Blücher, 2003. Utilizado na disciplina Algoritmos e Estruturas de Dados IV do curso de BSI-UNIRN. Citado na página 33.
- OPEN GEOSPATIAL CONSORTIUM (OGC). *OGC Naming Authority*. 2016. Disponível em: <<http://www.opengeospatial.org/ogcna>>. Acesso em: 23 nov 2016. Citado na página 41.
- OPENSTREETMAP. *Nominatim*. OpenStreetMap, 2016. Disponível em: <<http://wiki.openstreetmap.org/wiki/Nominatim>; <http://nominatim.openstreetmap.org>>. Acesso em: 2 set. 2016. Citado 2 vezes nas páginas 58 e 59.
- OPENSTREETMAP CONTRIBUTORS. *OpenStreetMap*. 2016. Disponível em: <<https://www.openstreetmap.org>>. Acesso em: 2 set. 2016. Citado 5 vezes nas páginas 29, 41, 42, 48 e 58.

- OPENSTREETMAP FOUNDATION. *OpenStreetMap Foundation*. 2016. Disponível em: <http://wiki.osmfoundation.org/wiki/Main_Page>. Acesso em: 12 out. 2016. Citado na página 41.
- OSGEO. *The Open Source Geospatial Foundation*. 2016. Disponível em: <<http://www.osgeo.org>>. Acesso em: 12 nov. 2016. Citado na página 34.
- SABOYA, R. *Sintaxe espacial e a teoria do Movimento Natural*. 2010. Disponível em: <<http://urbanidades.arq.br/2010/07/sintaxe-espacial-e-a-teoria-do-movimento-natural>>. Acesso em: 17 nov 2016. Citado na página 25.
- SNOW, J. Original map made by John Snow in 1854. In: _____. *On the Mode of Communication of Cholera*. 2nd ed. ed. Southhampton Buildings, London, England: C.F. Cheffins, 1855. Original upload date on Wikipedia: 2006-12-30. Disponível em: <http://matrix.msu.edu/~johnsnow/images/online_companion/chapter_images/fig12-5.jpg>. Acesso em: 07 nov 2016. Citado na página 28.
- SPACE SYNTAX LABORATORY. *Space Syntax Network*. 2016. Disponível em: <www.spacesyntax.net>. Acesso em: 7 nov. 2016. Citado na página 21.
- SPACE SYNTAX LABORATORY; SPACE SYNTAX LIMITED. *Online Training Platform*. 2016. Disponível em: <<http://otp.spacesyntax.net>>. Acesso em: 7 nov. 2016. Citado na página 21.
- STACK.HU. *JSON viewer*. 2016. Disponível em: <<http://jsonviewer.stack.hu>>. Acesso em: 17 nov 2016. Citado 2 vezes nas páginas 52 e 56.
- STONOR, T.; PARHAM, E. *Introducion to Space Syntax: theory, technology & practice*. 2011. Disponível em: <http://www.slideboom.com/presentations/292558/Intro-to-Space-Syntax_Day-1>. Acesso em: 07 nov 2016. Citado 4 vezes nas páginas 22, 23, 24 e 25.
- TRIGUEIRO, E. et al. Por um centro antigo (re) animado: utilizando geoprocessamento como recurso para planejar o sítio histórico da Ribeira, Natal, RN. INPE, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 26.
- TRIGUEIRO, E. B. F.; MEDEIROS, V. The Bridge, the market, a centrality forever lost and some hope. In: *Proceedings of the Sixth International Space Syntax Symposium. Istanbul, Turkey: Istanbul Technical University, Faculty of Architecture*. [S.l.: s.n.], 2007. Citado na página 27.
- VAROUDIS, T. *DepthmapX*. 2016. Disponível em: <<http://varoudis.github.io/depthmapX>>. Acesso em: 2 set. 2016. Citado na página 36.