

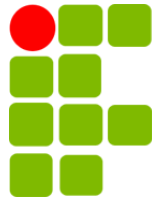
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da  
Paraíba  
Campus Campina Grande  
Curso Superior de Engenharia de Computação

# **Medidas de Topologia de Redes de Rua como Indicadores Complementares para Análise de Mobilidade Urbana: Um Estudo Aplicado**

LÍLIAN HONORIO TEIXEIRA

Orientador: Paulo Ribeiro Lins Júnior, D.Sc.

Campina Grande, Setembro de 2024  
©Lílian Honorio Teixeira



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da  
Paraíba  
Campus Campina Grande  
Curso Superior de Engenharia de Computação

Complementares para Análise de Mobilidade Urbana:  
Um Estudo Aplicado

LÍLIAN HONORIO TEIXEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso Engenharia de  
Computação, do Instituto Federal da  
Paraíba – Campus Campina Grande,  
em cumprimento às exigências parciais  
para a obtenção do título de Bacharel  
em Engenharia de Computação.

Orientador: Paulo Ribeiro Lins Júnior, D.Sc.

Campina Grande, Setembro de 2024

T266m Teixeira, Lílian Honorio

Medidas de topologia de redes de rua como indicadores complementares para análise de mobilidade urbana: um estudo aplicado / Lílian Honorio Teixeira. - Campina Grande, 2024.

28 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Engenharia de Computação) - Instituto Federal da Paraíba, 2024.

Orientador: Prof. D.Sc. Paulo Ribeiro Lins Júnior,.

1. Mobilidade urbana - análise 2. Análise topológica 3. Engenharia de computação - redes de rua I. Lins Júnior, Paulo Ribeiro II.Título.

CDU 519.8:711

# Medidas de Topologia de Redes de Rua como Indicadores Complementares para Análise de Mobilidade Urbana: Um Estudo Aplicado

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso Engenharia de  
Computação, do Instituto Federal da  
Paraíba – Campus Campina Grande,  
em cumprimento às exigências parciais  
para a obtenção do título de Bacharel  
em Engenharia de Computação.

Aprovada em 30/09/2024

---

Paulo Ribeiro Lins Júnior, D.Sc.  
Orientador

---

David Candeia Medeiros Maia, D.Sc.  
Membro da Banca

---

Igor Barbosa da Costa, D.Sc.  
Membro da Banca

Campina Grande, Paraíba, Brasil  
Setembro/2024

*“A educação é a arma mais poderosa  
que você pode usar para mudar o  
mundo.”*

*Nelson Mandela*

## **Agradecimentos**

Gostaria de dedicar este trabalho, primeiramente, a Deus, cuja presença constante foi meu sustento e fonte de força ao longo de toda a jornada acadêmica, enfrentando tanto as alegrias quanto os desafios.

Aos meus pais, Maria Luciana e Jailton, e às minhas irmãs, Lays e Laura, expresso minha gratidão pelo apoio e pelo incentivo constante durante todo o curso. Seu amor e encorajamento foram fundamentais para o meu sucesso.

Aos meus amigos, que estiveram ao meu lado, oferecendo suporte e motivação, e ajuda no momento de dificuldades.

Aos professores que, com seus ensinamentos e dedicação, contribuíram para o meu crescimento acadêmico e profissional. Em especial, agradeço ao professor Paulo Ribeiro, por aceitar o desafio de orientar este trabalho e por sua paciência, orientação e apoio contínuo ao longo deste percurso.

Ao IFPB, minha gratidão pela acolhida e pelo ambiente estimulante que proporcionou. A instituição foi crucial para meu desenvolvimento pessoal e profissional, oferecendo recursos e oportunidades que enriqueceram minha formação.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, meu muito obrigado.

# Medidas de Topologia de Redes de Rua como Indicadores Complementares para Análise de Mobilidade Urbana: Um Estudo Aplicado

Teixeira H. Lílian<sup>1</sup>, Lins Junior R. Paulo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Ciência e Tecnologia– IFPB - Campus Campina Grande (IFPB)  
CEP 58432-300– Campina Grande - PB– Brazil

{honorio.lilian, ribeiro.paulo,}@academico.ifpb.edu.br

**Resumo.** *O artigo analisa o uso de características topológicas das redes de ruas de uma dada localidade como possível conjunto de indicadores complementares para análise de mobilidade urbana. A partir dessa análise propõe um novo índice chamado de MURR - Índice de Mobilidade Urbana Baseado nas Medidas da Rede de Ruas baseado em medidas dessas redes, considerando os bairros como nível de granularidade, que ranqueia as localidades em função de sua necessidade de estruturação viária. Um caso de uso é construído considerando três cenários com 10 bairros selecionados levando em consideração a sua localização na cidade (bairros periféricos, bairros centrais e bairros de alto poder aquisitivo) das cidades de João Pessoa – PB, Natal – RN e Recife – PE. Esses 10 bairros foram ranqueados primeiramente com base em cada característica de rede individualmente, depois com o índice que considera a influência conjunta de todas. Os resultados apontam para a importância de considerar aspectos topológicos das redes de rua como possíveis indicadores do impacto da granularidade da área observada nos estudos sobre mobilidade urbana.*

**Abstract.** *This article analyzes the use of topological characteristics of street networks in a given location as a possible set of complementary indicators for analyzing urban mobility. Based on this analysis, it proposes a new index called MURR - Urban Mobility Index Based on Street Network Measurements, based on measurements of these networks, considering neighborhoods as a level of granularity, which ranks locations according to their need for road structuring. A use case is constructed considering three scenarios with 10 neighborhoods selected taking into account their location in the city (peripheral neighborhoods, central neighborhoods and high-income neighborhoods) in the cities of João Pessoa - PB, Natal - RN and Recife - PE. These 10 neighborhoods were ranked first based on each network characteristic individually, then with the index that considers the joint influence of all of them. The results point to the importance of considering topological aspects of street networks as possible indicators of the impact of area granularity observed in studies on urban mobility.*

## 1. Introdução

A Lei nº 12.587, de janeiro de 2012, instituiu a Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU), com o objetivo de orientar a atuação governamental em busca de uma mobilidade urbana cada vez mais sustentável [6].

Com isso, gestores dos governos municipais, estaduais e federal tiveram de apresentar propostas metodológicas e indicadores para executar e avaliar planos de mobilidade urbana contemplando aspectos importantes à dinâmica das cidades e de seu uso pelas pessoas, como a estrutura de circulação viária, as infraestruturas do sistema de mobilidade urbana, os serviços de transporte público coletivo, entre outros.

Nesse âmbito, o relatório *Indicadores para monitoramento e avaliação da efetividade da Política Nacional de Mobilidade Urbana* (PNMU) [6], produzido pela Secretaria Nacional de Mobilidade Urbana em 2018, vinculada ao Ministério das Cidades, apresentou uma lista de 31 indicadores, construídos a partir de 7 eixos temáticos: **Qualidade do sistema de mobilidade urbana, Desenvolvimento urbano integrado, Sustentabilidade econômica e financeira, Gestão democrática e controle social, Acesso e equidade, Sustentabilidade Ambiental e Acidentes de transportes.**

Os indicadores e eixos temáticos estão alinhados com os resultados efetivos da implementação da PMNU, como podemos ver a seguir:

**Table 1. Eixos e Indicadores**

| <b>Eixo</b>                               | <b>Indicadores</b>   |
|---|--|
| Qualidade do sistema de mobilidade urbana | Percentual da população que gasta 1 hora ou mais no deslocamento casa-trabalho (total e por faixa de renda)                          |
|   | Percentual de pontos de acesso com informação sobre itinerário, horário, tarifa, integração, mapas por modo                          |
|   | Pesquisa de satisfação do usuário  |
|   | Índice de Desempenho Operacional   |
| Desenvolvimento urbano integrado          | Percentual da população vivendo próxima a terminais e estações de transporte de média e alta capacidade (total e por faixa de renda) |
|   | Percentual de habitação de interesse social próximas ao transporte de média ou alta capacidade                                       |
|   | Percentual de hospitais públicos próximos a terminais e estações de transporte de média e alta capacidade                            |
|   | Percentual de universidades públicas próximas a terminais e estações de transporte de média e alta capacidade                        |
|   | Índice de distribuição da população em relação aos postos de trabalho  |
| Sustentabilidade econômica e financeira   | Percentual de receita extratarifária do sistema de transporte coletivo por ônibus  |
| Gestão democrática e controle social      | Índice de transparência  |
|   | Índice de participação social  |
|   |  |

*Continua na próxima página*



Table 1 – *Continuação da tabela*

| <b>Eixo</b>                | <b>Indicadores</b>  |
|----------------------------|---|
| Acesso e equidade          | Peso do custo de transporte público na renda média  |
|                            | Evolução do número de passageiros no sistema de transporte público coletivo   |
|                            | Percentual da população próxima a pontos de embarque de transporte público coletivo                                 |
|                            | Percentual de postos de trabalho próximos a terminais e estações de transporte de média e alta capacidade           |
|                            | Razão entre número médio de viagens por modo dos moradores de domicílios mais ricos em relação aos mais pobres      |
|                            | Divisão modal (total e por faixa de renda)  |
|                            | Tempo médio de viagem desagregado por modo de transporte  |
| Sustentabilidade ambiental | Número de viagens de pessoas com deficiência X número de viagens per capita   |
|                            | Percentual de combustíveis renováveis na matriz energética do transporte  |
|                            | Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEEs) per capita  |
|                            | Emissões de poluentes locais per capita   |
|                            | Percentual de dias com boa qualidade do ar  |
|                            | Número de viagens feitas por modos de transporte não motorizados X modos de transporte motorizados                  |
|                            | Número de viagens feitas por transporte coletivo X motorizado individual  |
| Acidentes de transportes   | População exposta ao ruído de tráfego   |
|                            | Número de mortos em acidentes de trânsito por 100 mil habitantes (total e por modo de deslocamento)                 |
|                            | Número de feridos hospitalizados em acidentes de trânsito por 100 mil habitantes (total e por modo de deslocamento) |
|                            | Gasto com internações de feridos hospitalizados no SUS devido a acidentes de trânsito por 100 mil habitantes        |
|                            | Gasto total com indenizações (mortes e invalidez) pagas pelo Seguro DPVAT   |

No entanto, poucos desses indicadores consideram como um aspecto primário relevante a estrutura da malha viária ou dos espaços de deslocamento de pedestres, veículos e/ou ciclistas, deixando oculta a importância de investimentos nessas estruturas sobre diversos outros indicadores, como, por exemplo, o peso do custo de transporte público na renda média ou percentual da população que gasta uma hora ou mais no deslocamento casa/trabalho.

Levando esses pontos em consideração, é fundamental presumir o desenvolvimento de modelos que possam representar essas estruturas viárias e possibilitar a mensuração de suas

características. Tornando possível, observações mais quantitativas que guiarão ações mais direcionadas por parte dos gestores, e nesse aspecto, modelos que usam representação de redes de ruas são importantes aliados.

Nesse contexto, uma das possíveis abordagens é o uso de redes de ruas, que são basicamente representações em grafos da estrutura viária de uma região, construídas a partir do mapa original, do qual são filtrados todos os elementos que não fazem parte das malhas viárias. Nessas redes, os nós representam estruturas urbanas, como praças, edificações ou espaços urbanos, e os enlaces representam as vias de tráfego das ruas.

Diversos trabalhos tem investigado a influência de características e medidas de redes de rua no contexto de mobilidade urbana, [1], [4], [7] e [8]. No entanto, praticamente a totalidade dos trabalhos do tema não consideram essas influências em arranjos físicos de menor granularidade, como bairros ou regiões administrativas, dando preferência a escalas de redes que contemplam cidades ou aglomerados delas, podendo assim passar despercebido as variações de características de redes quando consideramos estruturas com menor granularidade.

Esse trabalho tem como objetivo principal analisar a influência da topologia das redes de ruas de dada localidade (João Pessoa, Natal e Recife) como possível conjunto complementar de indicadores para análise de mobilidade urbana e propor um índice de mobilidade urbana baseado em medidas da rede de ruas, intitulado MURR. Considerando os bairros como nível de granularidade dessa análise, para auxiliar atores governamentais e gestores a direcionar de uma forma mais precisa os recursos disponíveis para as melhorias necessárias da mobilidade urbana e de todos os aspectos sócio-econômicos associados a ela.

O restante do trabalho é organizado como descrito a seguir: na seção 2 é apresentada a proposta de um índice de mobilidade urbana com base nas medidas da rede de ruas de uma localidade; na seção 3, é apresentada a metodologia do estudo desenvolvido nesse trabalho; os resultados e suas discussões são apresentados na seção 4; e, por fim, a seção 5 traz as conclusões do trabalho.

## 2. MURR – Índice de Mobilidade Urbana Baseado nas Medidas da Rede de Ruas

Uma das contribuições diretas desse trabalho é a apresentação de um novo índice que utilize medidas da rede de rua como critérios para que um método de decisão multicritério ranqueie as localidades analisadas de acordo com as informações topológicas dessas redes, indicando, em ordem crescente, as que necessitam de mais investimentos de infraestrutura viária.

São consideradas, para esse trabalho, as seguintes medidas de redes:

- **n**: contagem de nós no grafo, referente ao número de estruturas e pontos de interesse das ruas;
- **m**: contagem de arestas no grafo, referente ao número de ruas ligando as estruturas consideradas;
- **k-avg**: grau médio do nó do grafo (grau de entrada e grau de saída);
- **edge-length-total**: comprimento total da aresta do grafo (metros), relativo ao tamanho total da rua;
- **edge-length-avg**: comprimento médio das ruas;
- **streets-per-node-avg**: quantidade média de ruas que se conectam a cada nó;
- **streets-per-node-counts**: quantidade de ruas por nó;
- **streets-per-node-proportions**: proporção de ruas por nó;
- **intersection-count**: quantidade de interseções no grafo;
- **street-length-total**: comprimento total do segmento de rua do grafo;
- **street-segment-count**: contagem dos segmentos de rua do grafo;
- **street-length-avg**: comprimento médio da rua;
- **circuitry-avg**: comprimento médio do circuito de rua usando as arestas não direcionadas;
- **self-loop-proportion**: proporção de arestas que são auto loops no grafo;
- **clean-intersection-count**: quantidade de intersecções limpas entre as arestas;
- **node-density-km**: contagem de nós no grafo por quilômetro quadrado;
- **intersection-density-km**: densidade de intersecções por quilômetro;
- **edge-density-km**: densidade de bordas por quilômetro;
- **street-density-km**: densidade de ruas por quilômetro;
- **clean-intersection-density-km**: densidade de intersecções limpas por quilômetro.

Para a construção do índice, iniciamos com a elaboração de uma matriz de decisão  $X$  contendo em suas linhas os  $m$  bairros a serem analisados  $A_1, A_2 \cdots A_m$ , e nas colunas, os  $n$  critérios  $C_1, C_2 \cdots C_n$  a serem considerados, que nesse trabalho são as medidas de rede de ruas, como mostrado na equação 1.

$$X = \begin{matrix} & C_1 & C_1 & C_1 & \cdots & C_n \\ A_1 & \left[ \begin{array}{cccccc} x_{11} & x_{12} & x_{13} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & \cdots & x_{2n} \\ x_{31} & x_{23} & x_{33} & \cdots & x_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & x_{m3} & \cdots & x_{mn} \end{array} \right. & \end{matrix} \quad (1)$$

A matriz de decisão obtida serve como entrada para um método decisório multicritério, optando-se, para a construção desse índice nesse trabalho, pelo TOPSIS (*Technique of Order Preference Similarity to the Ideal Solution*). Uma técnica de avaliação de performance de

alternativas através da similaridade com uma solução ideal e dessimilaridade com uma solução não ideal, de modo que a melhor alternativa seja aquela mais próxima da solução ideal e mais distante da solução não ideal, o que casa perfeitamente com a necessidade do trabalho [3].

A variação do método TOPSIS usada na construção do índice MURR segue os seguintes passos:

1. **normalização da matriz de decisão**, que permite que todos os critérios possam ser comparados diretamente, independente de suas ordens de grandeza ou de sua natureza, feita pela equação

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}, i = 1, 2, 3, \dots, m; j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2)$$

2. **cálculo das soluções ideal e não ideal**, respectivamente o melhor e o pior casos, considerando o cenário em estudo, usando a seguinte equação

$$A^+ = (p_1^+, p_2^+, \dots, p_n^+) \quad A^- = (p_1^-, p_2^-, \dots, p_n^-) \quad (3)$$

em que  $p_j^+ = \max(r_{ij})$  e  $p_j^- = \min(r_{ij})$ .

3. **cálculo das distâncias** entre os valores de cada critério e as soluções ideal ( $d_i^+$ ) e não ideal ( $d_i^-$ ), usando medidas de distância (nesse trabalho optou-se, por simplicidade, pela norma L2)

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (p_j^+ - r_{ij})^2} \quad d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (p_j^- - r_{ij})^2} \quad (4)$$

4. **cálculo do índice MURR**, que permite escolher como melhor alternativa aquela mais próxima da solução ideal positiva e mais distante da solução ideal negativa. Como o objetivo desse trabalho é que no topo do *ranking* esteja a localidade com maior necessidade de investimento, optou-se por uma alteração no cálculo desse índice, sendo usada a seguinte equação.

$$MURR = \frac{d_i^+}{d_i^+ + d_i^-}, \quad 0 \leq MURR \leq 1. \quad (5)$$

Ao final, com base no índice de proximidade relativa MURR, pode-se, então, ranquear as alternativas do problema, que no caso desse trabalho, são os bairros considerados no estudo.

### 3. Metodologia

#### 3.1. Aspectos Metodológicos

Nesse trabalho, foram consideradas as informações da topologia de três capitais da região Nordeste do Brasil: João Pessoa, na Paraíba; Natal, no Rio Grande do Norte e Recife, de Pernambuco. Essas capitais foram escolhidas para contemplar similaridades e diferenças que pudessem ser afetadas diretamente pela mobilidade urbana. As três são cidades litorâneas, com praias urbanas em regiões habitadas e são também roteiros turísticos e de negócios, mas, apesar disso, tem dimensões geográficas, demográficas e socio-econômicas diferentes.

De cada cidade foram selecionados 10 bairros, dos quais foram considerados:

- **em João Pessoa:** Torre, Tambaúzinho, Expedicionários, Miramar, Cabo Branco, Tambaú, Manaíra, Costa do Sol, Barra de Gramame e Muçumagro, assinalados no mapa da Figura 1.



Figure 1. Mapa de João Pessoa, com os bairros considerados nesse estudo em destaque.

- **em Natal:** Tirol, Alecrim, Petrópolis, Redinha, Nossa Senhora da Apresentação, Igapó, Lagoa Azul, Barro Vermelho, Bom Pastor e Areia Preta, assinalados no mapa da Figura 2.



Figure 2. Mapa de Natal, com os bairros considerados nesse estudo em destaque.

- **em Recife:** Santo Amaro, Pina, Vasco da Gama, Boa Vista, Bairro do Recife, São José, Santo Antônio, Boa Viagem, Nova Descoberta e Dois Unidos, , assinalados no mapa da Figura 3.



**Figure 3. Mapa de Recife, com os bairros considerados nesse estudo em destaque.**

Os dados das redes de ruas das cidades foram obtidos através do OpenStreetMap [5], que é um banco de dados de mapeamento mundial colaborativo e de código aberto, no qual é possível obter dados de ruas e interseções, juntamente com dados de atributos sobre os tipos de estradas, nomes e (quando disponíveis) velocidades, larguras e números de faixas, tendo como licença a *Open Data Commons Open Database License*. Foram obtidos dados de redes de ruas referentes ao deslocamento de automóveis e de pedestres, utilizando-se a biblioteca OSMNx [2], escrita em Python.

A análise desenvolvida no artigo é dividida em duas partes. No primeiro momento, temos todas as medidas que foram listadas na seção 2 comparadas isoladamente com relação à rede

de ruas referentes ao deslocamento de automóveis e de pedestres, sendo gerado um ranqueamento entre os bairros analisados em cada cidade, para cada medida, em ordem decrescente. Essa comparação é necessária para dar uma visão de que características da rede se diferenciam mais nas localidades analisadas, e como elas podem impactar isoladamente na mobilidade considerando as duas formas de tráfego e fornecer informações relevantes na análise da mobilidade urbana.

Em um segundo momento, as mesmas métricas foram consideradas de formas conjunta, para obter um ranqueamento dos bairros analisados com base na sua necessidade de melhor estruturar suas redes de ruas, compondo o índice MURR proposto no trabalho e usando o TOPSIS, descrito na seção 2 do artigo.



## 4. Resultados e Discussões

### 4.1. Medidas de Redes Obtidas por Cidade

#### 4.1.1. João Pessoa

Nas Figuras 4a a 4q são apresentados os gráficos para a cidade de João Pessoa, de cada uma das métricas de rede listadas na seção 2, agrupadas por bairros e com valores ordenados de forma decrescente, visando facilitar a leitura das informações apresentadas.

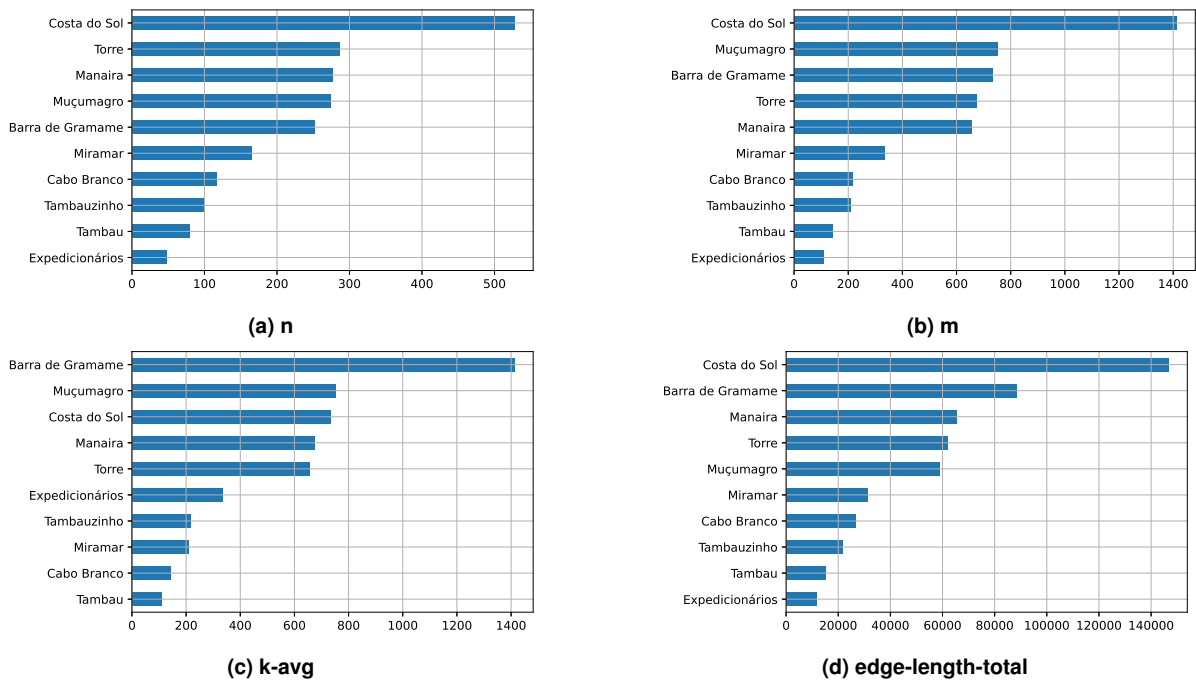
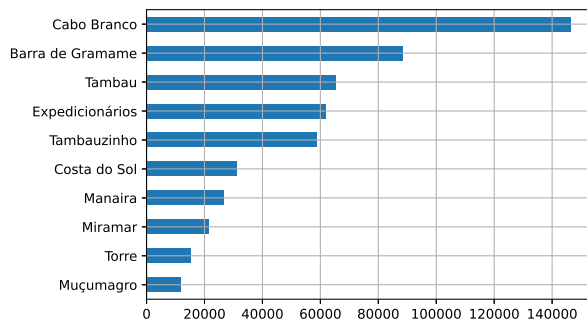
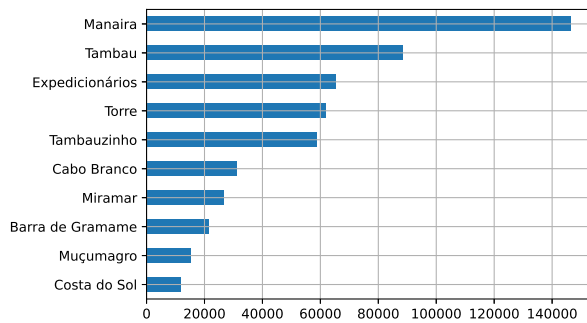


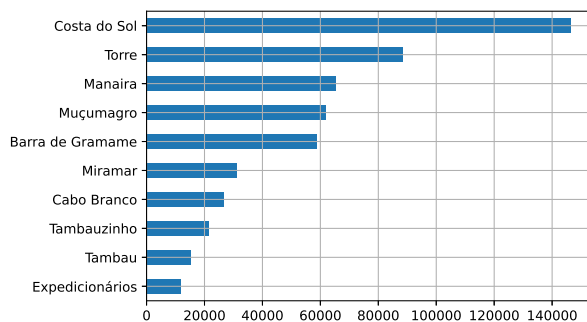
Figure 4. Comparação entre medidas da rede de ruas da cidade de João Pessoa - PB - parte 1



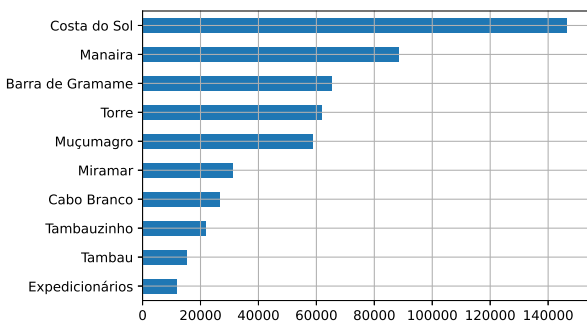
(e) edge-length-avg



(f) streets-per-node-avg

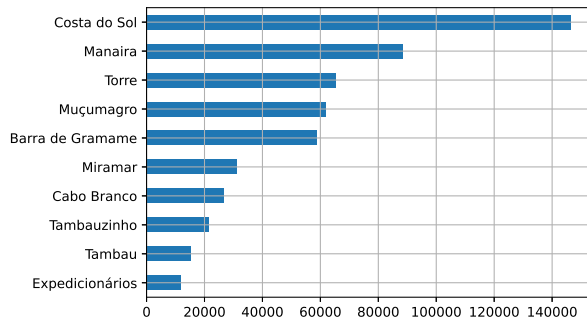


(g) intersection-count

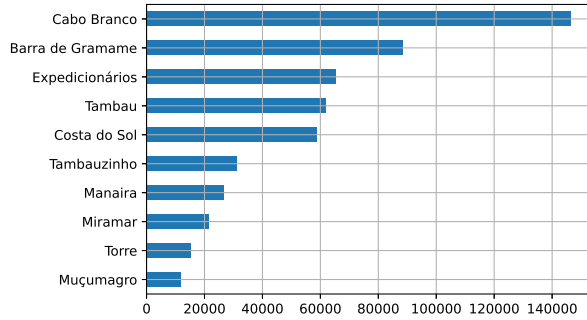


(h) street-length-total

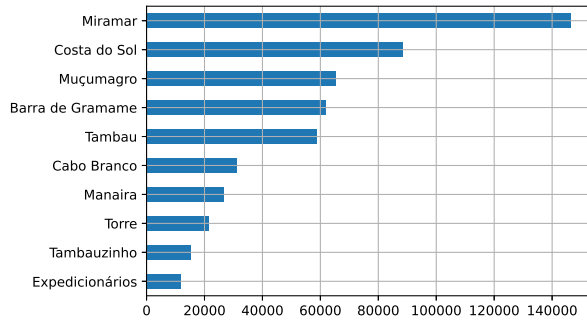
Figure 4. Comparação entre medidas da rede de ruas da cidade de João Pessoa - PB - parte 2



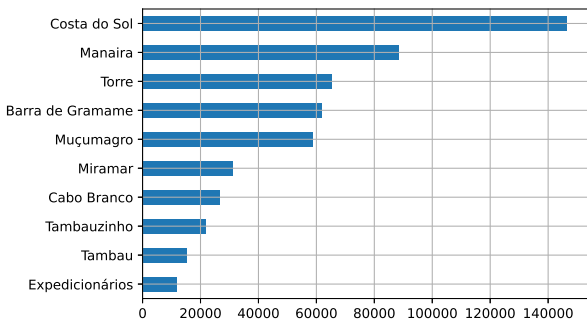
(i) street-segment-count



(j) street-length-avg

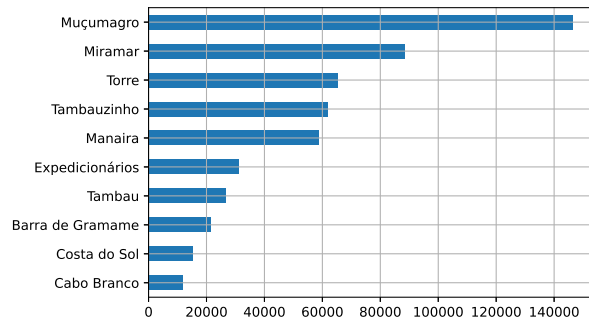


(k) circuitry-avg

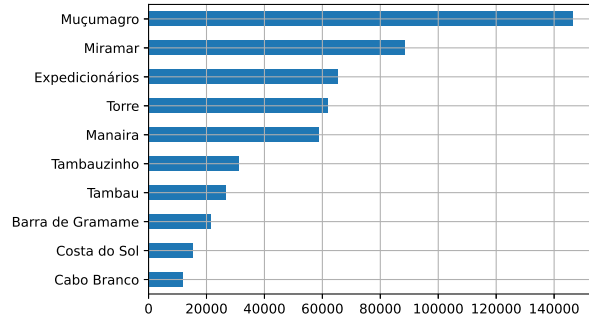


(l) clean-intersection-count

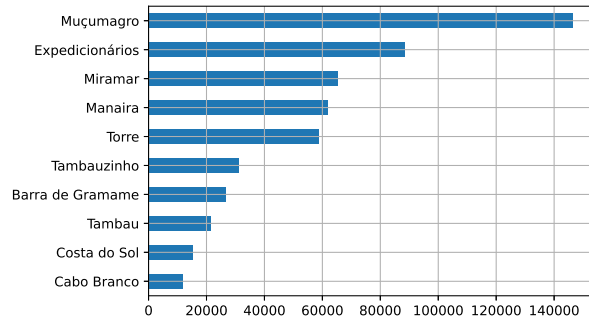
Figure 4. Comparação entre medidas da rede de ruas da cidade de João Pessoa - PB - parte 3



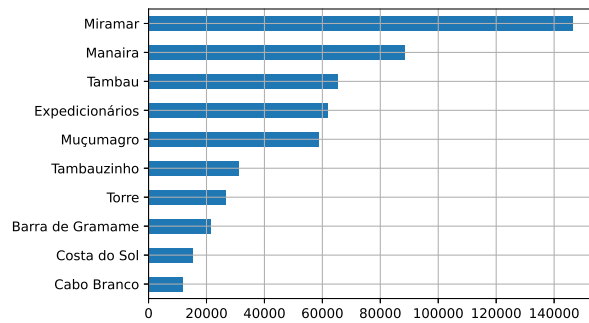
(m) node-density-km



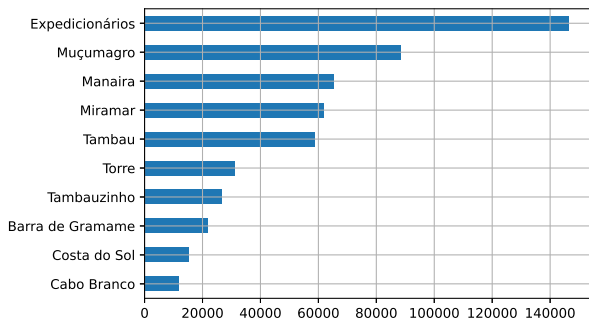
(n) intersection-density-km



(o) edge-density-km



(p) street-density-km



(q) clean-intersection-density-km

Figure 4. Comparação entre medidas da rede de ruas da cidade de João Pessoa - PB - parte 4

O primeiro ponto que podemos destacar ao observar os gráficos, é que não existe uma unanimidade com relação ao ordenamento dos bairros analisados em todas as medidas consideradas. Pode-se observar, por exemplo, que o *ranking* obtido da análise do número de nós ( $n$ ), que no caso de redes de ruas pode representar a junção de ruas, pontos de interesse (casas, comércios, prédios, etc.), ou até mesmo espaços abertos como praças e parques, apresenta uma diferença bastante considerável quando comparado com o grau médio dos nós ( $k$ -avg), que compara o número de nós com o número de arestas do grafo (ruas, no caso em questão).

É perceptível que existem diferenças nas distribuições conjuntas apresentadas em cada gráfico, sendo a distribuição apresentada na Figura 4c muito mais próxima de uma distribuição uniforme, o que não acontece com a distribuição do número de nós (Figura 4a), na qual existe uma grande concentração de ocorrências em alguns bairros, gerando quase um efeito de cauda nos bairros com menor quantidade de nós.

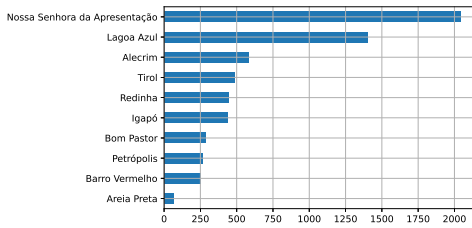
Em contra partida, quando são comparadas as distribuições apresentadas nos gráficos das Figuras 4a, 4b, 4d, 4g, 4h e 4i, por exemplo, é possível perceber que elas tem praticamente a mesma forma, inclusive com praticamente as mesmas posições no ranqueamento dos bairros. É possível observar também, esse mesmo comportamento entre outras medidas.

Curiosamente, essas similaridades nas distribuições das medidas consideradas acontecem com medidas que foram computadas de forma similar. É possível, observando esses gráficos, notar a ocorrência de, ao menos, três grupos: medidas obtidas por contagem, medidas formadas por médias de outros valores e medidas de densidade.

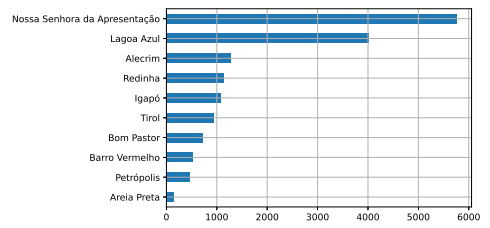
É importante destacar também que as características das redes de rua não se mantêm as mesmas para bairros que compartilham fronteiras. Podemos ver essa situação, quando comparamos os resultados apresentados para a densidade de nós por quilômetro (Figura 4m). Os resultados obtidos para os bairros de Costa do Sol e Barra de Gramame se assemelham, porém são mais de 300% menores do que o resultado para o bairro do Muçumagro. O mesmo fenômeno também é observável quando são comparados os bairros de Cabo Branco, Miramar e Tambaú, que são todos adjuntos, porém Cabo Branco apresenta, do ponto de vista dos automóveis, cerca de  $35 \text{ nós}/\text{km}^2$ , Miramar tem aproximadamente  $147 \text{ nós}/\text{km}^2$  e Tambaú  $110 \text{ nós}/\text{km}^2$ . Para além desses exemplos, essa discrepância entre bairros vizinhos se repete em praticamente todas as medidas observadas.

#### **4.1.2. Natal**

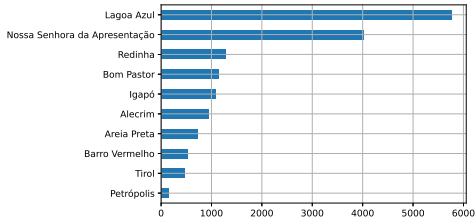
Nas Figuras 5a a 5q são apresentados os gráficos de cada uma das métricas de rede listadas na seção 2, para a cidade de Natal, também agrupadas por bairros e com valores ordenados de forma decrescente.



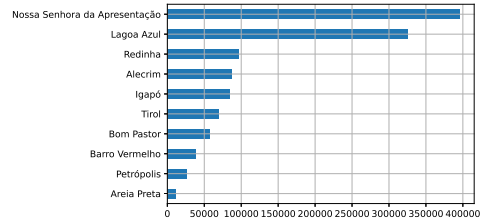
(a) n



(b) m

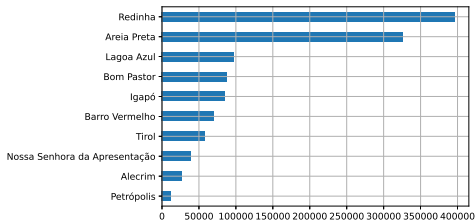


(c) k-avg

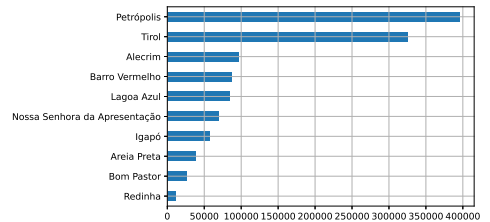


(d) edge-length-total

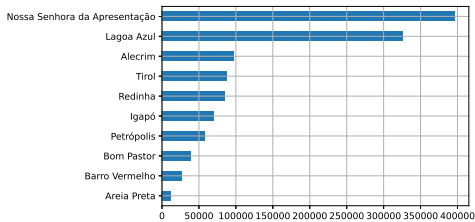
Figure 5. Comparação entre medidas da rede de ruas da cidade de Natal - RN - parte 1



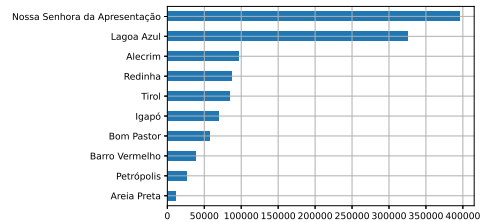
(e) edge-length-avg



(f) streets-per-node-avg

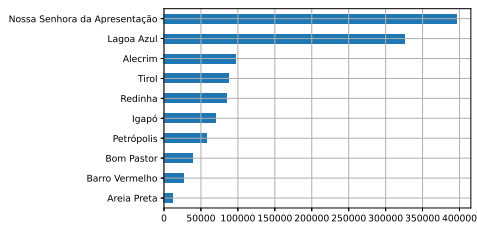


(g) intersection-count

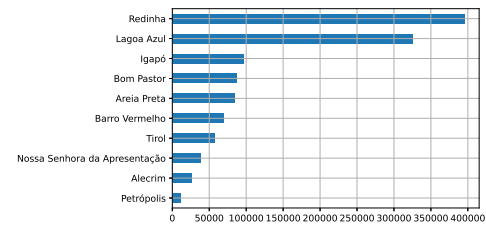


(h) street-length-total

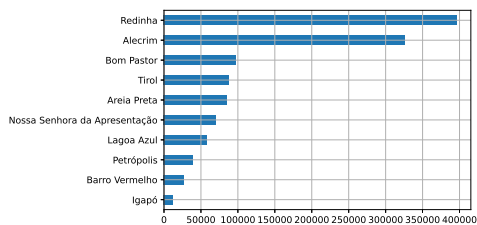
Figure 5. Comparação entre medidas da rede de ruas da cidade de Natal - RN - parte 2



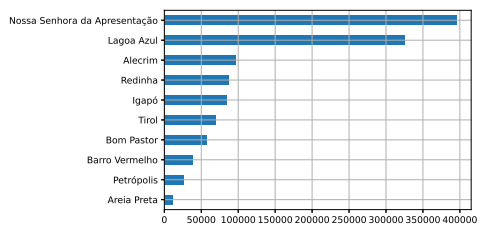
(i) street-segment-count



(j) street-length-avg

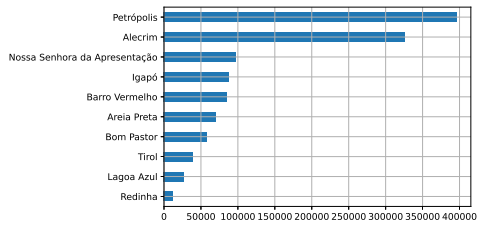


(k) circuitry-avg

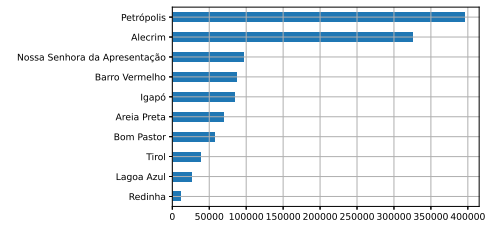


(l) clean-intersection-count

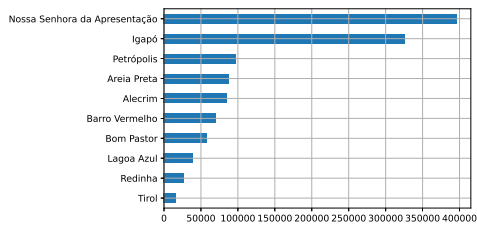
Figure 5. Comparação entre medidas da rede de ruas da cidade de Natal - RN - parte 3



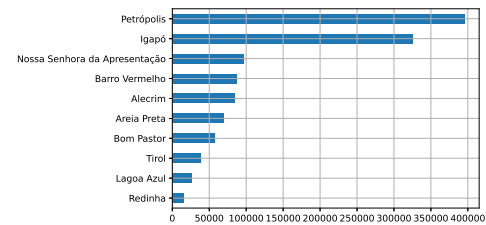
(m) node-density-km



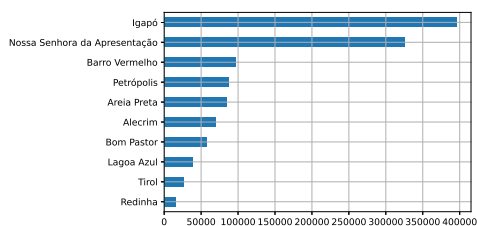
(n) intersection-density-km



(o) edge-density-km



(p) street-density-km



(q) clean-intersection-density-km

Figure 5. Comparação entre medidas da rede de ruas da cidade de Natal - RN - parte 4

É possível ver que os resultados obtidos para a cidade de Natal mostram um comportamento semelhante ao observado na análise dos dados para a cidade de João Pessoa. De fato, vê-se distribuições das medidas de rede similares a depender da característica da obtenção dessas medidas (medidas de contagem se diferenciam das outras), no entanto, essas distribuições são bastante diferentes das vistas na cidade de João Pessoa.

No geral, para a cidade de Natal, observa-se sempre, em todas as medidas, uma concentração diferenciada sempre em duas localidades que apresentam valores próximos. De

fato, o bairro de Nossa Senhora da Apresentação mostra um resultado mais relevante em 9 das 17 medidas consideradas no trabalho, sendo oito medidas de contagem: Figuras 5a, 5b, 5c, 5d, 5g, 5h, 5i, 5l e uma de densidade: Figura 5o. Além disso, aparece em segundo lugar na medida *clean-intersection-density-km* (Figura 5q).

O ponto talvez mais importante a se considerar aqui é que, observando os gráficos dessas figuras, em todas as medidas lideradas por esse bairro, o segundo lugar no ranqueamento ou é do bairro de Lagoa Azul, ou de Igapó, que são os dois bairros adjacentes ao Nossa Senhora da Apresentação considerados no trabalho. Na medida em que aparece em segundo lugar, a liderança é do bairro de Igapó também.

Esse ponto é um forte indício de que, diferente do que foi observado em João Pessoa, na cidade de Natal, a rede de ruas não se subscrive aos limites do bairro, formando, na verdade, uma rede que permite a mobilidade urbana em uma região. Esse mesmo comportamento pode ser observado em praticamente todos os bairros adjacentes considerados no estudo, independente de região da cidade ou do valor obtido para a medida de rede.

Um outro ponto a se destacar, também observado na cidade de Natal, é que os bairros localizados em áreas tidas como nobres da cidade – Tirol, Petrópolis e Areia Preta, em nenhuma medida apresentam os melhores resultados, obtendo, sempre, valores abaixo da mediana dos valores observados. Esse, novamente, é um indício destacável de que mobilidade urbana não está associado, diretamente, com o desenvolvimento imobiliário da região, por exemplo.

### 4.1.3. Recife

Nas Figuras 6a a 6q podemos ver os gráficos de cada uma das métricas de rede listadas na seção 2, para a cidade de Recife, igualmente agrupadas por bairros e com valores ordenados de forma decrescente.

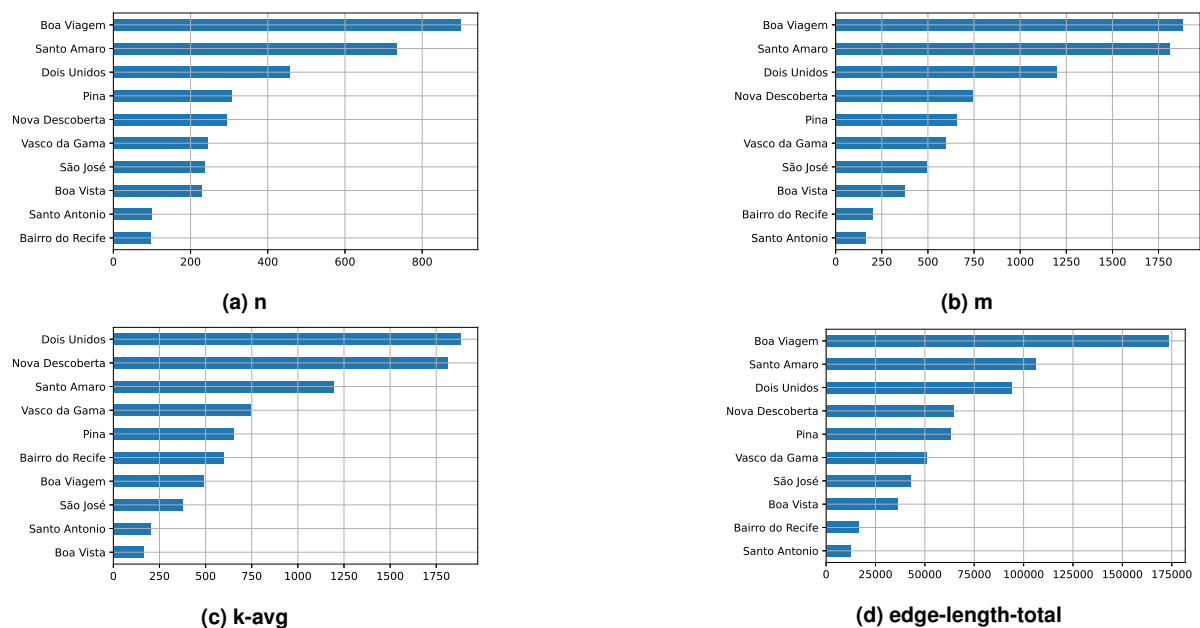
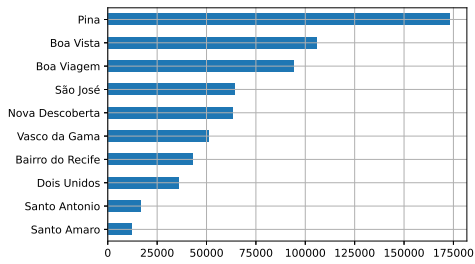
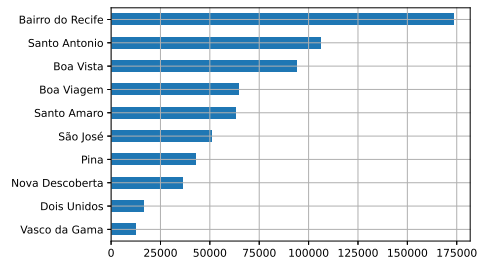


Figure 6. Comparação entre medidas da rede de ruas da cidade de Recife - PE - parte 1

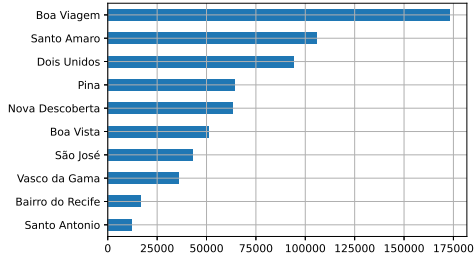




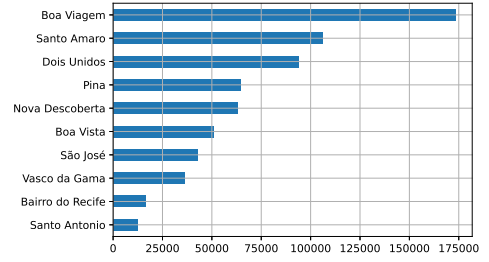
(e) edge-length-avg



(f) streets-per-node-avg

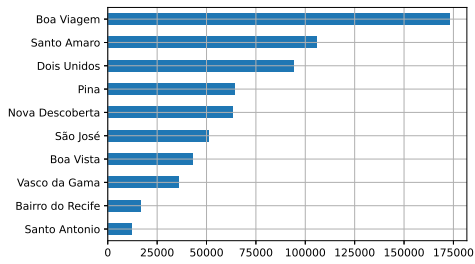


(g) intersection-count

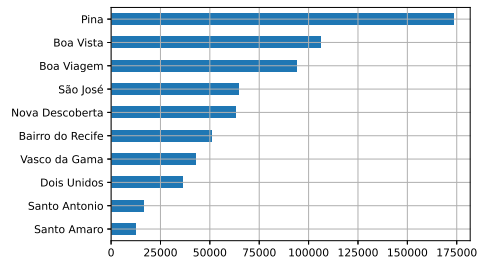


(h) street-length-total

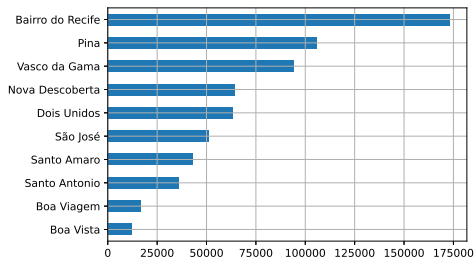
Figure 6. Comparação entre medidas da rede de ruas da cidade de Recife - PE - parte 2



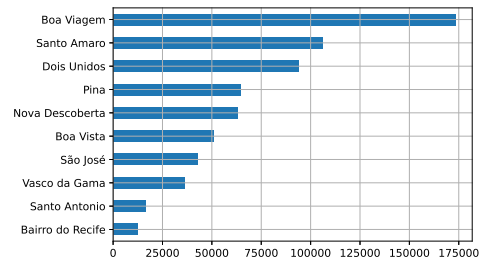
(i) street-segment-count



(j) street-length-avg

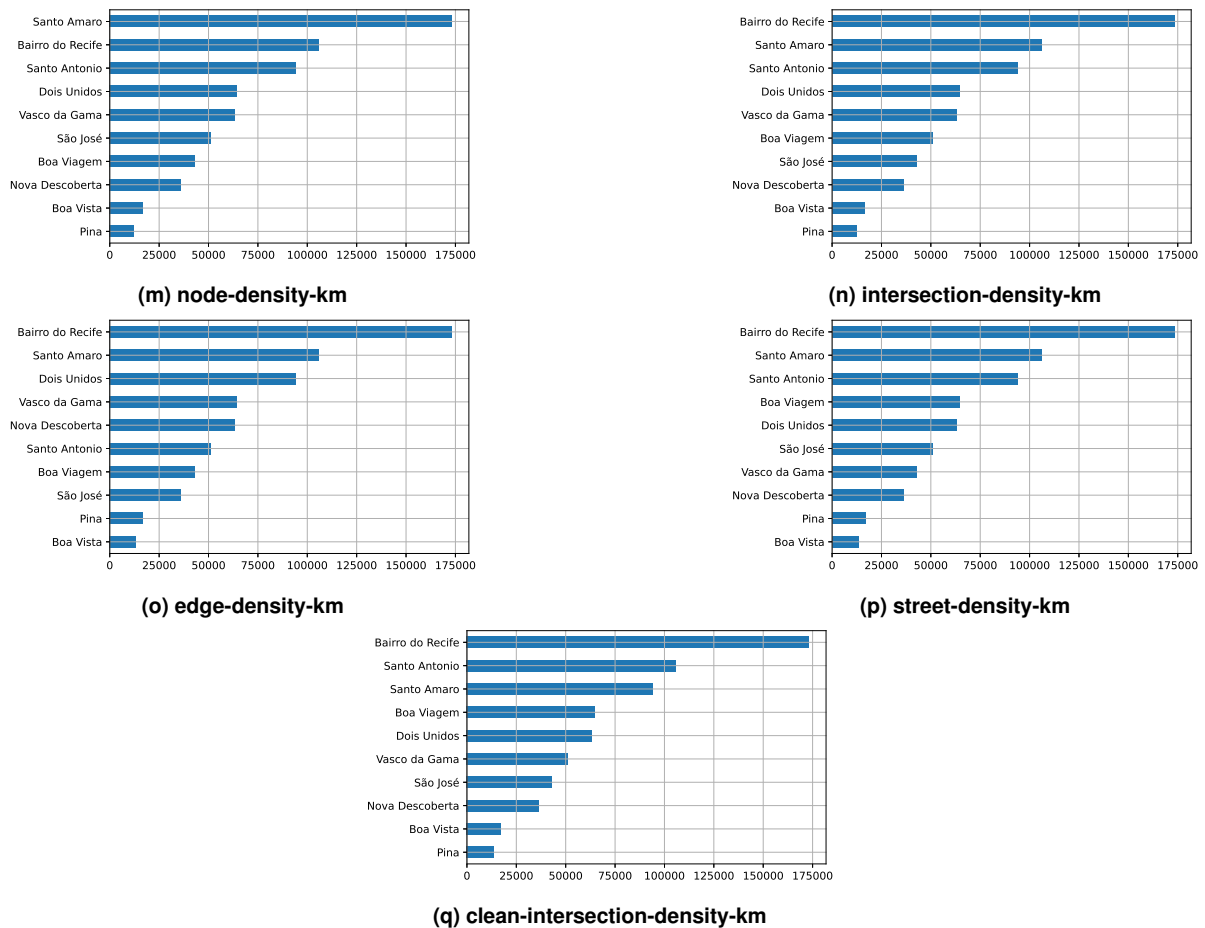


(k) circuitry-avg



(l) clean-intersection-count

Figure 6. Comparação entre medidas da rede de ruas da cidade de Recife - PE - parte 3



**Figure 6. Comparação entre medidas da rede de ruas da cidade de Recife - PE - parte 4**

Na cidade de Recife, diferente das duas anteriores (João Pessoa e Natal), e talvez explicado pela maior densidade de bairros, a distribuição dos resultados dos ranqueamentos das medidas de redes de ruas se encontra “menos concentrada”, ou seja, apesar de existir sempre um bairro cuja medida é destacadamente maior que os demais, essa diferença é menos significativa que nas outras cidades. Além disso, em algumas medidas há dois bairros em destaque, em outras há só um, de forma que a diferença entre dois bairros consecutivos no ranking nunca ultrapassa 50%, diferente do que se observou em algumas medidas nas cidades de João Pessoa e, principalmente, em Natal.

Outro ponto a se observar, é que existe uma diversidade maior de bairros liderando os rankings de cada medida do que foi observado, principalmente, em Natal, onde se viu uma concentração grande em um único bairro. Por exemplo, é possível ver medidas lideradas por bairros da região norte (Figura 6c), da região leste, com maior concentração (Figuras 6f, 6g e 6h, por exemplo) e da zona sul (Figuras 6a, 6b, 6d ou 6j, por exemplo).

Também é possível perceber que, diferente do observado tanto em João Pessoa quanto em Natal, os bairros considerados área nobre, como Boa Viagem e Pina, aparecem na liderança de algumas medidas, indicando a existência de investimentos associados com a especulação imobiliária da região.

## 4.2. Análise dos Resultados do Índice MURR

Ao observar os resultados para cada uma das medidas, em cada uma das cidades, não é possível desconsiderar que cada localidade apresentou uma distribuição quase singular das medidas observadas. Essa diferença entre as medidas para os diferentes bairros se apresenta como uma dificuldade na hora de implementar políticas públicas e investimentos que por ventura possam utilizar métricas de rede como indicadores de mobilidade urbana, uma vez que existe uma variabilidade destacada entre os tipos de transporte considerados, entre as formas com que as medidas são realizadas e entre as diferentes localidades.

Uma possível opção para superar essas limitações é a construção de medidas de comparação, que considerem as influências de todas as medidas de forma conjunta. Uma das contribuições desse trabalho é justamente apresentar como alternativa uma medida unificada que possa indicar que localidades teriam prioridade para receber investimentos, considerando todas as medidas de forma conjunta: o índice MURR, apresentado na seção 2.

O resultado dessa análise é apresentado no gráfico da Figura 7, no qual são mostrados os índices de proximidade relativa da melhor solução calculado pelo TOPSIS, para as três cidades consideradas nesse estudo.

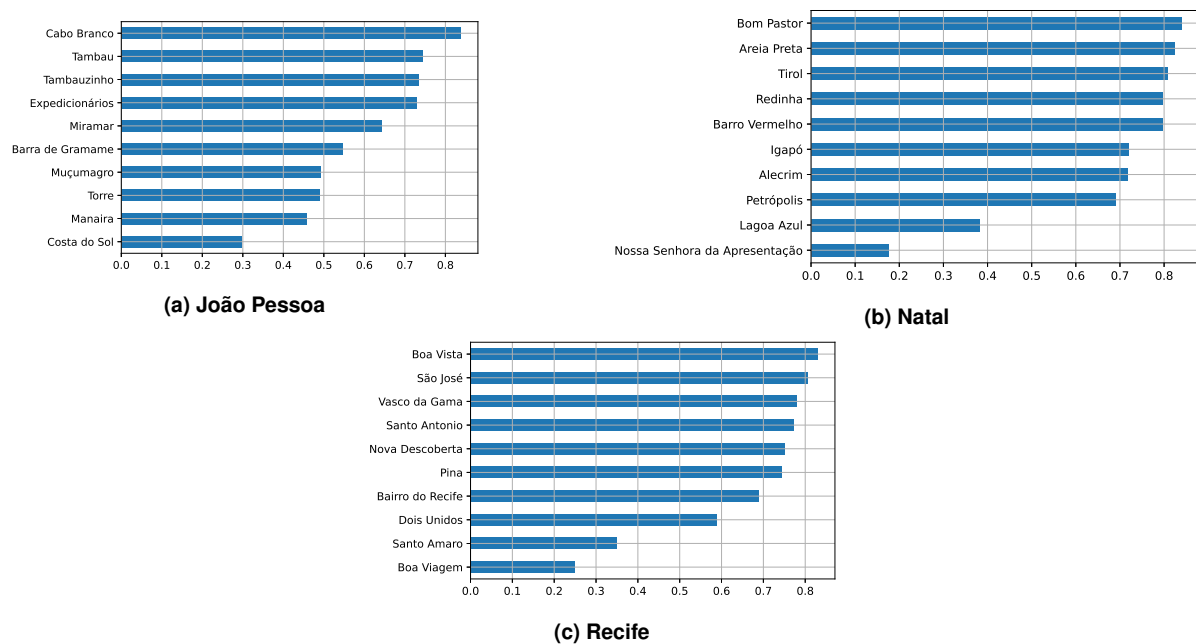


Figure 7. Ranqueamento obtido a partir do índice MURR

Ao olhar para o resultado da cidade de João Pessoa (Figura 7a), podemos ver que os três primeiros bairros listados são Cabo Branco, Tambau e Tambauzinho, indicados como os bairros que mais precisam de estrutura de mobilidade, com o líder Cabo Branco tendo um índice cujo valor é 280% superior que o melhor caso, o bairro da Costa do Sol, último colocado do ranqueamento.

Tal afirmação contraria, em um primeiro momento, o senso comum, considerando que a comparação contempla bairros nobres do litoral pessoense, nos quais estão localizados aparelhos urbanos como praças, parques, museus, calçadões de orla, polos ecoturísticos, e nos quais existe uma grande quantidade de edifícios e moradias de alto custo, com o bairro da Costa do Sol, mais popular, que embora seja litorâneo, não agrega os espaços de lazer mais procurados

por turistas e moradores da cidade, nem é localização de grandes edificações que agreguem valor ao bairro.

Esse mesmo comportamento, no entanto, não é observado nas cidades de Natal e Recife, onde se observa uma maior distribuição do índice.

No caso de Natal, o bairro com maior necessidade de investimento é o bairro do Bom Pastor, ao passo que somente em sétimo encontra-se o bairro de Petrópolis, o mais nobre entre os listados. Além disso, se compararmos as sete primeiras posições do ranqueamento, é possível observar uma diferença de apenas 0.14 (17% do valor máximo) entre o valor máximo (Bom Pastor – 0.83) e o mínimo (Petrópolis – 0.69). No caso de João Pessoa, considerando as mesmas posições, essa diferença é bastante destacada, chegando a 42% do valor máximo (máximo de 0.84, no Cabo Branco e mínimo de 0.49, na Torre). A cidade de Recife tenta a ter um comportamento mais parecido com Natal.

## 5. Conclusões

Esse trabalho procurou analisar a influência da topologia das redes de ruas em 10 bairros, selecionados considerando três cenários (bairros periféricos, bairros centrais e bairros de alto poder aquisitivo), em três capitais da região Nordeste do Brasil: João Pessoa - Paraíba, Natal - Rio Grande do Norte e Recife - Pernambuco, como possível conjunto de indicadores para análise de mobilidade urbana, usando para isso duas abordagens.

Primeiro, foram analisadas as 17 medidas de rede consideradas para todos os bairros, de forma separada. Dessa análise, observou-se que as medidas de rede consideradas são fortemente relacionadas com a área de observação considerada, e que áreas adjuntas, mesmo com fronteiras comuns podem apresentar diferentes características nas suas redes de rua.

Ou seja, para monitoramentos e planos de ação mais eficientes é necessário que as características da rede de rua e os indicadores de mobilidade urbana relacionados sejam mapeados na menor granularidade possível, sob risco do gestor/analista não ter uma visão realista das medidas observadas. Isso diferencia os resultados obtidos aqui dos observados em diversos outros trabalhos, que comumente consideram uma granularidade de regiões administrativas ou de cidades, que serão, nesses casos, vistas como uma unidade de características homogêneas, o que, como vimos nos resultados, não condiz com a realidade.

Essas informações podem guiar gestores à observar a necessidade de investimentos em ações mais específicas que possam alterar os valores dessas medidas de rede e que influenciem numa melhor mobilidade para os usuários da estrutura de mobilidade urbana.

Em um segundo momento, considerou-se a influência conjunta de todos os indicadores a partir da análise do índice de mobilidade urbana MURR, proposto no trabalho e apresentado na seção 2.


Como as medidas consideradas para a construção do índice usado no ranqueamento contemplam a topologia da rede de ruas, ligada diretamente a infraestrutura viária dessa localidades, e não outros indicadores, como os apontados em [6], o ranqueamento mostrado na Figura 7 pode ser importante como indicador complementar, mostrando que a estrutura de mobilidade precisa ser expandida, destacando que localidades carecem de prioridade nesse investimento. Na prática, isso significaria a melhor distribuição de recursos para a construção de novos espaços de circulação tanto de veículos quanto de transeuntes, bem como a realização de alterações de fluxo de trânsito nos espaços já existentes, para melhor acomodar esses fluxos, mesmo que de forma momentânea.

Tal observação também pode indicar que essa necessidade de estruturação pode ser realizada com roteamentos de fluxo de trânsito que acessem bairros vizinhos com melhor estrutura, considerando bairros adjuntos com índices melhores (mais baixos) que os bairros analisados.

Essa abordagem, inclusive, permite com que o fluxo de trânsito possa ser melhorado em situações momentâneas adversas e/ou enquanto não houver previsão de projetos de melhorias nesse aspecto a curto ou médio prazo.

## References

- [1] M. Altaweel, J. Hanson, and A. Squitieri. The structure, centrality, and scale of urban street networks: Cases from Pre-Industrial Afro-Eurasia. *PLOS ONE*, 16(11), 11 2021.
- [2] G. Boeing. Osmnx: New methods for acquiring, constructing, analyzing, and visualizing complex street networks. *Computers, Environment and Urban Systems*, 65:126–139, 2017.
- [3] S. Chakraborty. Topsis and modified topsis: A comparative analysis. *Decision Analytics Journal*, 2:100021, 2022.
- [4] L. Geng and K. Zhang. Correlation of Road Network Structure and Urban Mobility Intensity: An Exploratory Study Using Geo-Tagged Tweets. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 12(1), 2023.
- [5] OpenStreetMap contributors. Planet dump retrieved from <https://planet.osm.org> . <https://www.openstreetmap.org>, 2017.
- [6] Semob. Indicadores para monitoramento e avaliação da efetividade da Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU). Technical report, Secretaria Nacional de Mobilidade Urbana/Ministério das Cidades, 2018.
- [7] E. K. Tokuda, C. H. Comin, and L. da F Costa. Impact of the topology of urban streets on mobility optimization. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2022(10):103204, oct 2022.
- [8] D. Tsiotas and S. Polyzos. The topology of urban road networks and its role to urban mobility. *Transportation Research Procedia*, 24:482–490, 2017. 3rd Conference on Sustainable Urban Mobility, 3rd CSUM 2016, 26 – 27 May 2016, Volos, Greece.

|   |  |
|---|--|
|  | <b>INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA</b>            |
|   | Campus Campina Grande - Código INEP: 25137409                                    |
|   | R. Tranquílino Coelho Lemos, 671, Dinamérica, CEP 58432-300, Campina Grande (PB) |
|   | CNPJ: 10.783.898/0003-37 - Telefone: (83) 2102.6200                              |

## Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

### Versão Final do TCC

|                             |                     |
|-----------------------------|---------------------|
| <b>Assunto:</b>             | Versão Final do TCC |
| <b>Assinado por:</b>        | Lílian Teixeira     |
| <b>Tipo do Documento:</b>   | Anexo               |
| <b>Situação:</b>            | Finalizado          |
| <b>Nível de Acesso:</b>     | Ostensivo (Público) |
| <b>Tipo do Conferência:</b> | Cópia Simples       |

Documento assinado eletronicamente por:

- Lílian Honorio Teixeira, ALUNO (201921250023) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO - CAMPINA GRANDE, em 07/10/2024 20:00:43.

Este documento foi armazenado no SUAP em 07/10/2024. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1269874

Código de Autenticação: 908bcb79bf

