

Optimized Proposed Location of Primary Healthcare Units: A Case Study in Alegre, Espírito Santo, Brazil

Dalvan Ribeiro de Almeida¹, Dayan de Castro Bissoli²

¹ Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) – Alegre, ES – Brasil

²Departamento de Computação – CCENS
Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) – Alegre, ES – Brasil

`dalvanra@gmail.com, dayan.bissoli@ufes.br`

Abstract. Research Context: This study proposed the optimization of the location of Primary Healthcare Units (UBS) in the municipality of Alegre-ES, using high-resolution population density data and real road network data. The research integrated Geographic Information Systems (GIS) and combinatorial optimization techniques to support local planning in public health. **Scientific and/or Practical Problem:** The current distribution of UBS shows inequalities in access, resulting in longer distances traveled by the population, which compromises coverage, equity, and efficiency of basic healthcare delivery. **Proposed Solution and/or Analysis:** The p-median model was applied, solved with CPLEX, to identify optimal locations for UBS, considering real urban road distances. Scenarios comparing the current situation and optimized relocations were evaluated using distance metrics. **Related IS Theory:** The theoretical foundation involves decision support systems in Information Systems, location models, and the integration of large geospatial datasets for public policy formulation. **Research Method:** The methodology included extraction and aggregation of population data from the Brazil: High Resolution Population Density — Meta dataset, calculation of distances via OpenStreetMap, modeling the p-median problem with CPLEX, and statistical and cartographic analysis of the results. **Summary of Results:** The results demonstrated that the relocation of Primary Health Care Units would reduce the average distance traveled by the population in all scenarios. In the best-case scenario, the reduction would reach 40,02%, potentially increasing coverage and promoting greater equity in access to healthcare services. **Contributions and Impact to IS area:** The study contributed a reproducible pipeline integrating Big Geodata, OpenStreetMap, and exact optimization, strengthening the interface between Information Systems, public health, and urban planning, providing valuable tools for municipal managers.

1. Introdução

1.1. Contextualização

A Atenção Primária à Saúde (APS) é o primeiro ponto de contato entre indivíduos, famílias e comunidades com o sistema de saúde, devendo estar disponível o mais próximo possível de onde as pessoas vivem e trabalham. Uma APS fortalecida e bem coordenada melhora a percepção de saúde, facilita o tratamento adequado e reduz riscos de condições não tratadas [Ministério da Saúde 2025].

No Brasil, o SUS descentralizou e expandiu a cobertura da APS, sobretudo em municípios menores, por meio da Estratégia Saúde da Família (ESF), resultando em avanços nos indicadores de saúde. As diretrizes da Política Nacional de Atenção Básica atribuem aos municípios a organização e gestão desses serviços, num cenário marcado por diversidade geográfica e populacional, com predominância de municípios rurais. Em áreas rurais, desafios como isolamento, escassez de profissionais e barreiras de acesso tornam a acessibilidade um elemento central. Ainda são limitados os estudos que relacionam a classificação rural/urbana e o porte municipal à distribuição, organização e utilização efetiva dos serviços de saúde [Soares et al. 2024].

De acordo com [Harris and Haines 2010], o progresso na saúde pública brasileira tem sido notável. A mortalidade infantil caiu de 48 para 17 por 1000 nascidos vivos. As internações hospitalares por diabetes ou AVC diminuíram 25%, a proporção de crianças menores de 5 anos com baixo peso reduziu em 67%, mais de 75% das mulheres agora recebem sete ou mais consultas pré-natais, e a cobertura da vacina tríplice bacteriana em crianças menores de 1 ano é superior a 95% na maioria dos municípios.

As Unidades Básicas de Saúde (UBS), também chamadas de postos de saúde, constituem a principal estratégia de organização da APS no Brasil. Com mais de 39 mil equipes de saúde da família atuando em todo o país, elas funcionam como equipamentos urbanos essenciais para garantir a oferta de serviços de saúde próximos à população, devendo ser planejadas de forma a atender à demanda existente, considerando tanto a disponibilidade de recursos públicos quanto sua localização no território. Diferentemente dos serviços de urgência, nos quais o tempo de resposta deve ser priorizado, as UBS devem estar posicionadas próximas aos usuários para garantir maior acessibilidade. Diversos fatores influenciam a localização dessas unidades, como a oferta existente, a demanda, o nível de renda da população e a distância entre oferta e demanda. Apesar da diminuição das taxas de natalidade, o envelhecimento da população mantém a relevância das UBS, exigindo estudos contínuos sobre a densidade populacional e avaliações constantes da rede de saúde, sobretudo em grandes centros urbanos. Nesse cenário, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) podem desempenhar papel essencial no apoio aos gestores para analisar a distribuição espacial, tomar decisões e planejar a rede de UBS de forma eficiente, utilizando modelos matemáticos avançados que possibilitam a criação de ferramentas computacionais, facilitando a visualização e o direcionamento das ações em saúde pública [Goudard et al. 2015].

Um dos desafios enfrentados pelas cidades brasileiras é a inexistência de metodologias adequadas para a implantação eficiente de infraestrutura pontual, como UBS, ou mesmo escolas, e unidades do corpo de bombeiros, conhecidos como equipamentos públicos coletivos, assim como para a utilização racional desses recursos. Essa situação tende a se agravar, especialmente em muitas cidades de porte médio, devido à carência de um planejamento urbano mais abrangente. A distribuição inadequada desses equipamentos públicos em relação às necessidades da população decorre, em grande parte, da ausência de estratégias específicas para sua implantação adequada [da Silva Lima 2003].

A disposição das unidades públicas de saúde nos bairros de Salvador-BA, por exemplo, está associada à redução das taxas de mortalidade, mesmo após o controle de características locais que podem influenciar os padrões de mortalidade [Santana and dos Santos 2024].

1.2. Descrição do problema

A distribuição geográfica das unidades de atendimento representa uma barreira para parte da população, pois a distância entre a residência e o serviço, especialmente para pessoas com limitações físicas, torna-se um obstáculo significativo ao acesso. Essa dificuldade é agravada pela falta de transporte próprio, pela ausência de recursos financeiros para utilizar o transporte público ou pela inexistência de linhas que atendam diretamente essas unidades. Vale destacar que não há normas ou portarias que determinem critérios para a localização dessas estruturas, havendo apenas diretrizes sobre a quantidade de pessoas a serem atendidas conforme a capacidade das Unidades Básicas de Saúde [Oliveira et al. 2019].

Além disso, a forma tradicional de alocação de recursos frequentemente leva à disponibilidade desorganizada e insuficiente de serviços, forçando a população a recorrer a serviços privados por conta própria devido às barreiras geográficas. Isso também compromete a equidade no acesso à saúde, um princípio fundamental do SUS [Soares et al. 2024].

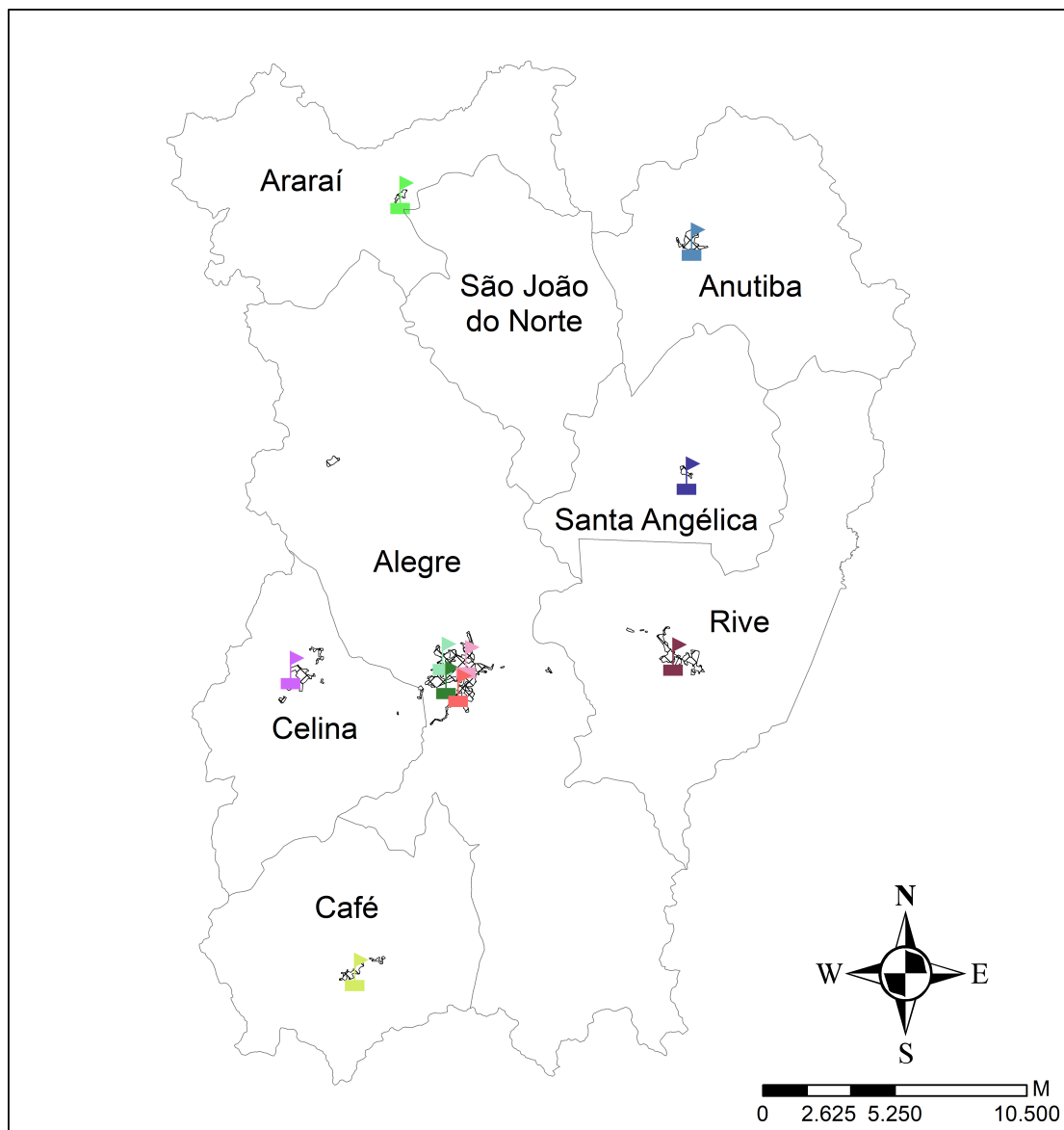
A má acessibilidade geográfica impede que os cuidados básicos de saúde alcancem a maioria da população em países em desenvolvimento. No caso de Joinville-SC, uma análise de cobertura máxima com um raio de 1000 metros (distância máxima de caminhada razoável) revelou que 57% dos centroides dos setores censitários não eram atendidos por nenhuma UBS, indicando a necessidade de novas unidades [Goudard et al. 2015].

Em Feira de Santana-BA, a análise da distribuição das UBS revelou "vazios" nos setores nordeste e sudeste do município, regiões de rápido crescimento urbano impulsionado por programas habitacionais, o que constitui uma barreira espacial efetiva, forçando os moradores a usar transporte público para acessar a rede [Oliveira et al. 2019].

A decisão sobre a localização de equipamentos urbanos comunitários muitas vezes são puramente políticas, baseando-se no conhecimento empírico de prefeitos e secretários municipais, ou em solicitações por abaixo-assinados de moradores, e as unidades são implementadas em terrenos já pertencentes às prefeituras, que nem sempre estão localizados para garantir o maior retorno e benefício aos usuários [Goudard et al. 2015].

O município de Alegre-ES possui uma área de 778,6 km² e conta com uma população de 29.177 habitantes. Desse total, 18.752 vivem na sede municipal, enquanto o restante está distribuído entre os sete distritos que compõem a região: Araraí, Café, Rive, Celina, Santa Angélica, Anutiba e São João do Norte [IBGE 2022].

A Figura 1 apresenta a divisão política atual do município de Alegre-ES com a localização das UBS [IJSN 1997].



Legenda

- | | | |
|---------------------|------------------------------|-------------------------------|
| □ Distritos | ▤ UBS ANUTIBA | ▤ UBS DO BAIRRO PEDRO MARTINS |
| ▨ Áreas Urbanizadas | ▤ UBS ARARAI | ▤ UBS DO BAIRRO VILA ALTA |
| | ▤ UBS DA RUA MISAEL BARCELOS | ▤ UBS DO BAIRRO VILA DO SUL |
| | ▤ UBS DE CELINA | ▤ UBS SANTA ANGELICA |
| | ▤ UBS DE RIVE | ▤ UBS VILA DO CAFE |
| | ▤ UBS DO BAIRRO GUARAREMA | |

Figura 1. Mapa da cidade de Alegre-ES, destacando as UBS.

Diante desse contexto, torna-se necessário que métodos completamente empíricos sejam substituídos por uma metodologia de planejamento territorial da saúde, conside-

rando não apenas a quantidade de unidades, mas também sua distribuição espacial em relação à população. A análise da localização das UBS em Alegre-ES é fundamental para identificar desigualdades no acesso e propor estratégias que minimizem barreiras geográficas, garantindo maior equidade no atendimento. Assim, o presente trabalho justifica-se pela relevância social e técnica de avaliar a cobertura espacial dos serviços de saúde, oferecendo subsídios para uma gestão pública eficiente.

1.3. A proposta

As UBS de Alegre estão, atualmente, localizadas nas coordenadas descritas na Tabela 1. As coordenadas geográficas das UBS foram obtidas visitando e coletando o ponto com sensor GPS dos endereços registrados no Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde (CNES) [Ministério da Saúde (Brasil) 2025].

Tabela 1. Localização atual das UBS de Alegre-ES

Unidade de Saúde	Latitude	Longitude
UBS da Rua Misael Barcelos	-20.76916588102009	-41.53487090528177
UBS do Bairro Guararema	-20.757693808674713	-41.54047589419822
UBS do Bairro Pedro Martins	-20.766329196127764	-41.539254396503345
UBS do Bairro Vila Alta	-20.758918328943484	-41.53209153098078
UBS do Bairro Vila do Sul	-20.769057173523432	-41.53487087247964
UBS de Anutiba	-20.60937447340775	-41.451278526274315
UBS de Celina	-20.762789018164955	-41.594855438394106
UBS de Rive	-20.75797912318791	-41.45798265860768
UBS da Vila do Café	-20.87086381430059	-41.57186149742031
UBS de Araraí	-20.592639073776155	-41.555655347279846
UBS de Santa Angélica	-20.693185584972976	-41.45314120485679

Propõe-se modelar o problema de localização das UBS como um problema de p-medianas para realizar o planejamento territorial e para avaliar a distribuição das UBS em Alegre-ES. Com base nessa análise, será possível sugerir os locais ótimos, buscando reduzir distâncias de deslocamento, melhorar a acessibilidade e promover maior equidade no atendimento à população. O planejamento proposto visa superar as limitações dos métodos tradicionais, otimizando a localização das unidades de saúde básica por meio do modelo matemático e da aplicação de SIG, garantindo um processo mais eficiente.

2. Metodologia

A Figura 2 apresenta o fluxograma da estrutura proposta para este trabalho, os dados da localização da população, somado a outros dados de interesse, como: distância viária, extraída do OpenStreetMap via OSMnx, localização atual das UBS, obtida por meio de sensores GPS, entre outros. Foram pré processados , organizando-os em tabelas de pontos de demanda e de locais candidatos, além de uma matriz de distâncias viárias obtida com algoritmos de caminho mínimo. Esse *dataset* alimentou o modelo de p-medianas, buscando minimizar a distância média ponderada percorrida pela população até as unidades de saúde. Em seguida os dados foram tratados estatisticamente, e comparados com a configuração empírica da localização das instalações atuais.

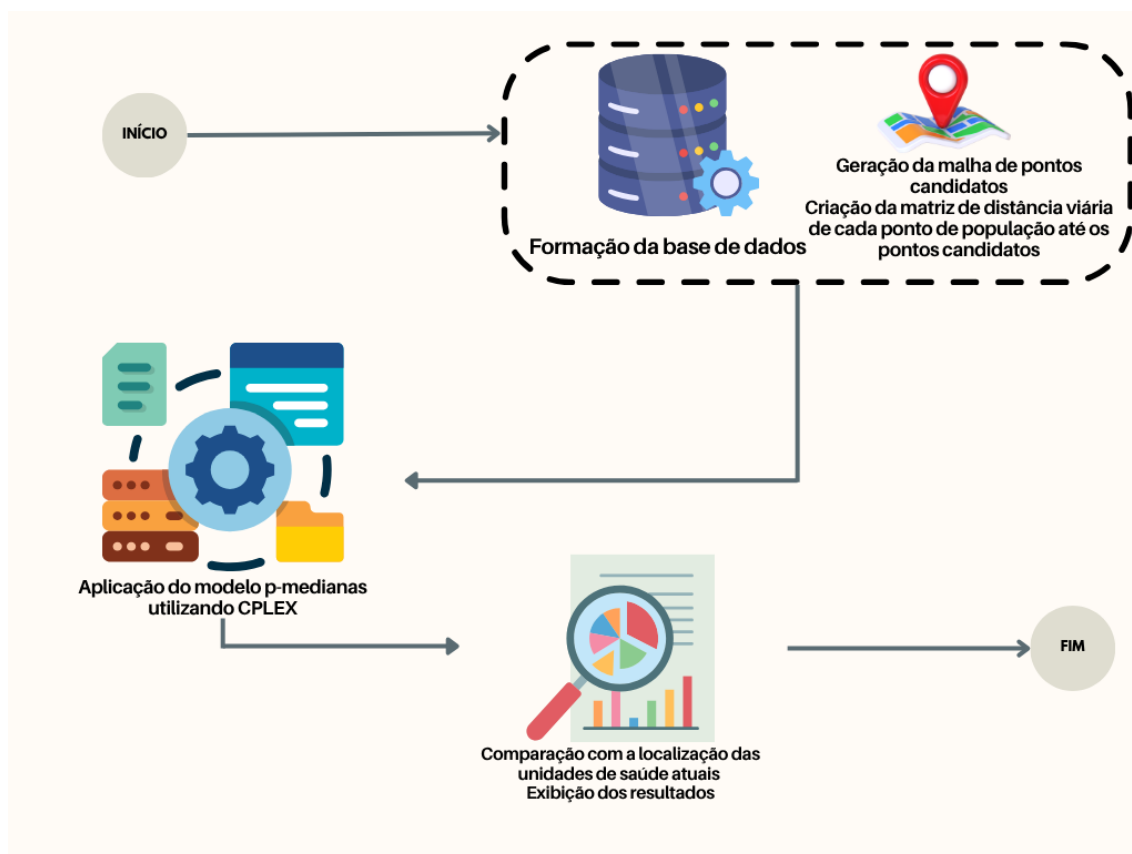


Figura 2. Fluxograma da proposta deste trabalho.

2.1. Definição da base de dados

Para a definição das instâncias territoriais utilizadas neste estudo, recorreu-se ao projeto de mapeamento de comunidades urbanas e rurais do Espírito Santo, que apresenta a divisão político-administrativa detalhada dos municípios do estado do Espírito Santo. A partir das informações cartográficas disponibilizadas nesse levantamento, realizou-se a extração das feições correspondentes à sede municipal e a cada distrito, gerando *shapefiles* individuais para cada unidade. Esse procedimento assegurou que a delimitação espacial de cada instância estivesse fundamentada em uma fonte oficial de mapeamento, garantindo consistência metodológica [IJSN 1997]. Assim, cada área de interesse, neste trabalho, corresponde a sede ou um distrito do município de Alegre-ES, formando cada um, uma instancia de execução do modelo e uma base de dados.

O censo demográfico e habitacional é a ferramenta tradicional para obter estatísticas detalhadas em pequenas áreas sobre a população e sua distribuição espacial. No entanto, os censos são demorados e sua resolução espacial é naturalmente limitada pelas áreas de enumeração censitária (EC), que carecem de informações mais detalhadas sobre a agregação populacional. O tamanho das ECs varia enormemente entre os países, desde centenas de metros quadrados em áreas urbanas até dezenas de milhares de quilômetros quadrados em regiões de baixa densidade populacional, resultando em uma resolução espacial média de 33 km em escala global [Tiecke et al. 2017].

Objetivando melhorar a precisão dos dados populacionais, utilizou-se o *dataset*

Brazil: High Resolution Population Density Maps + Demographic Estimates desenvolvido pela Meta, que forneceu o mapeamento populacional a partir de imagens de satélite de alta resolução combinadas com redes neurais convolucionais. O processo identifica edificações como proximidade da presença humana e reajusta com dados censitários, gerando mapas com resolução de aproximadamente 30m. A validação em 18 países mostrou alta precisão na detecção de construções (precisão de 0,95 e *recall* de 0,91), com desempenho superior a outros métodos principalmente em áreas rurais. Esse modelo, denominado *High Resolution Settlement Layer (HRS�)*, permite análises mais detalhadas da distribuição populacional e tem aplicações em planejamento urbano, saúde pública e gestão de riscos [Facebook Connectivity Lab 2016].

A Figura 3 apresenta um exemplo de mapa populacional do *dataset* supracitado, cada ponto possui um valor real que representa a quantidade de pessoas que vivem a aproximadamente 30m daquele ponto. Os pontos que estão localizados dentro de cada área de interesse foram convertidos em uma tabela, catalogando identificador, coordenada geográfica e número de pessoas.

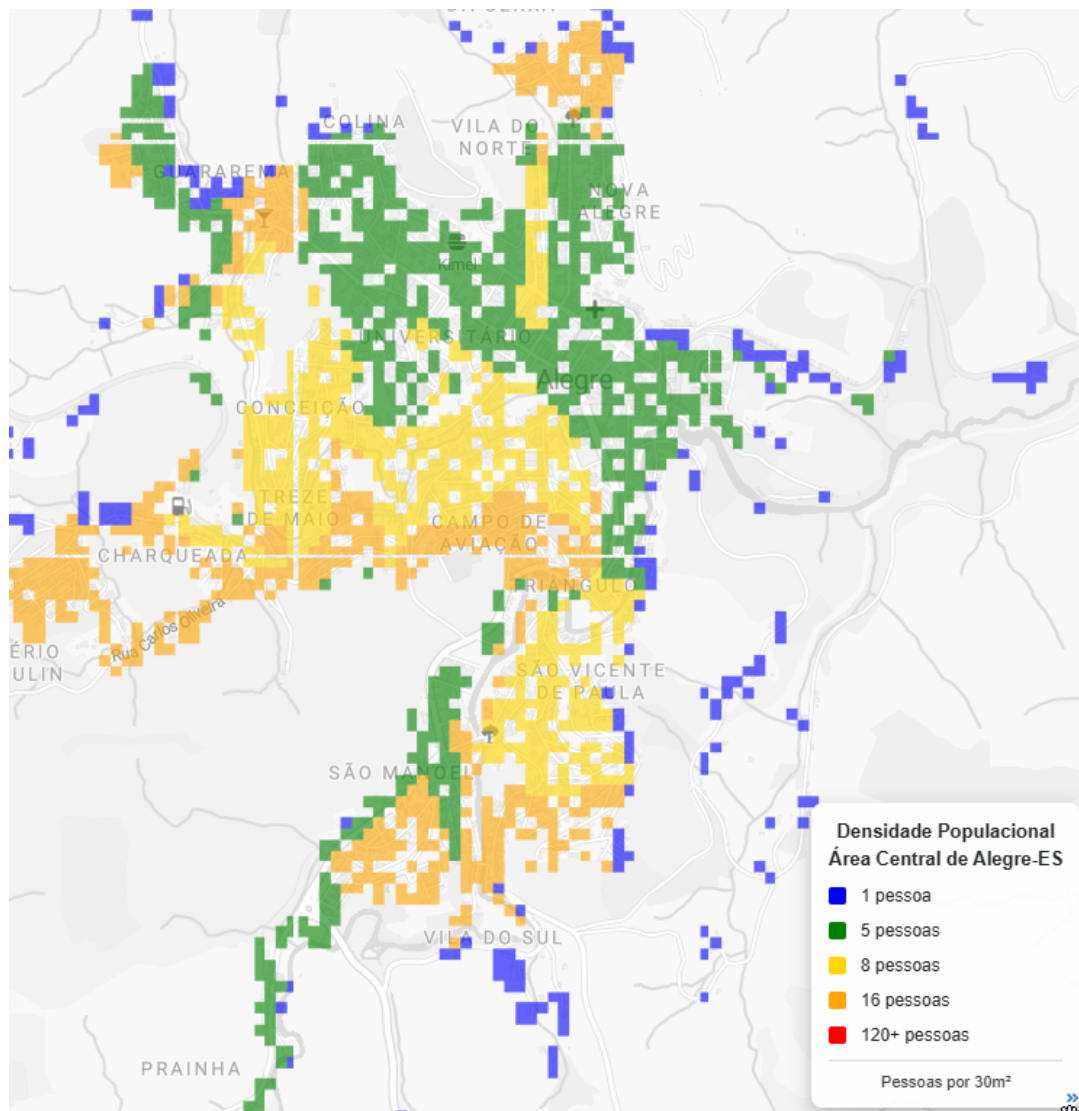


Figura 3. Mapa da densidade populacional da área central de Alegre-ES

Para definição dos possíveis pontos de localização das UBS, foi utilizado o *OSMnx*, que é uma biblioteca em *Python* voltada para análise e modelagem de redes urbanas a partir de dados do *OpenStreetMap (OSM)*. Ele foi desenvolvido por *Geoff Boeing* e é amplamente utilizado em pesquisas e aplicações de planejamento urbano, transporte, ciência de dados espaciais e geografia computacional [Boeing 2025].

O *OSMnx* permitiu gerar um grafo da rede viária das áreas de interesse. Os nós do grafo foram extraídos para uma tabela, catalogando, identificador e coordenadas geográficas. Como exemplo, a Figura 4 apresenta o grafo da sede de Alegre-ES. Cada nó do grafo representa uma possível local para instalação da UBS.

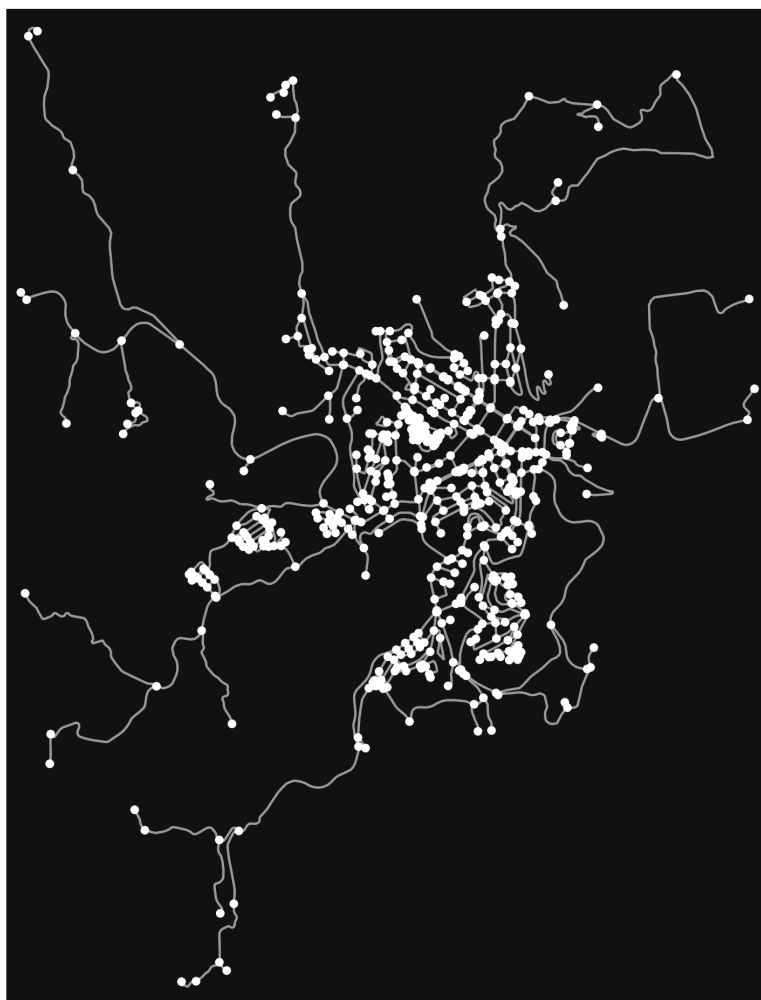


Figura 4. Grafo da sede de Alegre-ES

O *NetworkX* é uma biblioteca em *Python* destinada à modelagem e análise de grafos e redes complexas, oferecendo suporte a diferentes estruturas de grafos e a uma ampla variedade de algoritmos já implementados. Entre eles destaca-se o algoritmo de *Dijkstra*, um método clássico para determinar o caminho mínimo entre nós em um grafo ponderado, desde que os pesos das arestas sejam não negativos [Hagberg et al. 2008]. Utilizando o algoritmo *Dijkstra*, foi construída, para cada área de interesse, uma matriz $m \times n$, em que m representa o número de locais candidatos à instalação das UBS e n

corresponde à quantidade de pontos de população considerados. Cada célula dessa matriz armazena a distância viária entre um ponto de população e um possível local de instalação da UBS.

Assim, a base de dados deste estudo consiste em, para cada instância, uma tabela com a localização e identificação de cada ponto de demanda; uma tabela com a localização e identificação de cada ponto candidato; e, uma matriz, que armazena as distâncias viárias de cada ponto de demanda até cada ponto candidato.

A Tabela 2 apresenta os parâmetros considerados em cada instância de análise, incluindo a área territorial em quilômetros quadrados, a população residente potencialmente afetada e o número de pontos candidatos identificados para a instalação das UBS.

Tabela 2. Parâmetros das instâncias de trabalho

Instâncias	Área(km ²)	População afetada	Pontos candidatos
Sede	3,06	15.484	617
Anutiba	5,18	1.124	83
Araraí	5,28	356	86
Café	15,79	881	321
Celina	7,97	1.978	156
Rive	10,11	2.034	351
Santa Angélica	11,89	476	182
São João	0,81	75	29

2.2. Modelo matemático

O Problema da p -Medianas (*p-Median Problem*) é um dos modelos fundamentais da teoria de localização discreta e figura entre os mais utilizados na otimização da localização de serviços, sobretudo no setor público [Beheshtifar and Alimoahmadi 2015]. O objetivo central do modelo é localizar um número predeterminado de instalações (p) em um conjunto de locais candidatos (facilidades) de forma a minimizar a soma total ponderada das distâncias, tempos ou custos de viagem de cada ponto de demanda até a instalação mais próxima. Em outras palavras, busca-se encontrar as localizações que minimizem o esforço médio da população para acessar o serviço [Mladenović et al. 2007].

O modelo de p -medianas assume que cada unidade de demanda será atendida pela instalação mais próxima de sua localização. Assim, as unidades ideais correspondem a centros de gravidade que minimizam a distância demanda-oferta. Entretanto, trata-se de um problema classificado como *NP-hard*, o que significa que encontrar soluções exatas pode ser inviável para instâncias de grande porte. Dessa forma, a formulação matemática do modelo é usualmente expressa como um problema de programação linear inteira, sendo muitas vezes necessário recorrer a heurísticas para resolvê-lo [Mladenović et al. 2007].

O modelo matemático clássico de p -medianas, acrescido do peso w_i para cada ponto de população é apresentado a seguir:

$$\min \sum_i \sum_j w_i d_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

sujeito a:

$$\sum_j x_{ij} = 1, \forall i \in I \quad (2)$$

$$x_{ij} \leq y_j, \forall i \in I, \forall j \in J \quad (3)$$

$$\sum_j y_j = p \quad (4)$$

$$x_{ij}, y_j \in \{0, 1\} \quad (5)$$

onde:

$$Y_j = \begin{cases} 1, & \text{se a facilidade está aberta} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

$$x_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{se o cliente } i \text{ é atendido pela facilidade } j \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

w_i  é a quantidade de pessoas no ponto i

d_{ij} é é a distância viária do ponto i a instalação j

p  é o número total de facilidades abertas

I  é o conjunto de pontos de população

J é é o conjunto de localização das potenciais facilidades

A função objetivo (1) minimiza a distância total de cada pessoa até as UBS. O conjunto de restrições (2) expressa que cada ponto de demanda deve ser atendido por uma instalação. O conjunto de restrições (3) impedem que qualquer pessoa seja atendido por um local com uma instalação não aberta. O número total de facilidades abertas é definido por p no conjunto de restrições (4). O conjunto de restrições (5) define a binaridade das variáveis de decisão.

3. Experimento

Cada instancia do problema de programo linear inteira binária descrito na Seção 2, foi submetida ao solver ILOG CPLEX Optimization Studio 22.1.1®. O modelo foi implementado na linguagem *python*, com apoio das bibliotecas *pulp* e *CPLEX_CMD* configurado para utilizar os parâmetros padrões do CPLEX. Os dados foram organizados em arquivos csv. Para isso, foi utilizado um *desktop* da marca Dell com processador Intel Core I3-2100 com 4 núcleos e 3.1GHz de velocidade, 32GB de memória RAM e 256 GB de SSD, com sistema operacional Windows 10 pro. O código-fonte, dados e instruções para reprodução dos experimentos estão disponíveis no repositrio¹.

4. Resultados

A aplicação do modelo de p -medianas permitiu identificar os pontos ótimos ($GAP = 0$) para a alocação das UBS em cada instância territorial do município de Alegre-ES. Os

¹Repositrio de dados e código fonte: https://github.com/dalvanribeiro/SBSI2026_antigo

resultados evidenciam diferenças significativas entre a disposição empírica atual das unidades e as localizações propostas pelo modelo, com reduções expressivas nas distâncias médias percorridas pela população.

A Tabela 3 apresenta o resumo do desempenho computacional de cada instância de trabalho. Os resultados evidenciaram que a complexidade do modelo de otimização, expressa pelo número de variáveis e restrições, apresentou variações significativas entre as diferentes instâncias, permitindo uma visão comparativa.

Tabela 3. Resumo do desempenho do modelo por instância

Instâncias	Restrições	Variáveis	Tempo para solução (s)	GAP
Sede	1104367	1103196	1756,05	0
Anutiba	23353	23157	516,61	0
Araraí	9571	9546	513,71	0
Café	127513	127437	614,11	0
Celina	74890	74568	559,02	0
Rive	215777	215514	667,13	0
Santa Angélica	31660	31668	526,60	0
São João	421	435	504,85	0

A Tabela 4 apresenta o resumo dos resultados de cada instância de trabalho, sintetizando o efeito do modelo sobre as distâncias percorridas pela população em cada instância avaliada. São apresentados os valores da distância total e da distância média no cenário original e no cenário otimizado, bem como a redução percentual obtida. Esse indicador permite avaliar o ganho em acessibilidade proporcionado pela realocação otimizada das UBS.

Os resultados mostram que, em todas as instâncias, a aplicação do modelo levou a reduções, ainda que em magnitudes distintas. Em termos absolutos, a Sede apresentou o maior impacto em volume de deslocamentos, com redução de mais de 3,3 milhões de metros, equivalente a 32,47% em relação ao cenário atual. Em termos relativos, a instância que mais se beneficiou foi Celina, onde a distância média por pessoa caiu de 901,56 m para 540,78 m, correspondendo a uma redução de 40,02%. Em contraste, distritos como Café, Rive, Santa Angélica registraram reduções marginais (1,54% , 2,73% e 0,69%, respectivamente), indicando que a localização atual das UBS já atende de forma razoavelmente eficiente à população.

Destaca-se o caso de São João, em que não há, atualmente, UBS em funcionamento dentro dos limites do distrito, o que impossibilitou a comparação direta. Ainda assim, o modelo identificou uma localização ótima com distância média de 73,75 m, o que reforça seu potencial em apoiar áreas carentes de infraestrutura.

Tabela 4. Sumarização dos resultados por instância

Instâncias	Distância (m) Original	Distância (m) Otimizada	Média (m) Original	Média (m) Otimizada	Redução (%)
Sede	10225970,72	6905747,15	660,43	446,00	32,47
Anutiba	651972,20	594066,08	579,60	528,12	8,88
Araraí	220561,85	211528,96	618,41	593,08	4,10
Café	1326984,94	1306512,82	1505,40	1482,17	1,54
Celina	1783389,56	1069729,07	901,56	540,78	40,02
Rive	1743636,94	1695975,62	857,23	833,80	2,73
Santa Angélica	646095,77	641618,39	1356,87	1347,46	0,69
São João	-	5516,06	-	73,75	-

Além de quantificar a redução da distância percorrida pela população em cada instância, o modelo também possibilita identificar explicitamente as localizações ótimas para a implantação ou realocação das UBS, otimizando sua disposição territorial de forma consistente com a distribuição espacial da demanda. Diferentemente de uma análise apenas estatística, essa etapa espacial permite visualizar como a solução do modelo se materializa no território, evidenciando deslocamentos dos pontos de oferta em direção a áreas de maior concentração populacional ou a regiões previamente sub-atendidas.

As Figuras 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11 ilustram essas configurações espaciais para cada instância analisada. Os marcadores vermelhos representam as localizações atuais das UBS, refletindo a configuração empírica existente, enquanto os marcadores verdes indicam as posições sugeridas pelo modelo de p-medianas como soluções ótimas. A comparação visual entre esses dois conjuntos de pontos permite observar, em vários casos, um reposicionamento das unidades em direção a eixos viários mais centrais ou a zonas com maior densidade de população, reduzindo distâncias médias e melhorando a acessibilidade territorial.

Os pontos azuis representam a população atendida por cada UBS, ponderada conforme a densidade populacional do HRSL, o que possibilita perceber a relação entre oferta e demanda no espaço geográfico. Essa representação evidencia não apenas a redução global das distâncias, mas também mudanças no padrão de cobertura, como a diminuição de “vazios assistenciais” e a redistribuição mais equilibrada das áreas de influência das unidades de saúde.

Para ampliar a transparência e a reprodutibilidade dos resultados, foi desenvolvido um sistema para visualização interativa dos mapas, disponível online². A ferramenta permite explorar dinamicamente cada instância, ativando e desativando camadas de informação, o que facilita a interpretação dos resultados por gestores públicos e reforça o caráter aplicado do modelo como instrumento de apoio à decisão no planejamento territorial da saúde.

²Sistema interativo para visualização dos resultados: <https://dalvanribeiro.github.io/mapaUBS/>

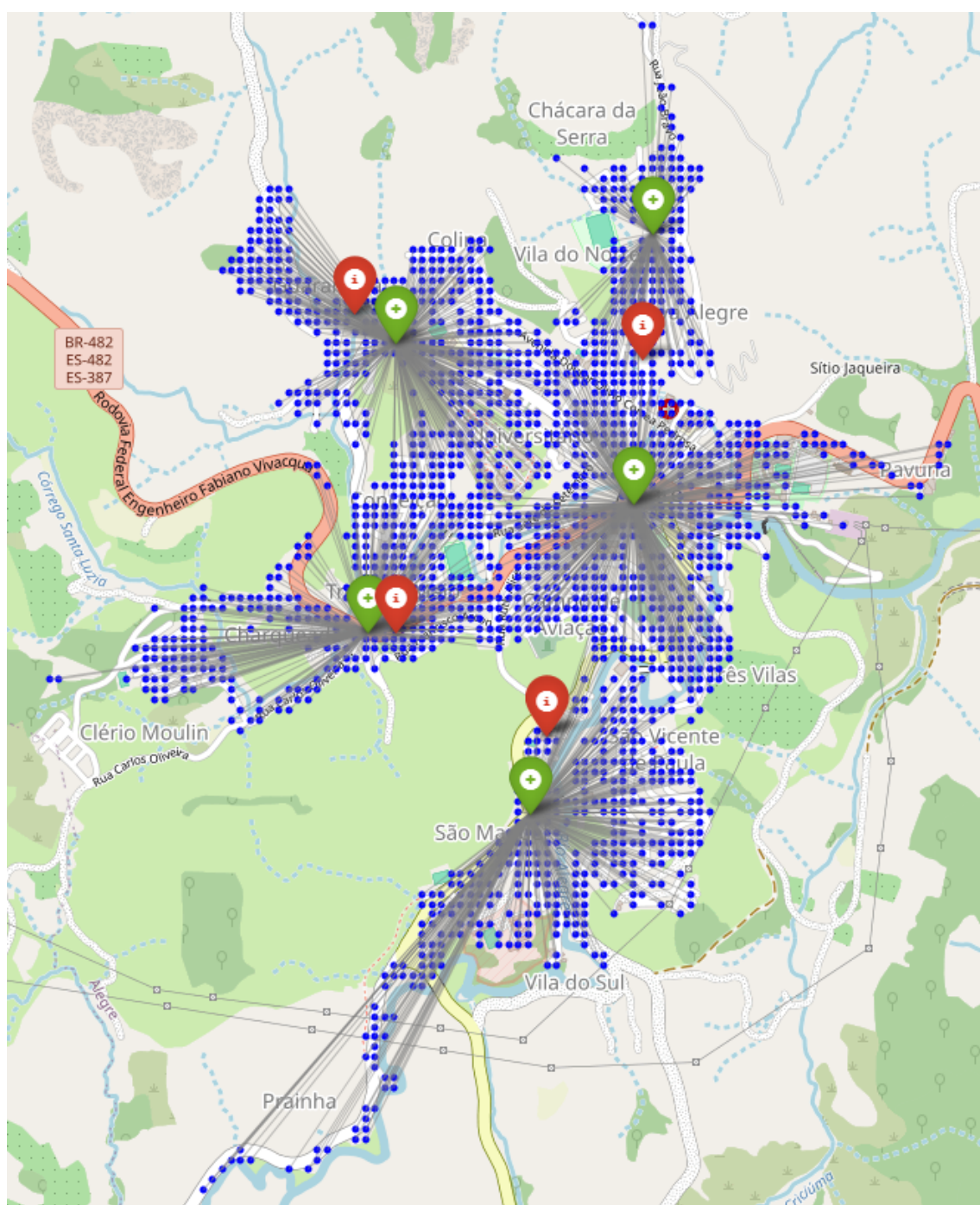


Figura 5. Mapa dos pontos ótimos para alocação das UBS da sede de Alegre-ES

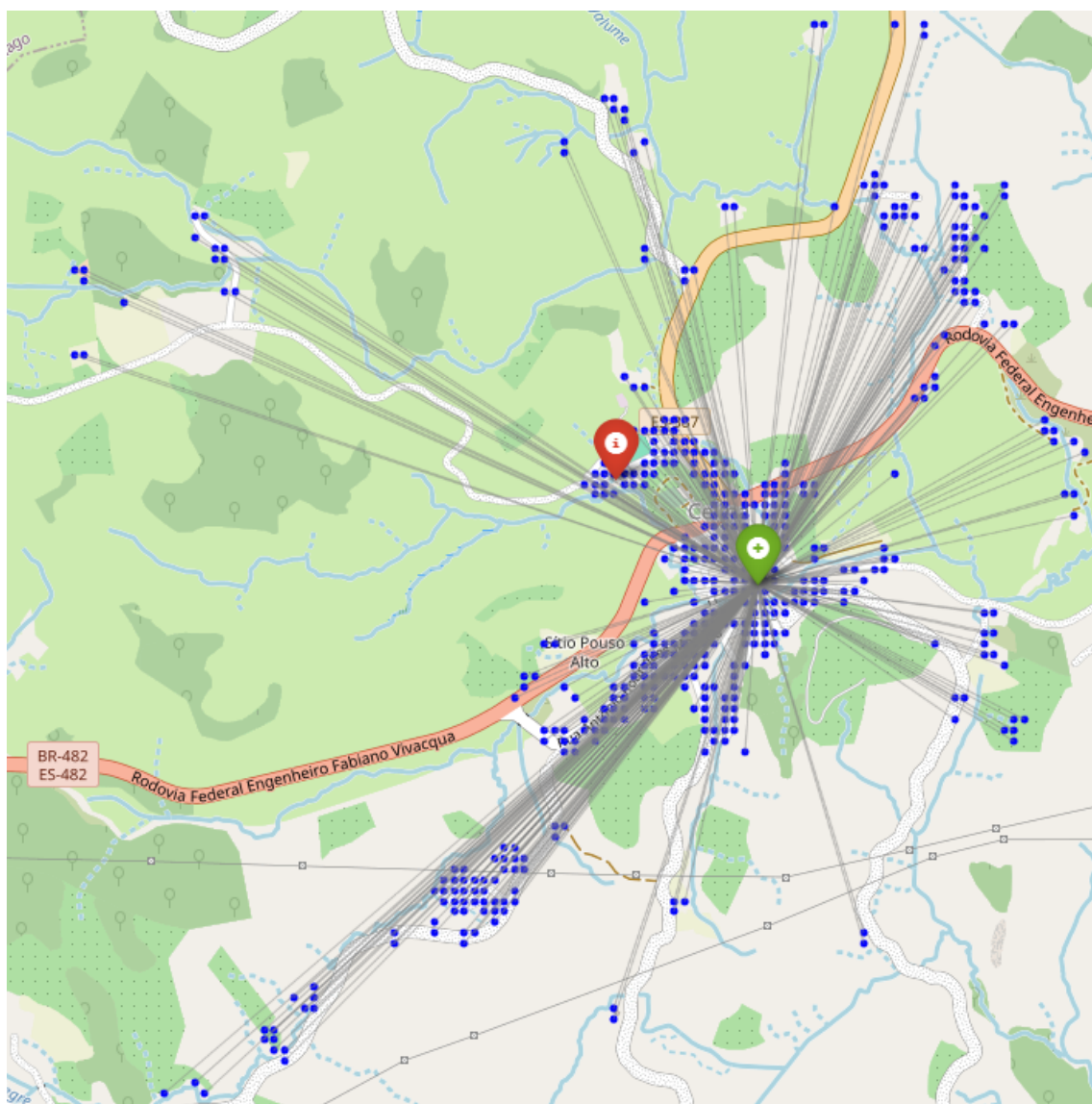


Figura 6. Mapa do ponto ótimo para alocação da UBS do distrito de Celina

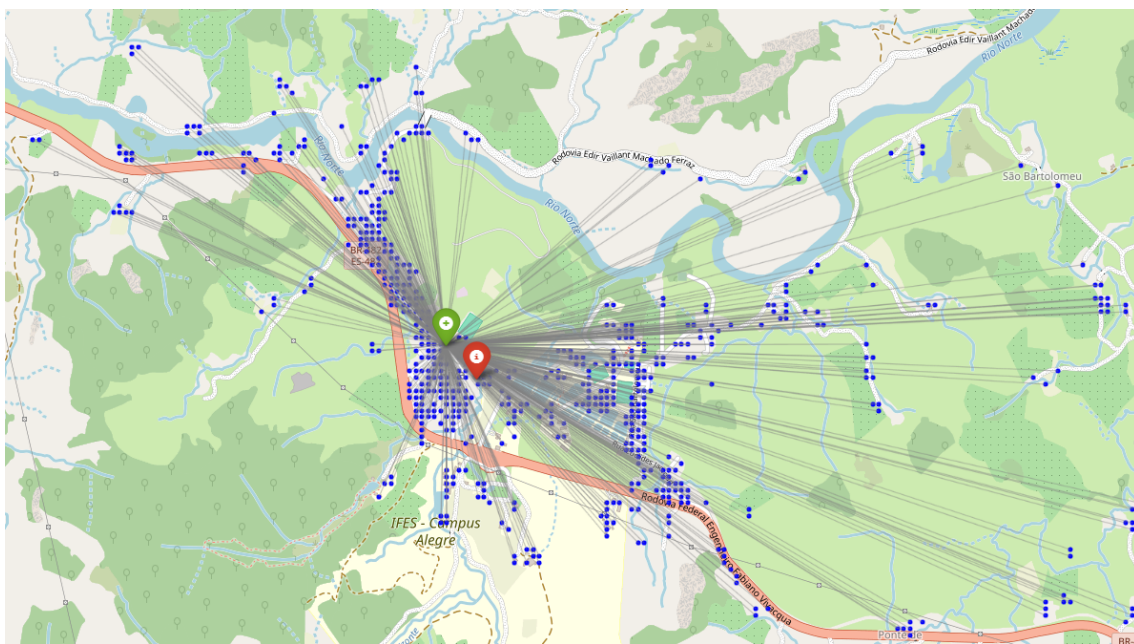


Figura 7. Mapa do ponto ótimo para alocação da UBS do distrito Rive

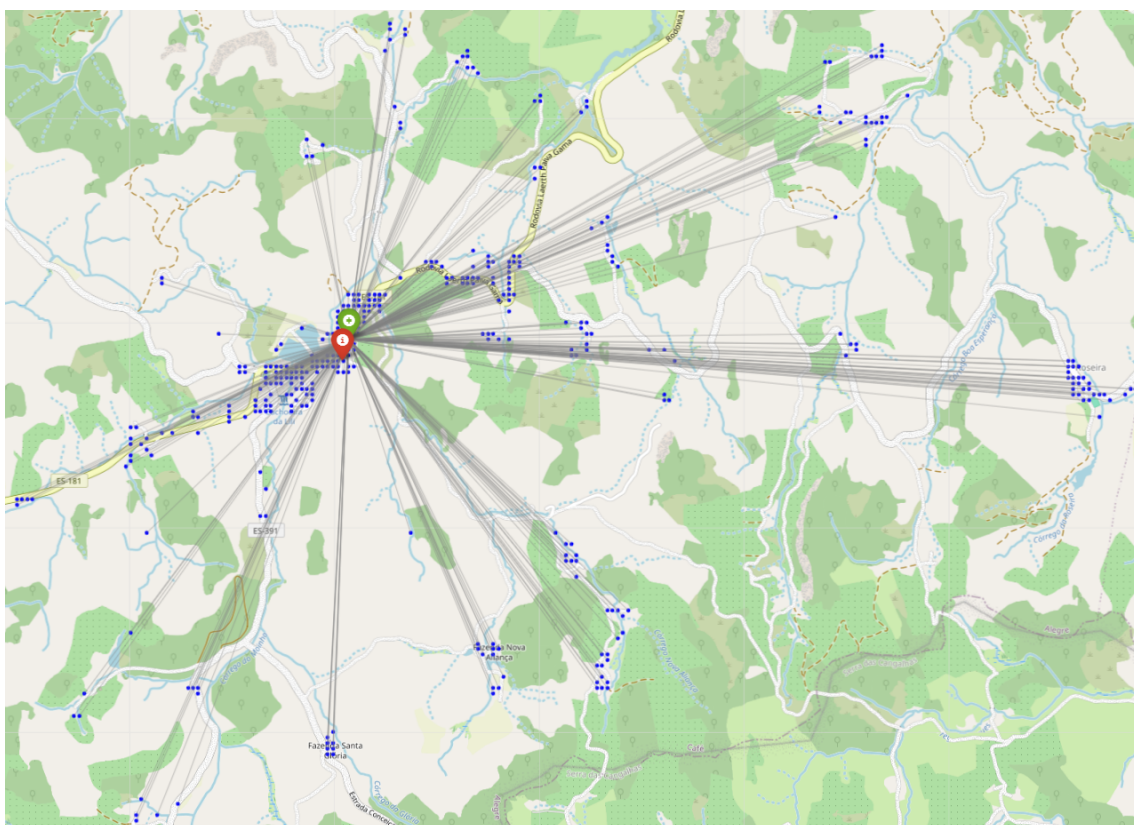


Figura 8. Mapa do ponto ótimo para alocação da UBS do distrito do Café

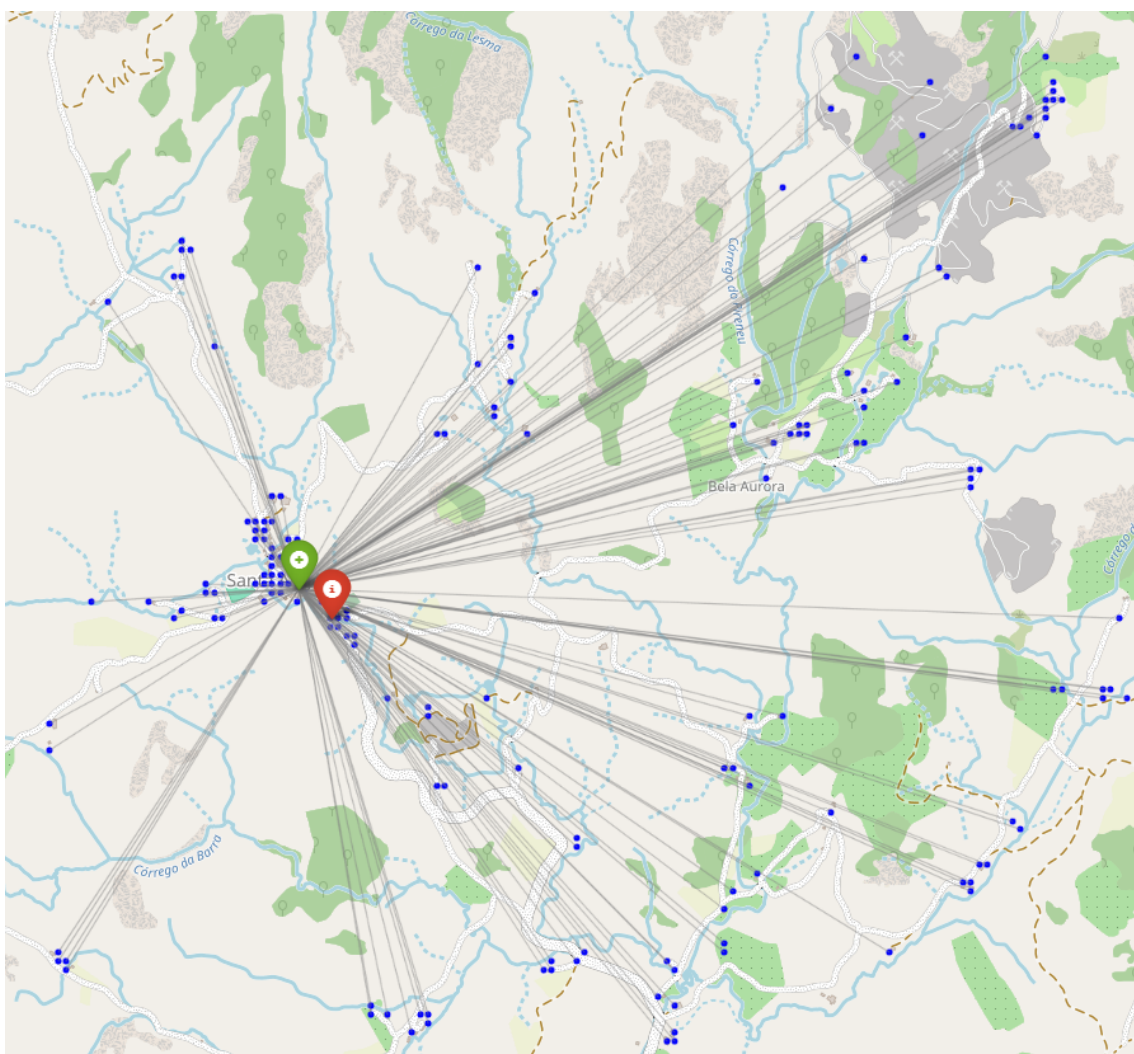


Figura 9. Mapa do ponto ótimo para alocação da UBS do distrito de Santa Angélica

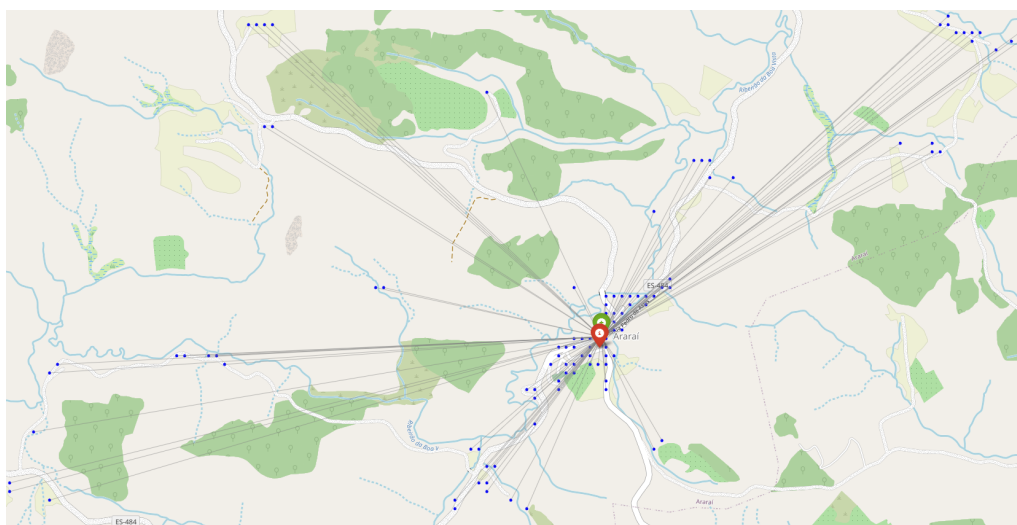


Figura 10. Mapa do ponto ótimo para alocação da UBS de Araraí

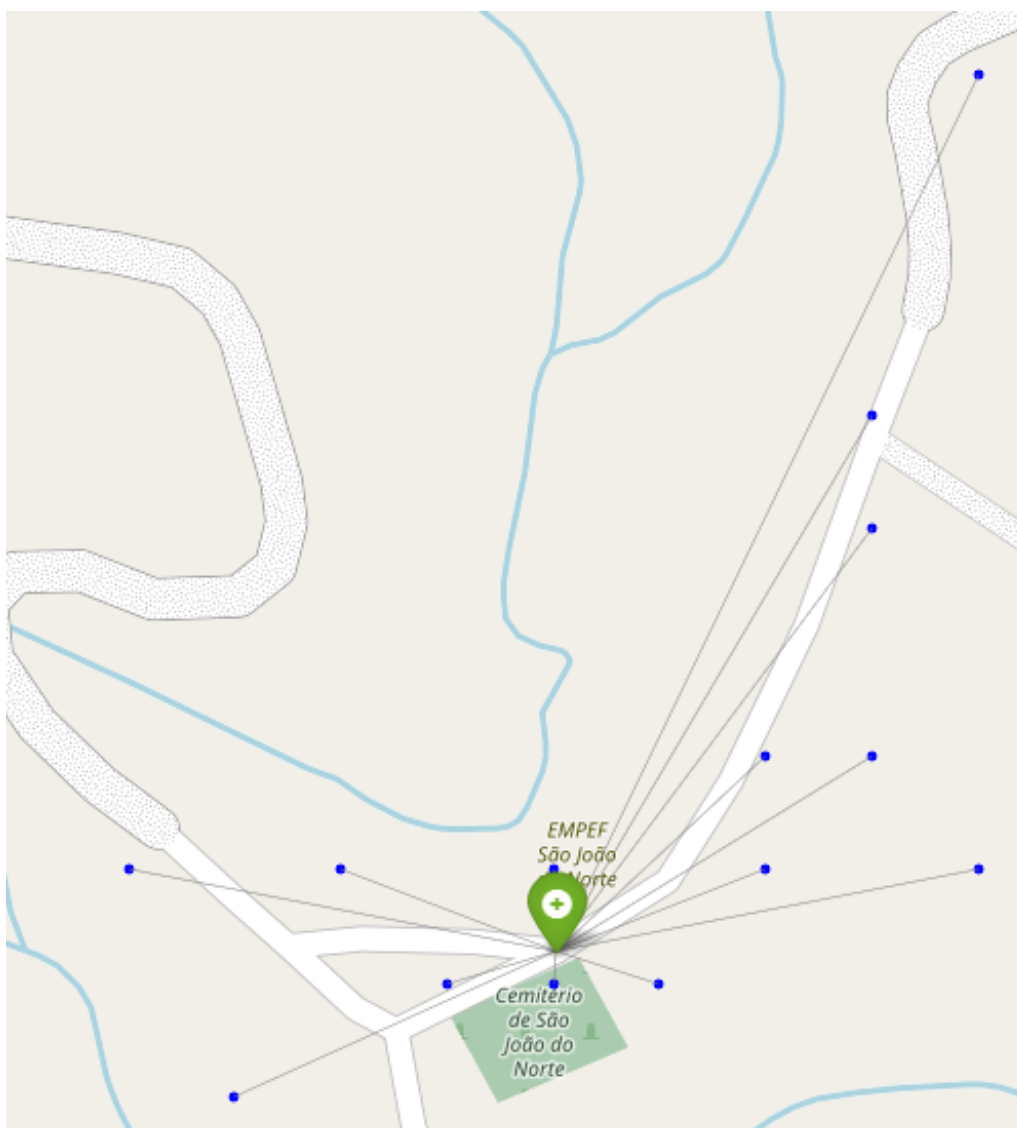


Figura 11. Mapa do ponto ótimo para alocação da UBS de São João

5. Conclusão

O presente estudo demonstrou a relevância da aplicação de técnicas de otimização combinatória, integradas a dados geoespaciais de alta resolução, combinados com SIG, para apoiar o planejamento da atenção primária a saúde no município de Alegre-ES. A utilização do modelo de p-medianas, aliado a dados populacionais derivados de imagens de satélite e à rede viária real, possibilitou identificar locais otimizados para a implantação das UBS, resultando em reduções significativas nas distâncias médias percorridas pela população em diversos cenários. Esses resultados evidenciam que a incorporação de metodologias quantitativas pode contribuir para maior equidade no acesso, eficiência no uso de recursos públicos e fortalecimento da capacidade de gestão municipal em saúde.

Além disso, observou-se que a aplicação do modelo não apenas quantificou ganhos em termos de deslocamento populacional, mas também revelou regiões específicas onde a atual disposição das UBS já se mostra eficiente, assim como áreas onde há maior

carência estrutural. Dessa forma, a metodologia proposta configura-se como uma ferramenta robusta de apoio à decisão, capaz de subsidiar políticas públicas baseadas em evidências e promover melhorias concretas na qualidade do atendimento à população.

Como perspectivas de trabalhos futuros, é possível ampliar o modelo por meio da inclusão de novos critérios, como a capacidade de atendimento das UBS, a disponibilidade de profissionais de saúde, indicadores socioeconômicos e restrições orçamentárias. Também se mostra promissora a adoção de abordagens multiobjetivo, que considerem simultaneamente aspectos de acessibilidade, custo e equidade. Outro caminho relevante é a replicação da metodologia em municípios de diferentes portes e características geográficas, possibilitando comparações entre contextos urbanos e rurais.

Por fim, a integração do modelo com sistemas de informação em tempo real poderá originar uma ferramenta prática de apoio à decisão, permitindo que gestores públicos consultem, de forma rápida e intuitiva, cenários otimizados para sua área de atuação. Essa abordagem possibilitaria avaliar diferentes alternativas de localização de UBS em função de mudanças demográficas, expansão urbana ou alterações na infraestrutura viária, fornecendo subsídios técnicos imediatos para o planejamento territorial da saúde.

Agradecimentos

Os autores agradecem a FAPES e a UnAC pelo apoio financeiro dado.

Referências

- Beheshtifar, S. and Alimoahmadi, A. (2015). A multiobjective optimization approach for location-allocation of clinics. *International Transactions in Operational Research*, 22(2):313–328.
- Boeing, G. (2025). Modeling and analyzing urban networks and amenities with osmnx. *Geographical Analysis*. Published online ahead of print.
- da Silva Lima, R. (2003). *Bases para uma metodologia de apoio à decisão para serviços de educação e saúde sob a ótica dos transportes*. Tese (doutorado em transportes), Escola de Engenharia de São Carlos, University of São Paulo, São Carlos. Acesso em: 2025-08-11.
- Facebook Connectivity Lab (2016). High resolution settlement layer (hrsl). Source imagery for HRSL © 2016 DigitalGlobe. Accessed 21/08/2025.
- Goudard, B., Oliveira, F., and Gerente, J. (2015). Evaluation of locations models for spatial distribution analysis of basic health units. *Revista Brasileira de Cartografia*, 67:15–34.
- Hagberg, A. A., Schult, D. A., and Swart, P. J. (2008). Exploring network structure, dynamics, and function using networkx. In Varoquaux, G., Vaught, T., and Millman, J., editors, *Proceedings of the 7th Python in Science Conference*, pages 11 – 15, Pasadena, CA USA.
- Harris, M. and Haines, A. (2010). Brazil's family health programme. *BMJ*, 341:c4945. Editorial.

- IBGE (2022). Censo demográfico 2022. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/22827-censo-demografico-2022.html>. Acesso em: 18 ago. 2025.
- IJSN, I. J. d. S. N. (1997). Projeto mapeamento de comunidades urbanas e rurais do espírito santo. Technical report, Instituto Jones dos Santos Neves, Vitória, ES.
- Ministério da Saúde (2025). Saiba mais sobre a atenção primária à saúde (aps). <https://www.gov.br/saude/pt-br/composicao/saps/saiba-mais-sobre-a-aps>. Acesso em: 23 set. 2025.
- Ministério da Saúde (Brasil) (2025). Cadastro nacional de estabelecimentos de saúde – cnes. Acesso em: 8 set. 2025.
- Mladenović, N., Brimberg, J., Hansen, P., and Moreno-Pérez, J. A. (2007). The p-median problem: A survey of metaheuristic approaches. *European Journal of Operational Research*, 179(3):927–939.
- Oliveira, A. M. d., Brito, C. A. O., and Oliveira, L. N. A. d. (2019). Analysis of the urban space distribution of family health units and basic health unit in santana fair. *Brazilian Journal of Development*, 5(7):8534–8543.
- Santana, G. U. S. and dos Santos, G. F. (2024). Location and health in an inequal city: Evidence for salvador in brazil. *Regional Science Policy & Practice*, 16(7):100047.
- Soares, D. d. J., Vilasbôas, A. L. Q., Souza, M. K. B. d., and Bispo Júnior, J. P. (2024). Acessibilidade aos serviços de atenção primária à saúde em municípios rurais do brasil. *Saúde em Debate*, 48(142):e8945.
- Tiecke, T. G., Liu, X., Zhang, A., Gros, A., Li, N., Yetman, G., Kilic, T., Murray, S., Blankespoor, B., Prydz, E. B., and Dang, H.-A. H. (2017). Mapping the world population one building at a time.