

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

1st Paulo Ribeiro Lins Júnior  
Grupo de Pesquisa em Comunicações e  
Processamento de Informação – GComPI  
Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia da Paraíba – IFPB  
Campina Grande – PB – Brazil  
paulo.lins@ifpb.edu.br

2nd Lílian Honório Teixeira  
Grupo de Pesquisa em Comunicações e  
Processamento de Informação – GComPI  
Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia da Paraíba – IFPB  
Campina Grande – PB – Brazil  
lilian.honorio@academico.ifpb.edu.br

## RESUMO

O trabalho 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, e apresenta um novo índice, intitulado MURR, baseado em medidas dessas características, que ranqueia as localidades em função de sua necessidade de estruturação viária. Um caso de uso é realizado considerando três cenários, com 10 bairros selecionados aleatoriamente das cidades de João Pessoa - PB, Natal - RN e Recife - PE, que são analisados 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, e do impacto da granularidade da área observada nos estudos sobre de mobilidade urbana.

## ABSTRACT

The work analyzes the use of topological characteristics of the street networks of a given location as a possible set of complementary indicators for analyzing urban mobility. It presents a new index, called MURR, based on measurements of these characteristics, which ranks the locations according to their need for road structuring. A use case is carried out considering three scenarios, with ten randomly selected neighborhoods from João Pessoa - PB, Natal - RN, and Recife - PE. These are analyzed first based on each network characteristic individually, then with the index that considers the joint influence of all. The results point to the importance of considering topological aspects of street networks as possible indicators and the impact of the granularity of the area observed in studies on urban mobility.

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

## CCS Concepts

•Applied computing → Transportation; Multi-criterion optimization and decision-making; •Information systems → Data analytics;

## Palavras-chave

Redes de Ruas; Mobilidade Urbana; Topologia Urbana

## Keywords

Street Networks; Urban Mobility; Urban Topology

## 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 de monitoramento para executar e avaliar planos de mobilidade urbana que contemplassem aspectos importantes a 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 contexto, o relatório *Indicadores para monitoramento e avaliação da efetividade da Política Nacional de Mobilidade Urbana* (PNMU) [6], produzido em 2018 pela Secretaria Nacional de Mobilidade Urbana, 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.

No entanto, poucos desses indicadores consideram como aspecto relevante primário a estrutura de trânsito de veículos, pedestres e/ou ciclistas, deixando encoberta a importância de investimentos nessas estruturas sobre diversos outros indicadores, como, por exemplo, custo de transporte público na renda média ou percentual da população que gasta uma hora ou mais no deslocamento casa/trabalho, para citar dois exemplos.

Considerando isso, é necessário considerar o desenvolvi-

mento de modelos que possam representar essas estruturas viárias e possibilitar a mensuração de suas características, tornando possíveis observações mais quantitativas que guiam ações mais direcionadas por parte dos gestores.

Nesse contexto, uma das possíveis abordagens é o uso de redes de ruas, representações em grafos da estrutura viária de uma região, construídas a partir do mapa original, do qual são filtrados todos os elementos que não são 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 considerado a influência de características e medidas de redes de rua no contexto de mobilidade urbana, como [7], [8], [4] e [1]. 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 à análise de cidades ou aglomerados delas.

Esse trabalho tem como objetivo principal analisar a influência da topologia das redes de ruas 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 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; os aspectos metodológicos do trabalho, os resultados e suas discussões são apresentados na seção 3; e, por fim, a seção 4 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 interseções limpas entre as arestas;
- **node-density-km**: contagem de nós no grafo por quilômetro quadrado;
- **intersection-density-km**: densidade de interseções por quilômetro;
- **edge-density-km**: densidade de bordas por quilômetro;
- **street-density-km**: densidade de ruas por quilômetro
- **clean-intersection-density-km**: densidade de interseções limpas por quilômetro.

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

$$X = \begin{matrix} & C_1 & C_1 & C_1 & \dots & C_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & \dots & x_{2n} \\ x_{31} & x_{23} & x_{33} & \dots & x_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & x_{m3} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

A matriz obtida será usada como entrada para um método decisório multicritério, optando-se, nesse trabalho, pelo TOPSIS (*Technique of Order Preference Similarity to the Ideal Solution*), uma técnica de avaliação de desempenhos de alternativas através da similaridade com uma solução ideal e dessimilaridade com uma solução não ideal, e que considera 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**, garantindo que os critérios sejam 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 ( $d_i^-$ ), (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 considera como métrica a distância relativa para a solução ideal e a não ideal, de forma a permitir que no topo do *ranking* esteja a localidade com maior necessidade de investimento, como mostra a equação a seguir

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

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. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 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 roteiros turísticos e de negócios, mas, apesar disso, tem dimensões geográficas, demográficas e socio-econômicas diferentes.

De cada cidade foram selecionados aleatoriamente 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.
- **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.

Os dados de suas redes de ruas das cidades foram obtidos do OpenStreetMap [5], um banco de dados de mapeamento mundial colaborativo e de código aberto, no qual pode-se obter dados de ruas e interseções, juntamente com dados de atributos sobre tipos de estradas, nomes e (quando disponíveis) velocidades, larguras e números de faixas, tendo licença *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, todas as medidas listadas na seção 2 foram comparadas isoladamente, sendo gerado um ranqueamento entre os bairros analisados em cada cidade, para cada medida, em ordem decrescente. Essa comparação permite uma visão de que características da rede se diferenciam mais nas localidades analisadas e como elas, isoladamente, podem fornecer informações relevantes na análise da mobilidade urbana.

Em um segundo momento, as mesmas métricas foram consideradas de formas conjunta, compondo o índice MURR proposto no trabalho e descrito na seção 2 do artigo.



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



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

## 3.2 Medidas de Redes Obtidas por Cidade

### 3.2.1 João Pessoa

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

O primeiro ponto a ser destacado observando 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).

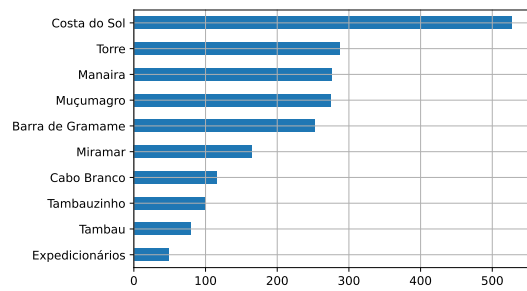
De fato, é perceptível que existem diferenças nas distribuições conjuntas apresentadas em cada gráfico, sendo a distribuição apresentada na Figura 4c muito mais próxima de uma distribuição uniforme, o que não acontece com a distribuição do número de nós (Figura 4a), na qual existe uma grande concentração de ocorrências em alguns bairros,

gerando quase um efeito de cauda nos bairros com menor quantidade de nós.

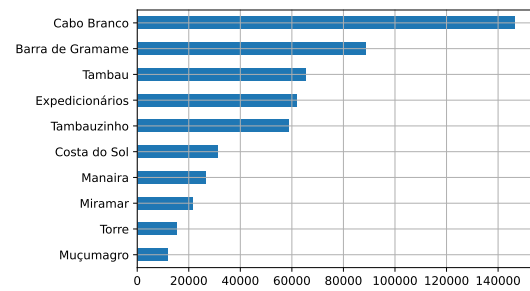
Por outro lado, quando se comparam as distribuições apresentadas nos gráficos das Figuras 4a, 4b, 4d, 4g, 4h e 4i, por exemplo, é possível perceber que elas tem praticamente a mesma forma, inclusive com praticamente as mesmas posições no ranqueamento dos bairros. É possível observar esse comportamento também 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.

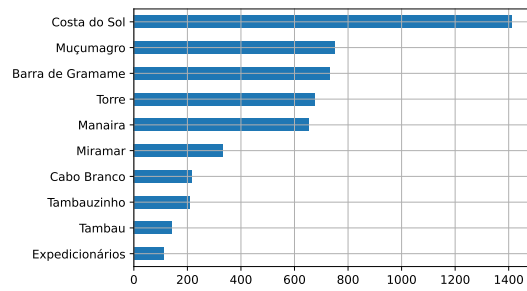
Além disso, é importante destacar que as características das redes de rua não se mantêm as mesmas para bairros adjacentes, que compartilham fronteiras. É o que acontece quando se comparam os resultados apresentados para a densidade de nós por quilômetro (Figura 4m). Os resultados obtidos para os bairros 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 adjacentes,



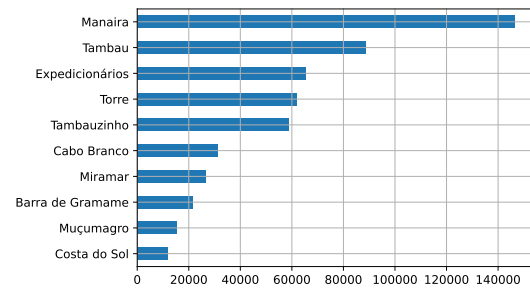
(a) n



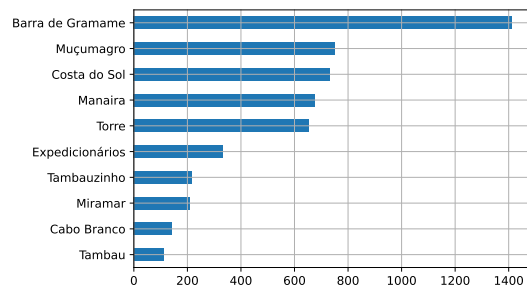
(e) edge-length-avg



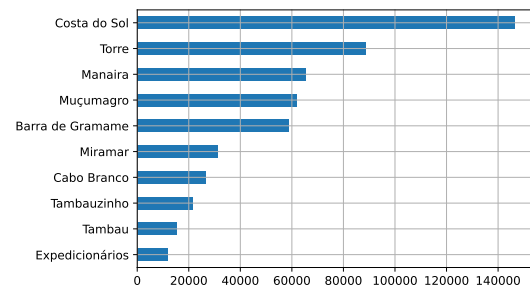
(b) m



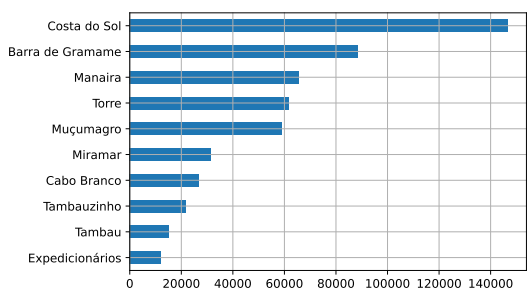
(f) streets-per-node-avg



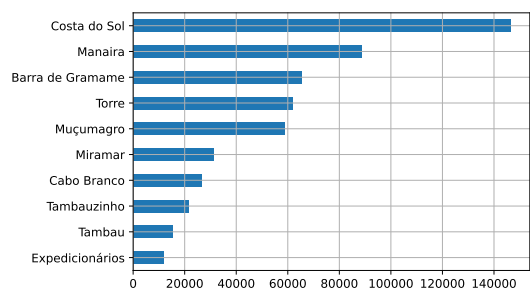
(c) k-avg



(g) intersection-count



(d) edge-length-total



(h) street-length-total

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

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 Tambau  $110 \text{ nós}/\text{km}^2$ . Para além desses exemplos, essa discrepância entre bairros vizinhos se repete em praticamente todas as medidas observadas.

### 3.2.2 Natal

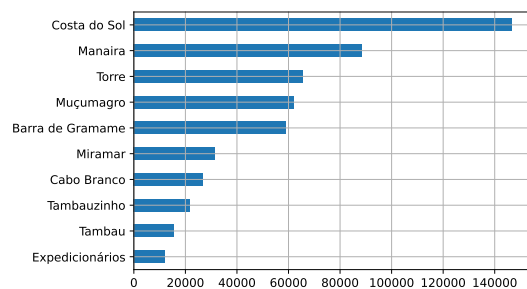
Nas Figuras 5a a 5q são apresentados os gráficos de cada uma das métricas de rede listadas na seção 2, para a cidade de Natal, também agrupadas por bairros e com valores

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

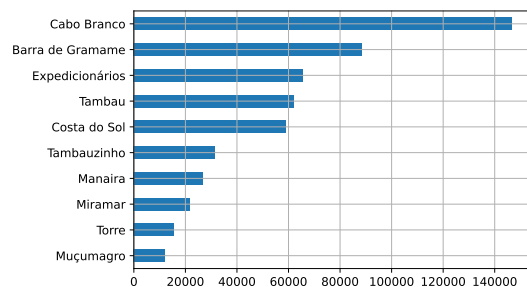
ordenados de forma decrescente.

Como é possível observar nos resultados obtidos, um comportamento similar ao visto na análise dos dados para a cidade de João Pessoa pode ser observado para a cidade de Natal. 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.

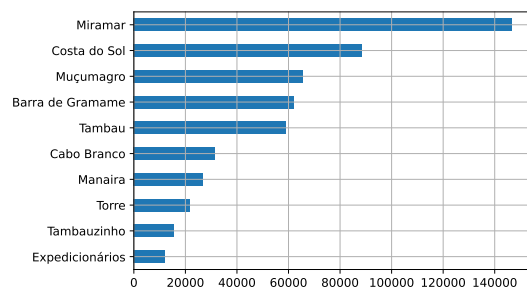
No geral, para a cidade de Natal, observa-se sempre, em



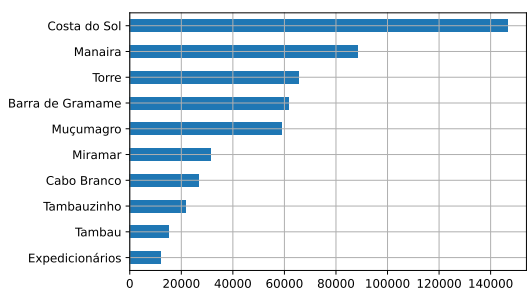
(i) street-segment-count



(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

todas as medidas, uma concentração diferenciada sempre em duas localidades que apresentam valores próximos. De fato, o bairro de Nossa Senhora da Apresentação apresenta 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 observado em João Pessoa, na cidade de Natal, a rede de ruas não se subscreve 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 João Pessoa, 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.

### 3.2.3 Recife

Nas Figuras 6a a 6q são apresentados 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.

Com relação à cidade de Recife, diferente das duas anteriores, e talvez explicado pela maior densidade de bairros, a distribuição dos resultados dos ranqueamentos das medidas de redes de ruas se encontra “menos concentrada”, isto é, 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.

Além disso, 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 observar 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, também 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.

## 3.3 Análise dos Resultados do Índice MURR

Dos resultados observados para cada uma das medidas em cada uma das cidades, não se pode 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 implementação de 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, além, claro, entre as diferentes localidades.

Uma possível opção para transpor essas limitações é construir 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.

Ao olhar para o resultado da cidade de João Pessoa (Figura 7a), é possível ver que os três primeiros bairros listados são Cabo Branco, Tambaú e Tambauzinho, indicados como os bairros mais necessitados 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.

## 4. CONCLUSÕES

Esse trabalho procurou analisar a influência da topologia das redes de ruas em 10 bairros, selecionados aleatoriamente, em três capitais da região Nordeste do Brasil: João Pessoa, na Paraíba, Natal, no Rio Grande do Norte e Recife, em 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, separadamente. 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 interessante que os indicadores de mobilidade urbana relacionados com as medidas de redes de ruas 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.

Ainda, 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.

Num 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.

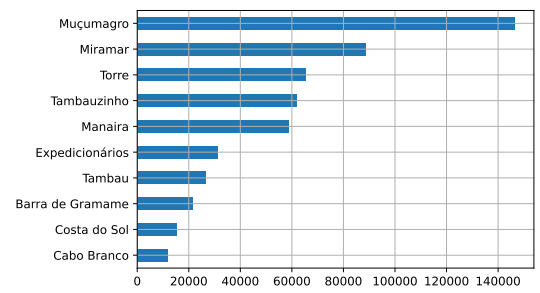
Tal observação também pode indicar que essa necessidade de estruturação pode ser realizada com roteamentos de fluxo de trânsito que acessem bairros vizinhos com melhor estrutura, considerando bairros adjuntos com índices melhores (mais baixos) que os bairros analisados.

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.

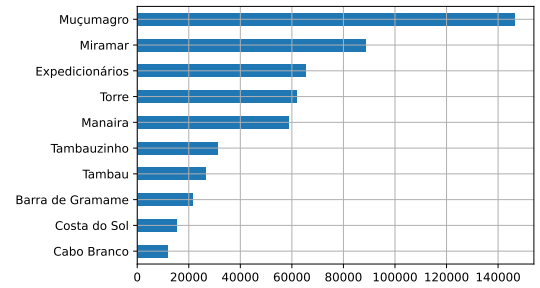
## 5. REFERENCES

- [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.

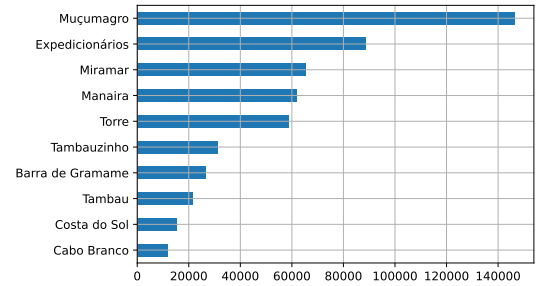
- [6] Semob. Indicadores para monitoramento e avaliação da efetividade da Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU). Technical report, Secretaria Nacional de Mobilidade Urbana/Ministério das Cidades, 2018.
- [7] E. K. Tokuda, C. H. Comin, and L. da F Costa. Impact of the topology of urban streets 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.



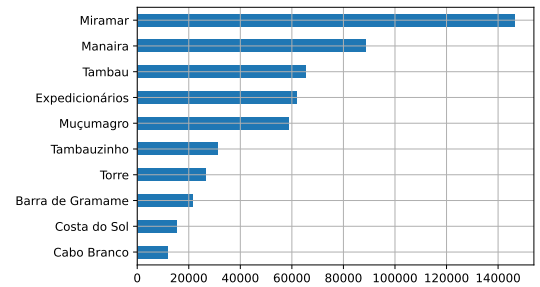
(m) node-density-km



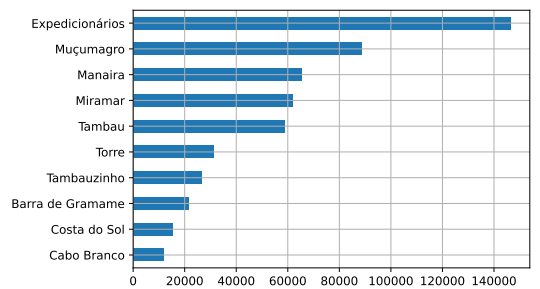
(n) intersection-density-km



(o) edge-density-km



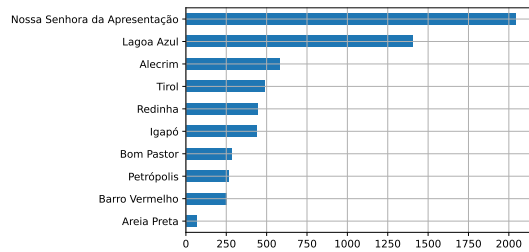
(p) street-density-km



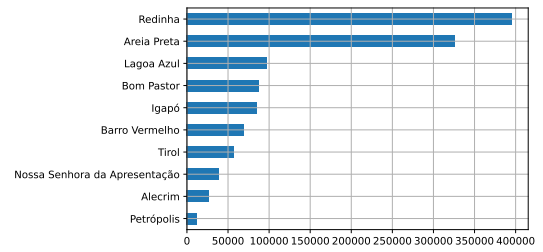
(q) clean-intersection-density-km

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

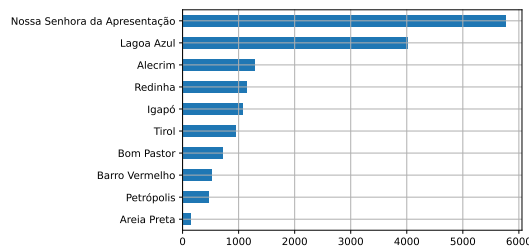




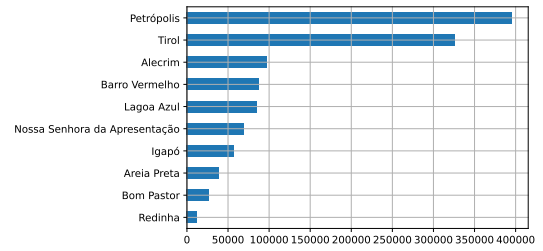
(a) n



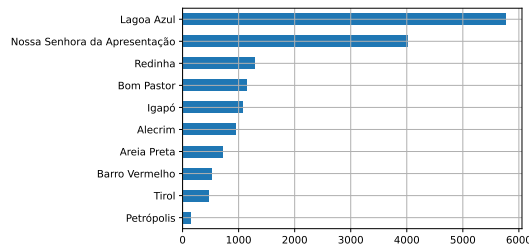
(e) edge-length-avg



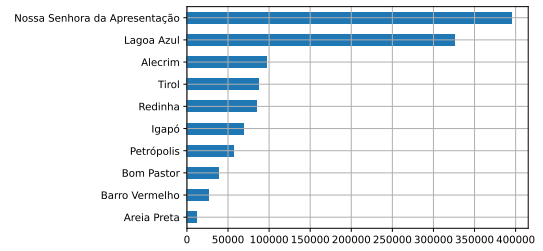
(b) m



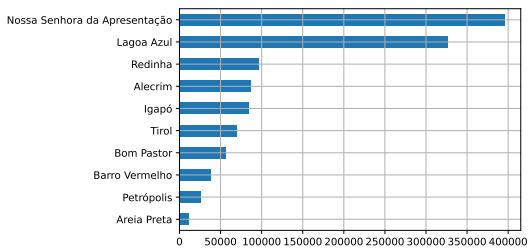
(f) streets-per-node-avg



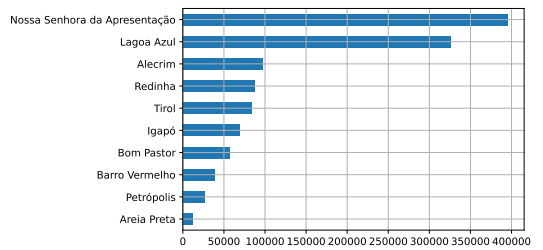
(c) k-avg



(g) intersection-count



(d) edge-length-total



(h) street-length-total

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

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

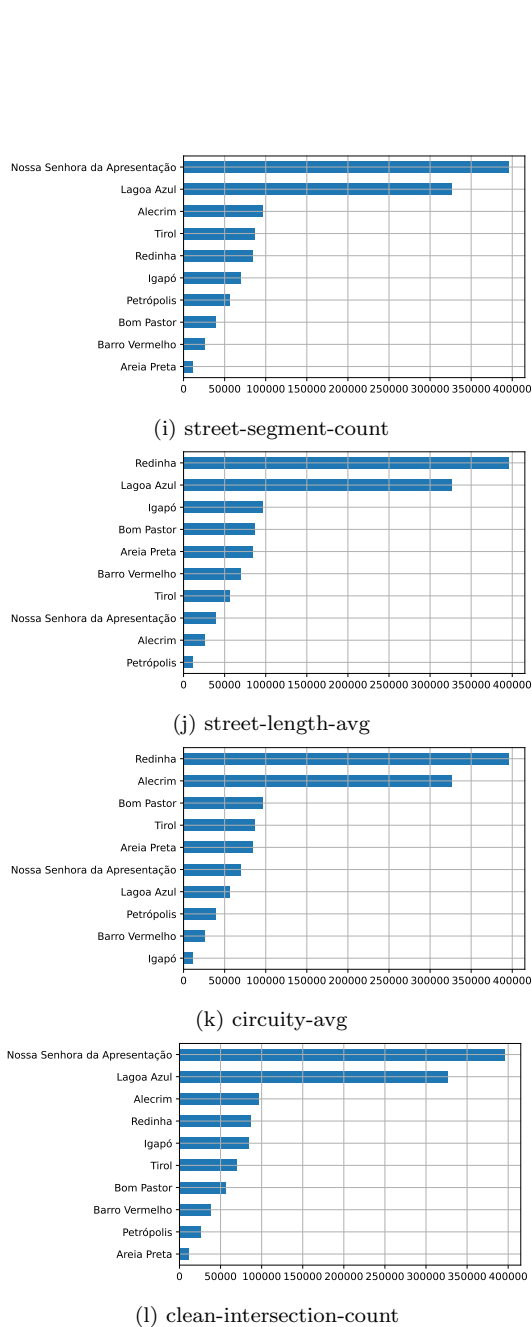


Figure 5: Comparação entre medidas da rede de ruas da cidade de Natal - RN - parte 3

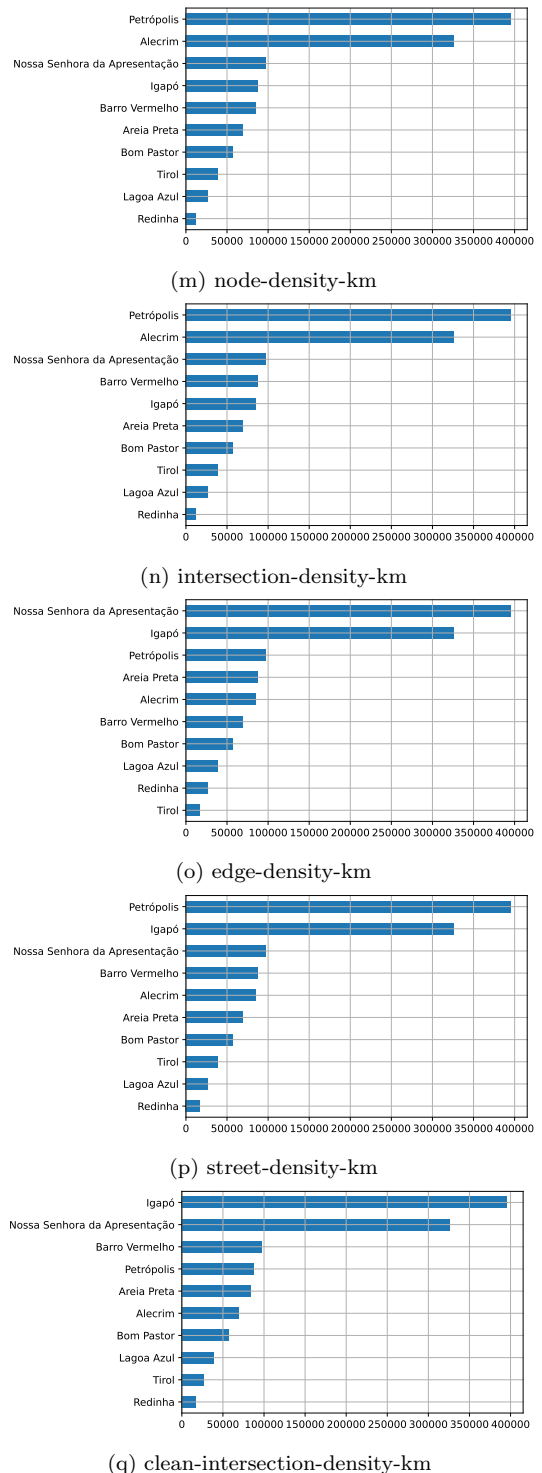
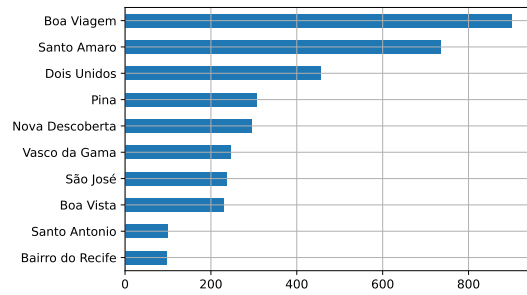
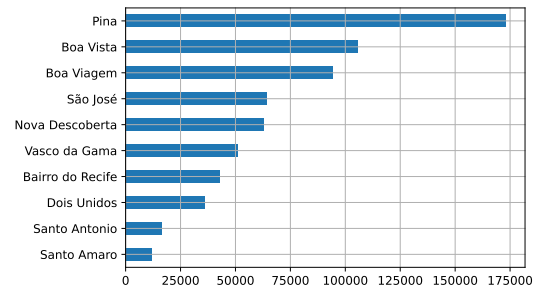


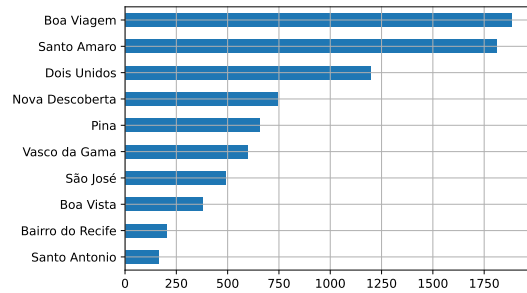
Figure 5: Comparação entre medidas da rede de ruas da cidade de Natal - RN - parte 4



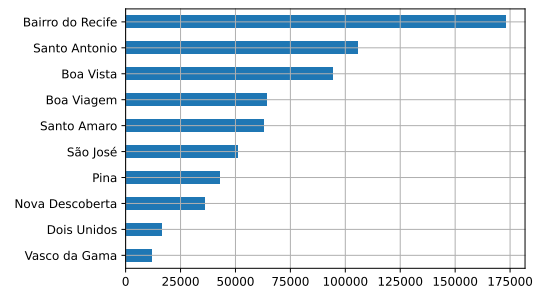
(a) n



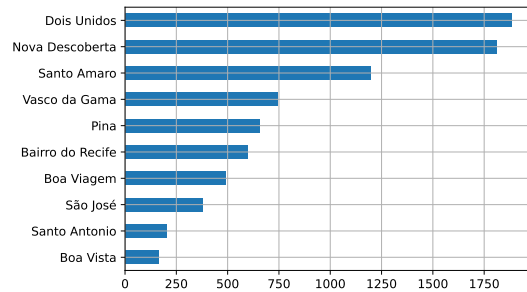
(e) edge-length-avg



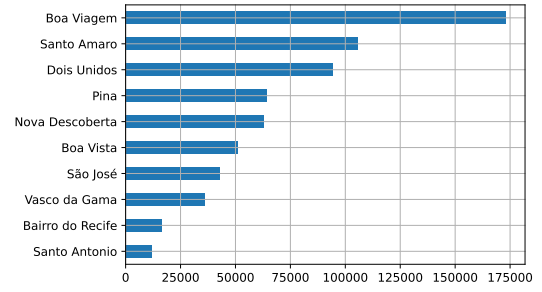
(b) m



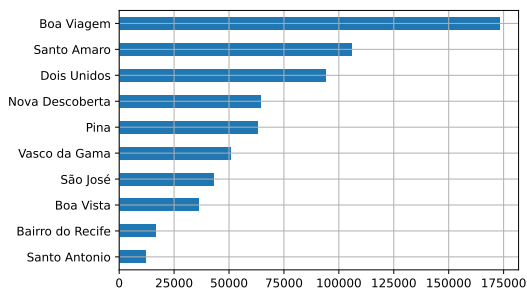
(f) streets-per-node-avg



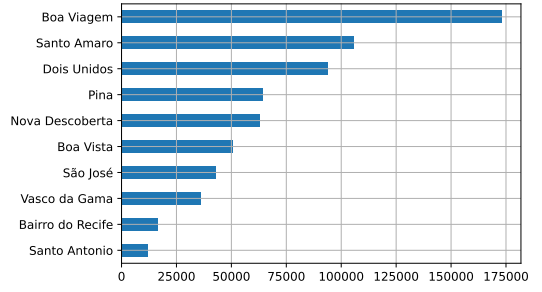
(c) k-avg



(g) intersection-count



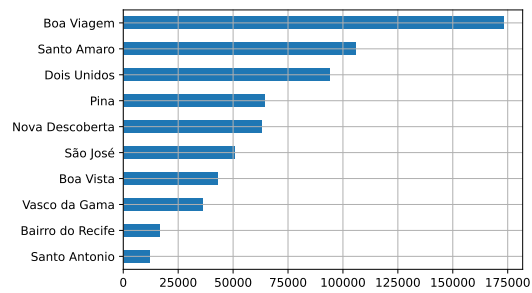
(d) edge-length-total



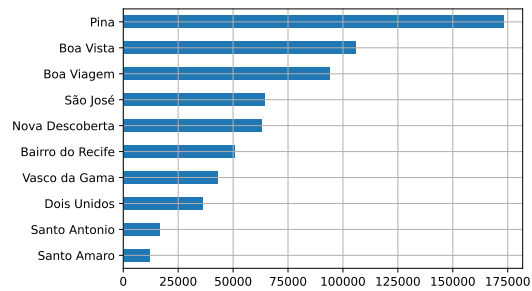
(h) street-length-total

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

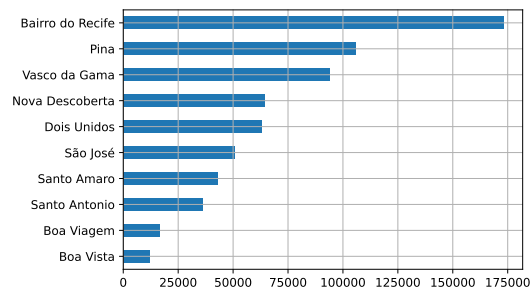
Figure 6: Comparação entre medidas da rede de ruas da cidade de Recife - PE - parte 2



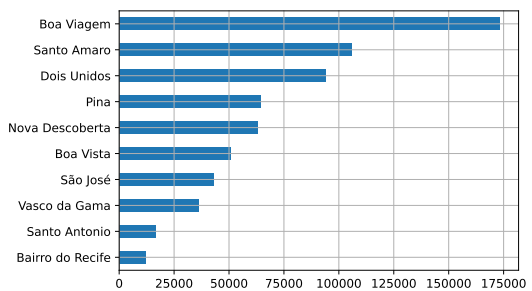
(i) street-segment-count



(j) street-length-avg

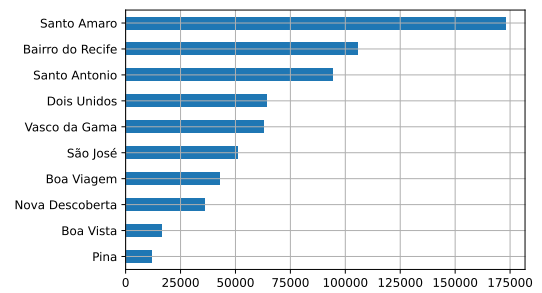


(k) circuitry-avg

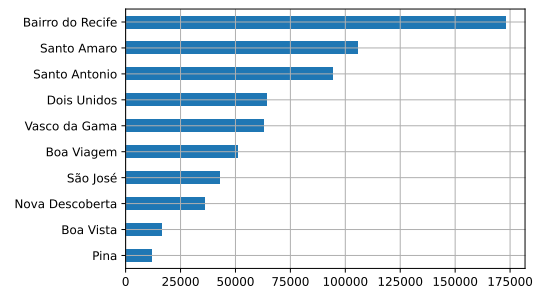


(l) clean-intersection-count

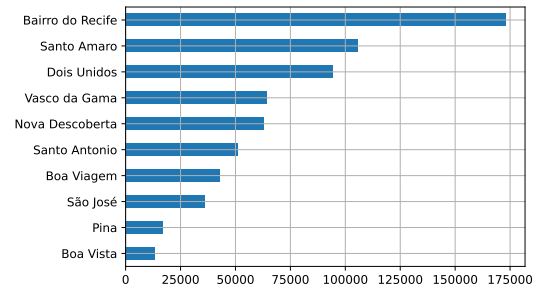
Figure 6: Comparação entre medidas da rede de ruas da cidade de Recife - PE - parte 3



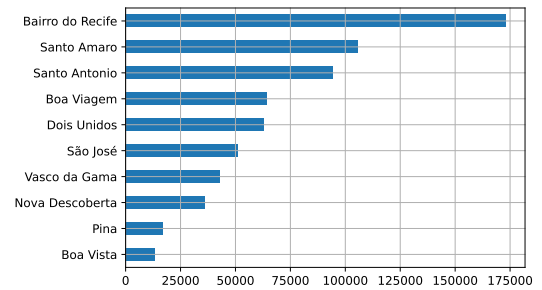
(m) node-density-km



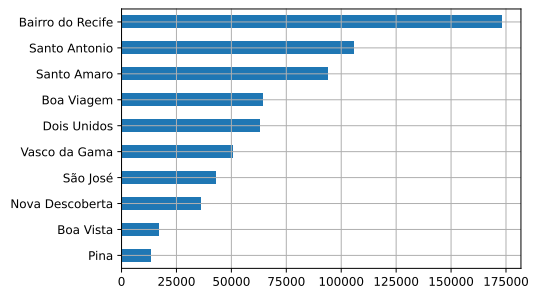
(n) intersection-density-km



(o) edge-density-km

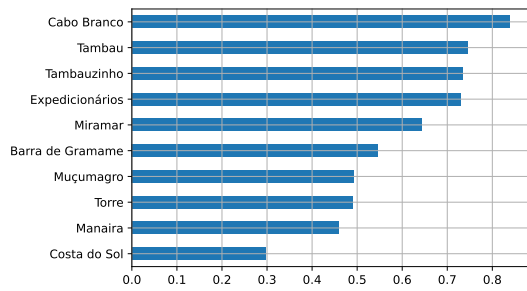


(p) street-density-km

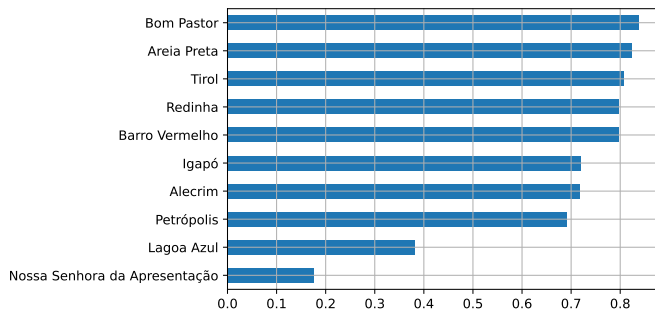


(q) clean-intersection-density-km

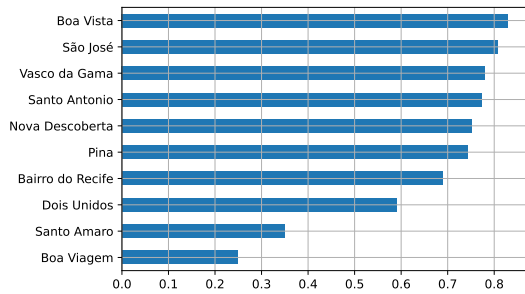
Figure 6: Comparação entre medidas da rede de ruas da cidade de Recife - PE - parte 4



(a) João Pessoa



(b) Natal



(c) Recife

Figure 7: Ranqueamento obtido a partir do índice MURR