

A System for Workforce Sizing Optimization to Enhance Service Capacity in Primary Healthcare Units

Mateus Santos¹, Gabriela Tenório¹, Bruno J. S. Barros¹, Bruno Nogueira¹,
Dimas Cassimiro Nascimento², Rian G. S. Pinheiro¹

¹Instituto de Computação – Universidade Federal de Alagoas (UFAL)
Maceió, AL.

²Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFape)
Garanhuns, PE.

{mahs, gabtn, bruno, rian}@ic.ufal.br, brrsbruno@gmail.com,
dimas.cassimiro@ufape.edu.br

Abstract. Research Context: The Brazilian Unified Health System faces overload due to high demand for emergency services. Primary Health Care (PHC) plays a central role in mitigating this issue but suffers from the uneven distribution of human resources. **Scientific and/or Practical Problem:** The lack of optimized strategies for professional allocation generates imbalances among PHC units, resulting in service deficits in some regions and underutilization in others. **Proposed Solution and/or Analysis:** This study proposes a decision support system that uses open health data and mathematical optimization models to reallocate professionals across primary healthcare units. The system is formulated as an Integer Linear Programming (ILP) problem, aiming to maximize the minimum Service Capacity Margin (MCA), which reflects the balance between supply and demand. **Related IS Theory:** The research draws on Information Systems theories focused on decision support, such as Decision Support Systems (DSS) Theory, and mathematical modeling approaches in organizational contexts. **Research Method:** An ILP model (MAX-MCA) was developed to allocate professionals by category in Primary Health Care units. Demand was estimated from sociodemographic data, distributed using Voronoi diagrams, and adjusted based on actual service production from public records. Supply was calculated from the weekly working hours of professionals and average productivity standards defined by the respective professional councils. **Summary of Results:** Experiments were conducted in the municipalities of Ribeirão Preto and Guarulhos. In both scenarios, the model eliminated deficits and increased MCA across all analyzed categories, demonstrating more balanced and efficient utilization of human resources. **Contributions and Impact to IS area:** This work illustrates how optimization models integrated with Information Systems can support decision-making, promoting greater equity and efficiency in resource allocation. The study contributes to advancing operational research applications in health management.

1. Introdução

O Sistema Único de Saúde (SUS), desenvolvido pelo Governo Federal e implantado em 1990, contou com a criação de uma estrutura sólida para a sua aplicação, composto por três setores de gestão articulados por uma metodologia organizacional descentralizada e pela hierarquização. Nesse modelo de organização, cada demanda deve ser direcionada ao nível de atenção requerido, sendo a prestação de serviços definida conforme a região geográfica e critérios epidemiológicos pré-estabelecidos [Brasil 1990].

A Atenção Primária à Saúde (APS) é o primeiro nível de complexidade de atenção à saúde, ela é estabelecida pela Política Nacional de Atenção Básica (PNAB), tendo a capacidade de resolver aproximadamente 85% das demandas de saúde sem a necessidade de atendimento em serviços de emergência ou pronto-socorro, que possuem um custo maior. Considerando a importância da APS na redução da sobrecarga hospitalar, torna-se evidente a necessidade de um funcionamento eficiente e bem estruturado nesse nível de atenção, com uma organização sólida dos serviços e com a garantia de acessibilidade à população, evitando o colapso do sistema [Conselho Nacional de Secretários de Saúde (CONASS) 2019].

A PNAB estabelece que a APS deve ser organizada a partir de Unidades Básicas de Saúde (UBS), estruturadas com Equipes de Atenção Básica (eAB) e, prioritariamente, com Equipes de Saúde da Família (eSF). As equipes atuam sobre um território definido, garantindo assistência integral, ações de promoção da saúde, prevenção de doenças, recuperação e reabilitação, e intervenções que consideram os determinantes sociais da saúde. As eAB ampliam a cobertura e se adaptam melhor às necessidades locais, principalmente em áreas onde a implementação das eSF ainda não foi possível. Assim, enquanto as eSF desempenham um papel ativo na detecção precoce e na gestão contínua da saúde da população, as eAB respondem às demandas espontâneas e garantem a oferta de ações essenciais nos territórios onde estão inseridas [Ministério da Saúde (Brasil) 2017].

Entretanto, a efetividade da APS é frequentemente comprometida pela alta demanda e pela desorganização dos serviços, que resultam na sobrecarga das equipes e na dificuldade de acesso da população aos atendimentos necessários. A falta de uma distribuição adequada de profissionais nas UBSs agrava esse cenário, pois a relação entre número de profissionais disponíveis e volume de atendimentos necessários muitas vezes não é equilibrada, gerando longas filas, consultas superficiais e dificuldades no acompanhamento contínuo dos pacientes [Geremia, D. S. 2020].

A eficiência dos sistemas de saúde depende da capacidade de realizar o dimensionamento ideal dos profissionais e a alocação eficiente desses recursos, o que frequentemente representa desafios significativos para gestores nesse campo [Campos and Melo 2007]. A otimização desses processos pode reduzir os custos relacionados à logística em hospitais, tornando-os mais eficientes. Nesse contexto, a pesquisa operacional aplicada à otimização de processos emerge como uma abordagem para enfrentar esses desafios na área da saúde [Poulin 2003].

Diversos estudos abordam a alocação de profissionais de saúde em contextos hospitalares, incluindo mecanismos de priorização [Zarei et al. 2023], previsão de demanda [Ordu et al. 2021], modelos de capacidade [Ghannam 2022], planejamento de força de trabalho [Taghavi et al. 2021], gestão de sobrecarga [Lacasa et al. 2020] e alocação con-

siderando carga horária e especialização [Tsay and Wang 2007]. Diferentemente desses trabalhos, este estudo propõe um sistema integrado voltado especificamente à APS no SUS, utilizando dados abertos e um modelo de otimização fundamentado no conceito de folga organizacional para apoiar a redistribuição de profissionais por categoria, incorporando simultaneamente vulnerabilidade, oferta e demanda das unidades básicas.

O sistema utiliza o indicador de Margem de Capacidade de Atendimento (MCA) para quantificar o equilíbrio entre oferta e demanda em cada unidade, considerando a disponibilidade de profissionais por categoria e a demanda estimada de atendimentos. Por meio da análise dos resultados do modelo, gestores podem identificar unidades em situação de sobrecarga, simular diferentes cenários de alocação de profissionais e promover maior equidade na distribuição de recursos. Dessa forma, a metodologia contribui para aprimorar o processo decisório no SUS, fornecendo uma ferramenta estruturada e baseada em evidências que apoia o planejamento e a gestão da força de trabalho na APS.

As próximas seções deste trabalho são organizadas da seguinte forma: a Seção 2 apresenta uma revisão da literatura com métodos de resolução do problema abordado e trabalhos relacionados; a Seção 3 descreve o problema de alocação e os principais elementos considerados no modelo; a Seção 4 detalha o método proposto; a Seção 5 apresenta os resultados obtidos; e, por fim, a Seção 6 traz as conclusões do trabalho.

2. Trabalhos Relacionados

A alocação de recursos humanos envolve a consideração de múltiplos fatores, como a especialização dos profissionais, restrições legais e institucionais, preferências individuais e limitações orçamentárias. Nesse contexto, diversos estudos têm proposto modelos matemáticos e métodos computacionais para apoiar decisões relacionadas à distribuição ótima de recursos humanos.

O trabalho de [Zarei et al. 2023] cria um mecanismo que aloca de forma eficiente profissionais de saúde limitados às unidades hospitalares com necessidades urgentes, considerando restrições e preferências de ambas as partes. Em [Ordu et al. 2021], é desenvolvido um modelo que visa prever a demanda futura de pacientes em diferentes especialidades e otimizar a alocação de recursos essenciais, como leitos, médicos e enfermeiros, em um hospital. Em [Ghannam 2022], é desenvolvido um modelo de programação linear inteira mista para lidar com a determinação do número máximo de pacientes que vivem com diferentes tipos de complicações clínicas para determinar a necessidade de médicos e distribuí-los.

O trabalho de [Taghavi et al. 2021] desenvolve um modelo de planejamento de força de trabalho baseado nas necessidades da população para equipes de especialistas em cuidados paliativos durante os próximos 20 anos. Em [Lacasa et al. 2020], é elaborado um modelo que busca minimizar a sobrecarga em unidades de saúde superlotadas, transferindo pacientes para instalações com capacidade disponível. O estudo de [Tsay and Wang 2007] aborda a alocação eficiente de profissionais de saúde, considerando especializações, carga horária, a duração e a natureza das consultas, bem como a capacidade das unidades de atendimento. A pesquisa foi realizada no contexto de Taiwan e focou especialmente nas questões relacionadas à organização e administração do trabalho de enfermagem, além de discutir o impacto das políticas de recursos humanos na saúde.

O presente trabalho diferencia-se da literatura ao propor um modelo voltado especificamente ao contexto da APS, no qual a alocação de profissionais é orientada pela maximização da Margem de Capacidade de Atendimento mínima (MCA). Ao contrário de estudos que privilegiam os mecanismos de priorização [Zarei et al. 2023] ou a previsão de demanda [Ordu et al. 2021], a abordagem aqui adotada fundamenta-se no conceito de folga organizacional e busca garantir equidade entre unidades ao otimizar diretamente a menor folga entre oferta e demanda. Essa perspectiva distributiva, aplicada ao cenário da APS, ainda é pouco explorada. A folga organizacional refere-se aos recursos excedentes que uma instituição possui além do mínimo necessário para manter suas operações básicas, sendo essencial para garantir flexibilidade operacional, permitindo a adaptação a oscilações na demanda.

O sistema proposto utiliza estimativas da demanda e da capacidade ofertada, calculadas de forma distinta: a demanda é obtida a partir da proporção populacional atendida por cada unidade de saúde, enquanto a oferta corresponde ao número médio de atendimentos mensais realizados por cada profissional em sua categoria. A alocação dos profissionais garante uma distribuição mais eficiente dos recursos humanos e reduz a desigualdade no acesso aos serviços. A proposta contribui para a gestão da APS ao fornecer um modelo estruturado que orienta decisões estratégicas para a otimização da força de trabalho no SUS, promovendo maior eficiência e equidade na alocação de profissionais.

3. Descrição do Problema

Dado um conjunto de centros de atendimento $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$, em que m representa o número total de centros disponíveis, cada centro $c \in C$ representa uma unidade onde os serviços são prestados aos usuários. Além disso, dado um conjunto de profissionais $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$, em que n representa o número total de profissionais disponíveis para alocação. Cada profissional $p \in P$ possui uma capacidade de atendimento individual s_p , que representa a quantidade de atendimentos realizados mensalmente. Os profissionais considerados pertencem às categorias vinculadas à Equipe de Atenção Básica (eAB), a saber: médico, enfermeiro e dentista.

Os tipos de atendimentos disponíveis são representados pelo conjunto $K = \{k_1, k_2, \dots, k_q\}$, em que q é o número total de tipos de atendimentos oferecidos pelos centros. Cada tipo de atendimento $k \in K$ representa uma categoria específica de serviço prestado aos usuários, ou seja, as especialidades médicas, atendimento odontológico, entre outros.

O conjunto de profissionais P , está particionado em q subconjuntos, isto é, por categoria do profissional, em que o conjunto $P_k \subset P$ é o conjunto dos profissionais do tipo k . Assume-se que a relação entre os profissionais e os tipos de atendimentos é tal que $P = \bigcup_k P_k$, ou seja, a união de todos os subconjuntos P_k forma o conjunto completo de profissionais P . Além disso, os subconjuntos P_k são disjuntos, isto é, $P_k \cap P_j = \emptyset$ para $k \neq j$, o que significa que um profissional não pode estar associado a mais de uma categoria simultaneamente.

Cada centro de atendimento $c \in C$ possui uma demanda estimada $dr_{c,k}$ para cada categoria profissional $k \in K$. Essa demanda é obtida em duas etapas complementares. Primeiramente, parte-se de uma estimativa proporcional baseada em fatores populacionais e habitacionais dos setores censitários alocados à unidade, refletindo a procura potencial

por serviços de saúde no território. Em seguida, essa estimativa é ajustada por meio da multiplicação por constantes derivadas de dados de produção e procedimentos registrados no Sistema de Informação em Saúde para a Atenção Básica (SISAB), específicas para cada categoria [Ministério da Saúde (Brasil) 2025]. Dessa forma, $dr_{c,k}$ representa o volume esperado de atendimentos mensais para a categoria profissional k na unidade c , combinando a distribuição espacial da população com parâmetros de utilização real dos serviços.

O estudo propõe um novo modelo para a alocação de profissionais em centros de atendimento, denominado MAX-MCA. O objetivo desse modelo é maximizar a MCA entre todos os pares de centro e categoria profissional, que é uma aplicação do conceito de folga organizacional no contexto da gestão de recursos em saúde. A folga organizacional refere-se aos recursos excedentes que uma organização possui além do mínimo necessário para manter suas operações básicas [Bourgeois III 1981].

No contexto de saúde, a folga organizacional pode ser entendida como a capacidade ociosa ou os recursos excedentes presentes na rede de serviços de saúde, que proporcionam flexibilidade para lidar com incertezas, variações na demanda e situações imprevistas. Portanto, a MCA representa a diferença entre a capacidade de atendimento oferecida pelos profissionais alocados em um centro e a demanda esperada nesse mesmo centro. Ao maximizar a menor MCA, busca-se garantir que todos os centros tenham uma folga suficiente para lidar com variações na demanda e evitar sobrecargas. Nota-se que, no contexto de ambientes com mais de um tipo de atendimento, existe mais de um MCA associado ao centro, ou seja, se uma unidade de atendimento oferece 4 tipos de atendimentos, então há 4 valores de MCA que podem ser calculados.

4. Metodologia

Esta seção apresenta os procedimentos adotados para a construção do modelo matemático, descrevendo os principais parâmetros considerados e as etapas seguidas durante o desenvolvimento.

4.1. Modelo proposto

Foi proposto um modelo de programação linear inteira (ILP), denominado MAX-MCA, com o objetivo de maximizar o MCA. O modelo foca na alocação de profissionais por categoria, cada profissão possui um código de acordo com a Classificação Brasileira de Ocupações (CBO), sistema oficial utilizado para identificar e categorizar as ocupações no país. Apenas profissionais cujos CBOs não estão vinculados à eSF foram selecionados, pois a organização e a metodologia dessas equipes são distintas das adotadas pelas eAB. Assim, a redistribuição de recursos ocorre exclusivamente entre as UBS e profissionais fora da eSF. A aplicação do modelo foi realizada considerando todos os centros de atenção primária de um município por vez, mas apenas uma categoria profissional k em cada execução. Dessa forma, cada rodada do modelo trata de uma especialidade específica (médicos, enfermeiros, dentistas, técnicos etc.), assegurando que a alocação respeite as particularidades de cada profissão. Os parâmetros e variáveis utilizados no modelo estão resumidos na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros e variáveis do modelo MAX-MCA

Símbolo	Descrição
C	Conjunto de centros de saúde (UBS)
P	Conjunto de profissionais
P_k	Subconjunto de profissionais da categoria k
$dr_{j,k}$	Demanda mensal estimada do centro j para categoria k
s_i	Oferta mensal de atendimentos do profissional i
$x_{i,j}$	Variável binária: 1 se o profissional i é alocado ao centro j , 0 caso contrário
MCA_k	Margem mínima de capacidade de atendimento da categoria k

O modelo proposto é formalizado da seguinte forma:

$$\max \quad MCA_k \quad (1)$$

$$\text{s. a} \quad \sum_{j \in C} x_{i,j} = 1 \quad \forall i \in P_k \quad (2)$$

$$\sum_{i \in P_k} x_{i,j} \geq 1 \quad \forall j \in C \quad (3)$$

$$MCA_k \leq \sum_{i \in P_k} (s_i x_{i,j}) - dr_{i,j} \quad \forall j \in C \quad (4)$$

$$x_{i,j} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in P, j \in C \quad (5)$$

O modelo MAX-MCA, maximiza o MCA_k para cada categoria profissional k , considerando um conjunto de centros C e um conjunto de profissionais P , divididos em subconjuntos P_k de acordo com a categoria que atua. Cada centro de saúde possui uma demanda estimada para cada categoria $dr_{i,j}$. Além disso, cada profissional i possui um quantitativo de atendimento s_i que pode oferecer.

A variável de decisão binária $x_{i,j}$ indica se o profissional i está alocado no centro j . A variável MCA_k representa a menor margem mínima de capacidade de atendimento para a categoria k entre todos os centros de saúde, ou seja, a diferença entre oferta dos serviços disponíveis e a demanda recebida $dr_{i,j}$ em cada centro i e categoria j .

A Função Objetivo (1) busca maximizar a margem mínima de capacidade de atendimento MCA_k , visando garantir a maior capacidade possível para absorver demandas espontâneas em todos os centros de saúde. As Restrições (2) asseguram que cada profissional $i \in P_k$ seja alocado a apenas um centro $j \in C$, evitando múltiplas alocações. As Restrições (3) garantem que cada unidade de saúde receba pelo menos um profissional da categoria analisada, evitando soluções que concentrem profissionais em poucas localidades e deixem outras completamente desassistidas. As Restrições (4) garantem que o MCA_k represente a menor folga entre capacidade e demanda da categoria k , considerando todos os centros de saúde. Essas restrições garantem que, para cada centro, o MCA_k seja, no máximo, igual à diferença entre a oferta total de atendimento disponibilizada pelos profissionais alocados e a demanda projetada. Como consequência, cada centro terá um MCA_k específico, refletindo sua capacidade de atendimento em relação à necessidade estimada para a categoria profissional. Essa abordagem assegura que a

solução otimizada aumente ao máximo a menor margem de atendimento disponível no sistema, garantindo que mesmo a unidade mais sobrecarregada tenha a maior capacidade possível de absorver demandas espontâneas. Finalmente, as Restrições (5) definem a natureza binária das variáveis de decisão $x_{i,j}$, indicando que um profissional pode ser alocado integralmente a um centro de saúde.

O modelo MAX-MCA busca, portanto, uma distribuição eficiente dos profissionais de uma categoria específica k , levando em conta a capacidade de cada centro e a habilidade de cada profissional. Ao maximizar a menor margem de capacidade de atendimento, assegura-se que mesmo a unidade mais crítica da rede apresente a maior folga possível, contribuindo para o equilíbrio, a equidade e a qualidade da atenção primária à saúde.

4.2. Obtenção e tratamento dos dados

Os dados para este estudo foram obtidos a partir da base do Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde (CNES), filtrados pelo CNPJ do município e focando nas unidades de APS [Ministério da Saúde (Brasil) 2024]. A seleção dos profissionais considerados na análise baseou-se na Classificação Brasileira de Ocupações (CBO), incluindo os códigos 225125 (Médico), 223505 (Enfermeiro), 223208 (Cirurgião-dentista - geral) [Ministério do Trabalho e Previdência Social (MTPS) 2010]. Este último código foi utilizado para identificar as unidades de saúde da família, que não foram consideradas nesta etapa da pesquisa. A escolha desses profissionais se justifica pela relevância de suas funções no contexto da APS conforme estabelecido na PNAB [Ministério da Saúde (Brasil) 2017]. É importante destacar que todos os dados utilizados nesta pesquisa são abertos e de livre acesso público, disponibilizados por órgãos oficiais. Dados incompletos ou inconsistentes, como a ausência de registros, podem limitar a precisão das estimativas. Contudo, esse impacto tende a ser reduzido no uso real, uma vez que o método se destina a gestores que dispõem de bases oficiais completas, assegurando maior consistência na aplicação do modelo.

Os dados foram filtrados a partir do CNPJ do município testado, garantindo a seleção apenas das unidades de saúde pertinentes à análise. Foram extraídas informações de quatro tabelas principais: i) `tbEstabelecimento`, que contém dados sobre as unidades de saúde, incluindo localização geográfica, tipo de estabelecimento e vinculação institucional; ii) `rlEstabEquipeProf`, que estabelece a relação entre os profissionais e as unidades de saúde, permitindo identificar a distribuição dos recursos humanos; iii) `tbDadosProfissionaisSus`, que fornece informações detalhadas sobre os profissionais, incluindo a especialização conforme o Código Brasileiro de Ocupações (CBO); e iv) `tbCargaHorariaSus`, que apresenta a carga horária dos profissionais, permitindo a determinação da capacidade de atendimento de cada profissional.

4.3. Estimativa da demanda (parâmetros $dr_{i,j}$)

Para a obtenção dos dados, foi necessário selecionar municípios que apresentassem baixa cobertura da Estratégia Saúde da Família (ESF). Além disso, optou-se por cidades com população superior a 500 mil habitantes, garantindo que a análise contemplasse localidades de grande porte. Dentre os municípios que atendem a esses critérios, foram escolhidos Ribeirão Preto, Guarulhos e São Paulo, cidades localizadas na região Sudeste — a região com a menor cobertura de ESF no país [Ministério da Saúde 2025].

Ribeirão Preto, localizado no estado de São Paulo, apresentava uma população de 698.642 habitantes no Censo Demográfico de 2022 [Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) 2022]. Em 2020, a cobertura da ESF no município era de 23,55%, enquanto a cobertura da Atenção Básica (AB) atingia 63,90%. O município conta com um total de 48 unidades básicas de saúde (UBS e USF), das quais 22 foram consideradas para o processo de alocação, excluindo as unidades de Saúde da Família [Ministério da Saúde 2025]. Guarulhos, também situado no estado de São Paulo, registrava uma população de 1.291.771 habitantes, conforme o Censo de 2022 [Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) 2022]. No mesmo período, a cobertura da ESF no município era de 31,27%, enquanto a cobertura da AB era de 40,23%. O município conta com 69 unidades básicas de saúde (UBS e USF), das quais 21 UBS foram incluídas na análise para alocação dos profissionais de saúde [Ministério da Saúde 2025].

Por fim, o município de São Paulo, a maior cidade do país, contava com uma população de 11.451.999 habitantes segundo o Censo de 2022 [Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) 2022]. A rede municipal de Atenção Básica é composta por 494 unidades de saúde, sendo 119 Unidades Básicas de Saúde (UBS), das quais 100 possuíam profissionais da categoria Cirurgião-Dentista e foram consideradas nos experimentos. Essa estrutura ampliada e heterogênea do território paulistano permitiu avaliar o desempenho do modelo MAX-MCA em um cenário de grande escala e elevada complexidade organizacional.

4.3.1. Estimativa da demanda por unidade

A estimativa da demanda por serviços de saúde baseou-se em dados sociodemográficos do Censo 2022 do IBGE, incluindo informações sobre localização geográfica, população e tipos de domicílios. Para alocar a população às unidades de saúde, utilizou-se o Diagrama de Voronoi, que permite particionar o território municipal com base na proximidade geográfica, atribuindo cada setor censitário à unidade de saúde mais próxima [Aurenhammer 1991].

Inicialmente, foram extraídas as coordenadas geográficas das unidades básicas de saúde. Em seguida, foi construído o Diagrama de Voronoi com base nessas coordenadas. Para representar a população, foram utilizadas as localidades, pontos com coordenadas geográficas associadas aos setores censitários. Cada localidade foi então atribuída à unidade de saúde mais próxima, e os dados demográficos dos respectivos setores foram agregados à unidade correspondente. As Figura 1 ilustra o Diagrama de Voronoi considerando as localidades associadas aos setores censitários em Ribeirão Preto.

A demanda estimada para a unidade c , dr_c , é calculada a partir de variáveis sociodemográficas e habitacionais de cada setor censitário. A fórmula é dada por:

$$dr_c = (w_1 \cdot N_c) + (w_2 \cdot D_c^o) + (w_3 \cdot D_c^i) + (w_4 \cdot D_c),$$

em que N_c , D_c^o , D_c^i e D_c representam, respectivamente, as proporções da população total, dos domicílios ocupados, improvisados e coletivos atribuídos à unidade de saúde, assegurando que a estimativa de dr_c seja normalizada e comparável entre unidades. Os pesos

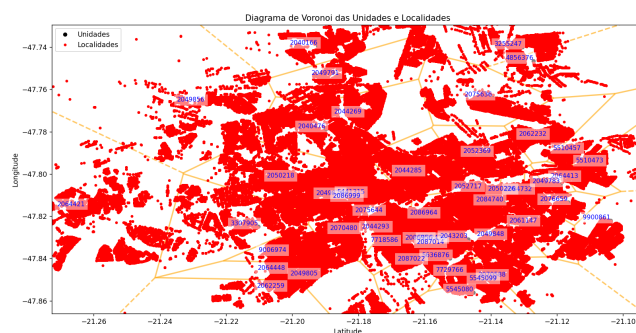


Figura 1. Diagrama de Voronoi das unidades básicas de saúde em Ribeirão Preto, considerando as localidades associadas aos setores censitários.

w_1 , w_2 , w_3 e w_4 foram definidos como 0,6, 0,2, 0,1 e 0,1, priorizando a população total, mas considerando também condições habitacionais que indicam maior vulnerabilidade.

4.3.2. Estimativa da demanda por especialidade

A subseção 4.3.1 apresentou a estimativa da procura populacional por unidade de saúde, considerando todos os tipos de unidade (UBS e USF). No entanto, como o modelo proposto neste estudo focaliza apenas as Unidades Básicas de Saúde (UBS), foi necessário realizar uma nova normalização dos valores de demanda. Esse ajuste assegura que a soma das demandas atribuídas exclusivamente às UBS seja igual a 1, mantendo a comparabilidade proporcional entre as unidades.

Para a quantificação da demanda por especialidade, foram utilizados dados de produção disponíveis no SISAB. Inicialmente, foram selecionados relatórios de *categoria profissional por produção* e *categoria profissional por procedimento*, filtrados pela competência mais recente e pelos municípios de interesse. Na etapa de extração, foram aplicados filtros específicos para garantir a consistência dos dados analisados: i) **Tipo de Produção:** Atendimento individual, atendimento odontológico, procedimento e visita domiciliar; ii) **Tipo de Equipe:** Equipe da Atenção Básica (eAB), Equipe de Saúde Bucal (SB) e Equipe de Atenção Primária (eAP); iii) **Categoria Profissional:** cirurgião-dentista, enfermeiro e médico iv) **Local de Atendimento:** 01 — UBS.

Cabe destacar que, embora o filtro de *procedimento* tenha sido selecionado no relatório de produção, não houve retorno de registros nessa modalidade. Dessa forma, tornou-se necessário complementar a análise com um relatório específico de *categoria profissional por procedimento*, no qual foram contabilizadas as atividades realizadas no município e agrupadas segundo a categoria profissional responsável (médico, enfermeiro e dentista).

O relatório de produção retornou o número de atendimentos individuais realizados por médicos, enfermeiros e cirurgiões-dentistas. Para a composição da constante representativa da produção assistencial de cada especialidade no município, foram considerados tanto os atendimentos quanto os procedimentos, com diferenças metodológicas de acordo com a categoria profissional: i) **Médicos:** todos os registros são tratados como atendimentos, uma vez que os procedimentos realizados por médicos estão incluídos na

atividade de atendimento individual, não sendo contabilizados separadamente. ii) **Enfermeiros:** tanto atendimentos quanto procedimentos foram considerados, visto que procedimentos específicos são privativos da categoria conforme definido pelo CBO e refletem atividades de relevância assistencial. iii) **Cirurgião dentista e auxiliar de saúde bucal:** foram considerados apenas os atendimentos odontológicos registrados no sistema.

Dessa forma, o total de atendimentos individuais (oriundos da produção) e de procedimentos (oriundos do relatório específico) foi somado para cada categoria, resultando em uma constante K_e representativa da produção assistencial de cada categoria profissional no município.

Essa constante, denotada por K_e para a categoria profissional e , foi aplicada como fator multiplicador sobre a demanda normalizada das UBS (dr_c), obtendo-se a demanda efetiva por categoria em cada unidade ($dr_{c,e}$), expressa em volume estimado de atendimentos mensais:

$$dr_{c,e} = dr_c \cdot K_e$$

Esse procedimento garante que a demanda considerada no modelo não apenas reflita a distribuição espacial da população, mas também incorpore parâmetros de utilização real dos serviços registrados em sistemas oficiais.

4.4. Estimativa da oferta (parâmetros s_p)

O parâmetro s_p representa a oferta mensal de atendimentos de cada profissional de saúde em uma unidade, considerando sua carga horária semanal e a produtividade típica por categoria profissional. Para a estimativa da oferta, foram considerados apenas profissionais atuantes em Unidades Básicas de Saúde (UBS), excluindo equipes de Saúde da Família (ESF).

O cálculo do parâmetro seguiu a seguinte lógica:

- Para cada profissional p , registrou-se a carga horária semanal dedicada à unidade de saúde.
- A quantidade de atendimentos realizados por hora (a_e) foi obtida a partir de recomendações dos respectivos conselhos federais: Médicos 3–4 atendimentos/hora [Conselho Federal de Medicina (Brasil) 2018], Enfermeiros 2–3 atendimentos/hora [Conselho Federal de Enfermagem (Brasil) 2015], Dentistas 1–2 atendimentos/hora [Brasil. Ministério da Saúde. 2018].
- Multiplicou-se a carga horária semanal do profissional pela constante de atendimentos por hora, obtendo a oferta semanal de atendimentos do profissional.
- Para converter em oferta mensal, multiplicou-se o resultado por 4, considerando aproximadamente quatro semanas por mês.
- O valor obtido para cada profissional constitui o parâmetro s_p , representando a quantidade estimada de atendimentos mensais que ele pode realizar.

Formalmente, a oferta mensal de cada profissional p da especialidade e é calculada como:

$$s_p = (\text{carga horária semanal de } p) \times a_e \times 4$$

5. Resultados experimentais

Os experimentos com o modelo proposto foram conduzidos nos municípios de Ribeirão Preto e Guarulhos. A implementação foi realizada em linguagem Python, utilizando a

biblioteca PuLP para formulação do modelo de programação inteira. A resolução foi efetuada com o solver CPLEX, versão 22.11. As simulações foram executadas em um ambiente computacional com as seguintes especificações: sistema operacional Windows 11 Pro, processador Intel® Core™ i5-11300H @ 3.10GHz e 24 GB de memória RAM.

Nas Tabelas 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10 a coluna Oferta representa a oferta total de atendimentos de uma categoria profissional atribuída a cada unidade. A coluna Demanda expressa a demanda total que se espera da categoria para a unidade. Por fim, a coluna MCA representa a diferença entre oferta e demanda: valores positivos indicam folga operacional e negativos, sobrecarga.

Unidade	Antes da Alocação			Demanda	Depois da Alocação		
	Profissionais	Oferta	MCA		Profissionais	Oferta	MCA
2040166	4	744	416	328	4	1320	992
2040476	9	2760	2315	445	6	1368	923
2044285	6	1560	1182	378	4	1320	942
2049791	4	1080	864	216	5	1200	984
2049805	4	1224	1061	163	5	1104	941
2049821	3	528	296	232	5	1200	968
2049848	4	960	802	158	4	1080	922
2049856	2	480	145	335	4	1260	925
2050218	4	960	430	530	6	1464	934
2050226	4	960	876	84	5	1008	924
2052369	4	960	859	101	3	1080	979
2062232	3	840	727	113	4	1080	967
2062259	4	1128	1028	100	4	1056	956
2064448	6	1488	1350	138	4	1080	942
2070480	8	2088	1851	237	5	1200	963
2070588	5	1320	1237	83	4	1008	925
2075636	7	1404	1175	229	5	1200	971
2084740	5	1200	1025	175	4	1104	929
2086964	2	480	280	200	5	1128	928
3307905	4	1200	795	405	5	1344	939
7718586	3	960	824	136	4	1080	944
9900861	4	1440	1291	149	4	1080	931

Tabela 2. Desempenho do modelo MAX-MCA para a categoria Enfermeiro no município de Ribeirão Preto

5.1. Experimento 1: Ribeirão Preto

O município de Ribeirão Preto conta com um total de 634 profissionais distribuídos entre diferentes especialidades. A resolução do modelo de otimização resultou em status de solução ótimo para a maioria das categorias, com tempos de execução variando de menos de um segundo até aproximadamente 289 segundos. Em alguns casos, o solucionador atingiu o tempo limite definido em 1 hora, mas ainda assim retornou soluções viáveis com baixo *gap* ótimo.

As Tabelas 2, 3 e 4 apresenta respectivamente os resultados do redimensionamento para as categorias: Enfermeiro, Médico e Cirurgião Dentista de Ribeirão Preto. Observa-se que, em várias categorias, algumas unidades apresentavam colapso na oferta antes da alocação, com valores negativos de MCA. Após a redistribuição, todas as especialidades alcançaram folga positiva, evidenciando ganhos de equilíbrio na utilização da força de trabalho.

No caso dos cirurgiões-dentistas, que partiram de um déficit de 282 atendimentos para um MCA positivo de 108, com tempo de resolução de 1,68 segundos. Os enfermei-

Unidade	Antes da Alocação			Demanda	Depois da Alocação		
	Profissionais	Oferta	MCA		Profissionais	Oferta	MCA
2040166	5	1760	708	1052	7	1856	804
2040476	9	2048	622	1426	7	2240	814
2044285	4	1920	708	1212	6	2016	804
2049791	5	2240	1546	694	3	1504	810
2049805	3	992	469	523	5	1344	821
2049821	3	1344	599	745	5	1600	855
2049848	6	1792	1284	508	5	1312	804
2049856	2	640	-435	1075	6	1888	813
2050218	6	1536	-163	1699	9	2496	797
2050226	4	1280	1012	268	5	1088	820
2052369	4	1504	1179	325	2	1120	795
2062232	3	960	596	364	4	1184	820
2062259	3	736	416	320	3	1120	800
2064448	9	1920	1479	441	3	1280	839
2070480	9	3392	2631	761	4	1568	807
2070588	3	960	694	266	2	1120	854
2075636	4	1280	545	735	6	1536	801
2084740	6	2048	1489	559	6	1376	817
2086964	2	704	62	642	3	1440	798
3307905	3	960	-339	1299	6	2112	813
7718586	4	1280	844	436	3	1280	844
9900861	6	2464	1987	477	3	1280	803

Tabela 3. Desempenho do modelo MAX-MCA para a categoria Médico no município de Ribeirão Preto

ros também apresentaram melhoria expressiva: a folga inicial de 145 atendimentos foi ampliada para 922 após a alocação, com tempo de execução de 289,16 segundos. Já para a categoria médica, que partia de um déficit de 435 atendimentos, o modelo conseguiu reverter para um MCA positivo de 795, mesmo sob limite de tempo, com *gap* de 1,38%.

Unidade	Antes da Alocação			Demanda	Depois da Alocação		
	Profissionais	Oferta	MCA		Profissionais	Oferta	MCA
2040166	3	640	178	462	5	640	178
2040476	4	640	14	626	5	736	110
2044285	6	816	284	532	4	640	108
2049791	2	320	15	305	2	480	175
2049805	2	320	90	230	2	352	122
2049821	2	352	25	327	2	480	153
2049848	3	480	257	223	2	352	129
2049856	2	320	-152	472	3	608	136
2050218	2	480	-266	746	5	864	118
2050226	4	672	554	118	2	320	202
2052369	2	320	177	143	2	256	113
2062232	2	320	160	160	2	320	160
2062259	1	320	180	140	2	320	180
2064448	6	800	606	194	2	320	126
2070480	1	160	-174	334	3	480	146
2070588	2	320	203	117	2	240	123
2075636	3	480	157	323	2	480	157
2084740	3	480	234	246	3	368	122
2086964	0	0	-282	282	2	480	198
3307905	2	320	-251	571	5	704	133
7718586	1	320	129	191	2	320	129
9900861	8	1200	991	209	2	320	111

Tabela 4. Desempenho do modelo MAX-MCA para a categoria Cirurgião Dentista no município de Ribeirão Preto

Unidade	Antes da Alocação			Demanda	Depois da Alocação		
	Profissionais	Oferta	MCA		Profissionais	Oferta	MCA
2036010	4	1680	1496	184	4	1536	1352
2040085	9	2952	2685	267	4	1680	1413
2049570	5	2040	1911	129	3	1440	1311
2049961	3	1200	904	296	5	1656	1360
2052318	3	1200	854	346	4	1656	1310
2061090	3	1320	1157	163	5	1464	1301
2062062	3	1200	1001	199	4	1536	1337
2062089	4	1344	1156	188	4	1560	1372
2062119	3	1080	889	191	4	1560	1369
2064383	5	2520	2450	70	3	1416	1346
2064391	4	1560	1371	189	3	1560	1371
2064405	3	1200	959	241	4	1560	1319
2072327	4	1656	1268	388	6	1800	1412
2074648	3	1440	1306	134	3	1440	1306
2084597	8	2664	2169	495	5	1800	1305
2084619	3	1080	988	92	4	1440	1348
2084627	4	1680	1379	301	4	1680	1379
2718804	3	960	788	172	4	1560	1388
4048296	4	1680	1501	179	4	1512	1333
4048326	3	1320	1182	138	3	1440	1302
9130756	3	1080	819	261	4	1560	1299

Tabela 5. Desempenho do modelo MAX-MCA para a categoria Enfermeiro no município de Guarulhos

5.2. Experimento 2: Guarulhos

O município de Guarulhos conta com um total de 448 profissionais distribuídos entre diferentes especialidades. A resolução do modelo de otimização resultou em status de solução ótimo para a maioria das categorias, com tempos de execução variando de menos de um segundo até cerca de 18 segundos. Em apenas uma categoria, o solucionador atingiu o tempo limite definido de 1 hora, mas ainda retornou uma solução viável com

Unidade	Antes da Alocação			Demanda	Depois da Alocação		
	Profissionais	Oferta	MCA		Profissionais	Oferta	MCA
2036010	1	480	176	304	2	864	560
2040085	8	2464	2023	441	3	992	551
2049570	4	512	299	213	2	768	555
2049961	5	1472	984	488	3	1056	568
2052318	7	544	-27	571	3	1152	581
2061090	2	672	403	269	3	832	563
2062062	4	800	471	329	3	896	567
2062089	2	640	330	310	4	864	554
2062119	1	640	326	314	3	864	550
2064383	3	1696	1580	116	4	672	556
2064391	1	320	8	312	3	864	552
2064405	1	480	83	397	2	960	563
2072327	5	2144	1505	639	5	1216	577
2074648	4	672	451	221	2	800	579
2084597	4	1184	367	817	3	1376	559
2084619	3	1120	969	151	3	704	553
2084627	1	512	15	497	3	1056	559
2718804	1	640	357	283	3	864	581
4048296	3	1216	920	296	5	864	568
4048326	2	672	444	228	3	800	572
9130756	3	576	146	430	3	992	562

Tabela 6. Desempenho do modelo MAX-MCA para a categoria Médico no município de Guarulhos

Unidade	Antes da Alocação			Demanda	Depois da Alocação		
	Profissionais	Oferta	MCA		Profissionais	Oferta	MCA
2036010	2	320	13	307	3	480	173
2040085	3	784	339	445	3	480	35
2049570	2	320	105	215	2	320	105
2049961	3	640	147	493	4	640	147
2052318	2	320	-257	577	4	640	63
2061090	2	320	48	272	2	320	48
2062062	3	480	148	332	2	480	148
2062089	2	320	6	314	2	480	166
2062119	2	320	2	318	3	480	162
2064383	4	960	843	117	1	160	43
2064391	2	320	4	316	3	384	68
2064405	3	336	-65	401	3	480	79
2072327	3	480	-166	646	4	800	154
2074648	3	480	256	224	2	320	96
2084597	2	288	-538	826	6	928	102
2084619	5	960	807	153	1	320	167
2084627	2	320	-182	502	2	616	114
2718804	2	320	34	286	2	328	42
4048296	3	480	181	299	3	336	37
4048326	4	544	314	230	2	320	90
9130756	3	480	45	435	3	480	45

Tabela 7. Desempenho do modelo MAX-MCA para a categoria Cirurgião Dentista no município de Guarulhos

baixo *gap*.

As Tabelas 5, 6 e 7 apresentam respectivamente os resultados do redimensionamento para as categorias: Enfermeiro, Médico e Cirurgião Dentista de Guarulhos. Observa-se que, antes da alocação, algumas categorias registravam déficits importantes na oferta, refletidos em valores negativos de MCA. Após a redistribuição, todas as especialidades passaram a apresentar folga positiva, evidenciando a efetividade do modelo.

Os cirurgiões-dentistas partiam de um déficit expressivo de 538 atendimentos, revertido para um MCA positivo de 35 em 0,76 segundos. Os enfermeiros apresentaram melhoria relevante: a folga inicial de 788 atendimentos foi ampliada para 1.299, com tempo de execução de 17,79 segundos. Já para os médicos, que partiam de um déficit de 27 atendimentos, o modelo conseguiu reverter para um MCA positivo de 550 atendimentos, ainda que com tempo limite atingido e *gap* de 1,09%.

5.3. Experimento 3: São Paulo

O município de São Paulo conta com um total de 1152 profissionais distribuídos entre diferentes especialidades. A resolução do modelo de otimização resultou em status de solução ótimo para a maioria das categorias. Em 2 categorias, o solucionador atingiu o tempo limite definido de 1 hora, mas ainda retornou uma solução viável com baixo *gap*.

As Tabelas 8, 9 e 10 apresentam respectivamente os resultados do redimensionamento para as categorias: Enfermeiro, Médico e Cirurgião Dentista de Guarulhos. Observa-se que, antes da alocação, algumas categorias registravam déficits importantes na oferta, refletidos em valores negativos de MCA. Após a redistribuição, todas as especialidades passaram a apresentar folga positiva, evidenciando a efetividade do modelo.

Os cirurgiões-dentistas, categoria com a maior demanda da cidade, partiam de um déficit expressivo de 10191 atendimentos, revertido para um MCA de -2063 com um *gap*

de 0,68%. Os enfermeiros apresentaram melhoria relevante: a folga inicial de um déficit de 1527 atendimentos foi melhorada para uma folga de 743 atendimentos, com tempo de execução de 60,55 segundos. Já para os médicos, que partiam de um déficit de 2702 atendimentos, o modelo conseguiu reverter para um MCA positivo de 873 atendimentos, ainda que com tempo limite atingido e *gap* de 8,59%.

5.4. Discussões

A análise conjunta dos experimentos realizados em Ribeirão Preto, Guarulhos e São Paulo evidencia a robustez do modelo MAX-MCA na redistribuição de profissionais da Atenção Básica. Nos três municípios, observou-se a reversão de cenários críticos de déficit de oferta, com valores iniciais de MCA negativos sendo transformados em margens positivas após a aplicação do modelo. Esse comportamento consistente demonstra a capacidade da abordagem em promover maior equilíbrio na alocação da força de trabalho e em reduzir desigualdades entre unidades, independentemente do porte do município.

Apesar das diferenças expressivas de escala entre os cenários — Ribeirão Preto (634 profissionais), Guarulhos (448 profissionais) e São Paulo (1152 profissionais distribuídos em até 119 unidades) — os ganhos obtidos foram sistemáticos em todas as categorias avaliadas. Em São Paulo, por exemplo, embora apenas 100 das 119 unidades possuíssem cirurgiões-dentistas, o modelo foi capaz de redistribuir adequadamente essa categoria, revertendo um déficit inicial de 10.136 atendimentos para um MCA de -1.756, com *gap* de apenas 0,76%. De forma semelhante, enfermeiros e médicos também apresentaram melhorias relevantes, com ganhos de folga mesmo em cenários mais complexos de demanda e oferta distribuídas de maneira desigual.

No que se refere ao desempenho computacional, os resultados foram igualmente satisfatórios. Em Ribeirão Preto e Guarulhos, todas as categorias foram resolvidas em poucos segundos, com destaque para dentistas e auxiliares de saúde bucal, que apresentavam os maiores déficits relativos. Em São Paulo, um município substancialmente maior e mais heterogêneo, a maioria das categorias também obteve solução ótima. Apenas duas especialidades atingiram o tempo limite de execução de uma hora, mas mesmo nesses casos o solucionador retornou soluções com *gaps* baixos, assegurando utilidade prática para fins de planejamento.

6. Conclusão

Os resultados experimentais obtidos demonstram a relevância da aplicação de métodos quantitativos e modelos de otimização na resolução de problemas complexos de alocação de recursos humanos na Atenção Primária à Saúde. A utilização do modelo MAX-MCA permitiu identificar desequilíbrios entre oferta e demanda de profissionais em diferentes unidades, oferecendo uma visão detalhada do MCA e possibilitando decisões mais informadas e eficientes. O sistema proposto funciona como uma ferramenta de apoio à decisão, permitindo aos gestores simular diferentes cenários de alocação, avaliar a necessidade de redistribuição de profissionais, planejar contratações ou ajustes na carga horária, e priorizar investimentos em infraestrutura ou reorganização dos serviços. Dessa forma, a metodologia não apenas melhora a equidade na distribuição de recursos, como também fortalece o planejamento estratégico, garantindo maior eficiência operacional na gestão da APS.

Unidade	Antes da Alocação			Demanda	Depois da Alocação			Unidade	Antes da Alocação			Demanda	Depois da Alocação		
	Prof.	Oferta	MCA		Prof.	Oferta	MCA		Prof.	Oferta	MCA		Prof.	Oferta	MCA
2026961	1	480	28	452	5	1440	988	2788179	2	1176	851	325	2	1140	815
2026996	8	4356	4085	271	2	1020	749	2788276	4	1920	1685	235	2	984	749
2027038	2	1440	1060	380	3	1440	1060	2788292	3	1440	1205	235	2	984	749
2027054	2	960	526	434	3	1320	886	2788373	4	1920	1576	344	2	1176	832
2027070	3	1464	958	506	3	1440	934	2788500	4	1440	1006	434	3	1392	958
2027380	2	480	-316	796	3	1680	884	2788543	1	480	-225	705	4	1920	1215
2027666	3	1200	332	868	4	1920	1052	2788551	6	2880	2555	325	2	1368	1043
2027682	1	480	28	452	3	1320	868	2788578	1	480	-514	994	3	1920	926
2027690	3	1440	1313	127	2	960	833	2788586	1	480	-334	814	4	1800	986
2027720	1	360	252	108	2	960	852	2788675	2	960	616	344	3	1320	976
2042541	5	2400	2111	289	3	1440	1151	2788683	3	1440	-802	2242	6	3120	878
2042932	1	480	245	235	1	1008	773	2788721	2	1440	952	488	3	1320	832
2046261	3	1620	1331	289	3	1320	1031	2788748	3	1440	1060	380	3	1440	1060
2057271	4	1920	1812	108	2	960	852	2788764	6	3360	2908	452	3	1320	868
2063670	2	720	485	235	2	984	749	2788780	4	2064	1739	325	3	1440	1115
2064820	5	2208	1828	380	3	1320	940	2788799	4	1920	1775	145	2	960	815
2068044	3	1920	1667	253	3	1440	1187	2788829	4	2040	1624	416	3	1320	904
2068079	1	360	-92	452	3	1392	940	2788845	2	720	431	289	3	1320	1031
2068109	1	360	107	253	2	1020	767	2788888	3	1440	1187	253	3	1320	1067
2075016	3	1440	1241	199	2	960	761	2788918	0	0	-542	542	2	1320	778
2091798	1	480	-8	488	3	1320	832	2788926	5	2472	2165	307	3	1440	1133
2751828	3	1440	1205	235	2	984	749	2788950	2	720	395	325	3	1272	947
2752166	1	480	-243	723	1	1680	957	2788985	1	480	118	362	2	1152	790
2752190	3	1200	893	307	2	1440	1133	2788993	1	360	-273	633	3	1440	807
2752220	2	984	550	434	3	1320	886	2789000	4	1680	1427	253	2	1056	803
2752239	1	480	372	108	2	960	852	2789035	2	720	449	271	2	1272	1001
2752255	2	900	556	344	3	1440	1096	2789043	2	984	767	217	2	960	743
2752271	2	960	743	217	2	960	743	2789051	1	360	53	307	3	1440	1133
2752328	3	1440	1042	398	3	1320	922	2789078	3	1440	1115	325	2	1104	779
2752344	1	480	-8	488	3	1440	952	2789094	2	720	413	307	3	1320	1013
2752352	2	960	653	307	3	1320	1013	2789132	1	360	-888	1248	4	2280	1032
2752360	1	480	-8	488	3	1440	952	2789140	3	1440	879	561	3	1440	879
2752379	5	2256	1912	344	3	1320	976	2789167	6	3768	3533	235	2	984	749
2752387	1	480	-731	1211	3	2040	829	2789213	3	1440	1060	380	3	1320	940
2765993	4	2352	1719	633	3	1440	807	2789248	3	1440	1151	289	3	1320	1031
2774771	2	1440	1096	344	2	1176	832	2789256	7	3360	2781	579	3	1440	861
2774801	2	1440	1151	289	3	1440	1151	2789302	6	2880	2428	452	2	1440	988
2786710	6	2880	2229	651	3	1440	789	3044750	1	480	245	235	1	1008	773
2786877	3	1080	664	416	3	1320	904	3452689	4	1920	1215	705	4	1800	1095
2786885	2	900	647	253	2	1020	767	3561186	2	960	852	108	2	960	852
2786923	3	1464	1157	307	3	1440	1133	3738663	1	480	209	271	3	1440	1169
2787032	3	1512	1295	217	2	960	743	4049926	2	960	598	362	2	1200	838
2787296	3	1680	1300	380	3	1440	1060	4049934	1	480	-189	669	3	1440	771
2787377	2	960	671	289	2	1440	1151	4049942	2	2160	1654	506	3	1440	934
2787407	3	1440	1422	18	2	840	822	4049950	3	1440	1133	307	3	1080	773
2787474	6	2880	2645	235	2	984	749	4049969	3	1440	1096	344	3	1200	856
2787504	5	2136	1720	416	3	1320	904	4049985	3	1632	1162	470	3	1320	850
2787520	3	1440	1078	362	3	1320	958	4049993	1	480	191	289	3	1440	1151
2787555	4	1920	1359	561	3	1440	879	4050010	1	480	155	325	3	1200	875
2787598	1	480	-442	922	4	1920	998	4050029	3	1080	700	380	2	1176	796
2787601	3	1440	1169	271	3	1440	1169	4050088	4	2136	1865	271	3	1200	929
2787687	1	576	431	145	2	960	815	4050142	2	960	580	380	3	1272	892
2787709	5	2400	2075	325	3	1440	1115	4590759	3	2088	2034	54	2	960	906
2787717	3	1440	1295	145	2	960	815	5357861	1	480	155	325	3	1440	1115
2787911	3	1440	807	633	3	1440	807	5662699	1	480	-1527	2007	5	2880	873
2787938	4	1920	1088	832	4	1800	968	5731143	3	1440	1205	235	2	984	749
2787962	4	1920	1576	344	3	1200	856	6408168	2	960	580	380	3	1440	1060
2788012	3	1440	1151	289	2	1032	743	6592899	4	1920	1558	362	3	1392	1030
2788071	2	960	815	145	2	960	815	9618694	4	1920	1631	289	3	1392	1103
2788128	1	480	173	307	3	1440	1133								

Tabela 8. Desempenho do modelo MAX-MCA para a categoria Enfermeiro no município de São Paulo

Unidade	Antes da Alocação			Demanda	Depois da Alocação			Unidade	Antes da Alocação			Demanda	Depois da Alocação		
	Prof.	Oferta	MCA		Prof.	Oferta	MCA		Prof.	Oferta	MCA		Prof.	Oferta	MCA
2026961	1	640	-127	767	3	1648	881	2788179	2	1824	1272	552	3	1552	1000
2026996	8	6512	6052	460	3	1632	1172	2788276	4	1968	1569	399	2	1280	881
2027038	3	1328	683	645	2	1664	1019	2788292	3	1680	1281	399	3	1296	897
2027054	2	1536	799	737	2	1664	927	2788373	3	1664	1081	583	3	1536	953
2027070	3	3104	2245	859	2	2048	1189	2788500	4	1472	735	737	2	1616	879
2027380	2	896	-455	1351	4	2320	969	2788543	1	320	-877	1197	3	2080	883
2027666	3	2144	671	1473	4	2368	895	2788551	6	3536	2984	552	2	1536	984
2027682	1	1280	513	767	2	1648	881	2788578	1	512	-1176	1688	4	2608	920
2027690	3	1984	1769	215	2	1120	905	2788586	1	576	-805	1381	5	2304	923
2027720	1	1280	1096	184	3	1168	984	2788675	2	640	57	583	3	1536	953
2042541	5	2240	1749	491	3	1456	965	2788683	3	1104	-2702	3806	4	4880	1074
2042932	1	976	577	399	2	1392	993	2788721	2	1184	355	829	2	1760	931
2046261	2	1280	789	491	3	1472	981	2788748	3	1696	1051	645	2	1568	923
2057271	3	2464	2280	184	2	1216	1032	2788764	6	2624	1857	767	2	1792	1025
2063670	2	2304	1905	399	3	1280	881	2788780	3	1776	1224	552	2	1472	920
2064820	5	3248	2603	645	3	1632	987	2788799	4	2784	2538	246	3	1152	906
2068044	2	1472	1042	430	2	1344	914	2788829	4	1728	1022	706	2	1664	958
2068079	0	0	-767	767	3	1664	897	2788845	2	640	149	491	2	1376	885
2068109	1	640	210	430	1	1312	882	2788888	3	1248	818	430	2	1344	914
2075016	3	1952	1614	338	3	1360	1022	2788918	0	0	-921	921	4	1856	935
2091798	1	2048	1219	829	1	2048	1219	2788926	6	3232	2710	522	3	1520	998
2751828	3	2240	1841	399	3	1344	945	2788950	1	512	-40	552	2	1440	888
2752166	1	1280	52	1228	4	2112	884	2788985	3	1344	730	614	3	1600	986
2752190	3	1344	822	522	3	1440	918	2788993	1	896	-178	1074	2	1968	894
2752220	2	960	223	737	3	1632	895	2789000	4	2560	2130	430	2	1344	914
2752239	1	512	328	184	3	1152	968	2789035	2	1408	948	460	3	1424	964
2752255	6	2880	2297	583	3	1472	889	2789043	2	640	272	368	3	1312	944
2752271	2	1888	1520	368	3	1280	912	2789051	1	864	342	522	3	1536	1014
2752328	4	2720	2045	675	4	1600	925	2789078	3	1600	1048	552	2	1536	984
2752344	1	704	-125	829	3	1728	899	2789094	3	1920	1398	522	2	1472	950
2752352	3	1888	1366	522	2	1408	886	2789132	1	704	-1414	2118	5	3008	890
2752360	1	704	-125	829	2	1984	1155	2789140	3	1616	665	951	3	1824	873
2752379	3	1936	1353	583	2	1472	889	2789167	7	3744	3345	399	3	1344	945
2752387	1	320	-1736	2056	5	2976	920	2789213	3	1376	731	645	2	1536	891
2765993	4	1280	206	1074	3	2016	942	2789248	2	720	229	491	4	1680	1189
2774771	1	576	-7	583	2	1472	889	2789256	6	4240	3258	982	3	1920	938
2774801	2	1504	1013	491	2	1392	901	2789302	6	3488	2721	767	2	1680	913
2786710	6	4752	3647	1105	4	1984	879	3044750	0	0	-399	399	2	1296	897
2786877	3	1504	798	706	2	1632	926	3452689	4	2288	1091	1197	5	2080	883
2786885	2	1744	1314	430	2	1312	882	3561186	0	0	-184	184	2	1120	936
2786923	3	2080	1558	522	3	1440	918	3738663	0	0	-460	460	2	1600	1140
2787032	3	2544	2176	368	2	1248	880	4049926	3	1440	826	614	3	1520	906
2787296	3	2240	1595	645	3	1712	1067	4049934	1	896	-240	1136	4	2016	880
2787377	2	976	485	491	2	1408	917	4049942	3	1696	837	859	2	2016	1157
2787407	2	1472	1441	31	2	944	913	4049950	2	960	438	522	2	1456	934
2787474	6	3696	3297	399	2	1344	945	4049969	4	3664	3081	583	3	1600	1017
2787504	4	2080	1374	706	2	1600	894	4049985	3	2240	1442	798	4	1680	882
2787520	4	1648	1034	614	2	1520	906	4049993	1	320	-171	491	2	1408	917
2787555	4	2288	1337	951	3	2032	1081	4050010	1	560	8	552	3	1728	1176
2787598	2	1408	-157	1565	2	2496	931	4050029	4	1952	1307	645	2	1568	923
2787601	3	1472	1012	460	2	1344	884	4050088	5	4016	3556	460	3	1360	900
2787687	1	480	234	246	2	1168	922	4050142	2	1440	795	645	3	1520	875
2787709	5	3328	2776	552	2	1488	936	4590759	1	864	772	92	3	1056	964
2787717	3	2112	1866	246	2	1152	906	5357861	1	720	168	552	3	1744	1192
2787911	3	1600	526	1074	4	2048	974	5662699	1	960	-2447	3407	6	4560	1153
2787938	4	2752	1340	1412	5	2304	892	5731143	3	1312	913	399	3	1280	881
2787962	4	2272	1689	583	2	1488	905	6408168	1	768	123	645	3	1536	891
2788012	3	1024	533	491	2	1376	885	6592899	4	1728	1114	614	2	1600	986
2788071	2	960	714	246	2	1120	874	9618694	4	2112	1621	491	2	1376	885
2788128	1	704	182	522	2	1408	886								

Tabela 9. Desempenho do modelo MAX-MCA para a categoria Médico no município de São Paulo

Unidade	Antes da Alocação			Demanda	Depois da Alocação			Unidade	Antes da Alocação			Demanda	Depois da Alocação		
	Prof.	Oferta	MCA		Prof.	Oferta	MCA		Prof.	Oferta	MCA		Prof.	Oferta	MCA
2026996	1	160	-1112	1272	1	160	-1112	2027038	2	480	-1300	1780	1	160	-1620
2027054	1	160	-1874	2034	1	160	-1874	2027070	2	320	-2053	2373	2	320	-2053
2027666	1	160	-3909	4069	8	2016	-2053	2027682	1	256	-1863	2119	1	160	-1959
2027690	3	800	207	593	1	160	-433	2027720	1	160	-349	509	1	160	-349
2042541	4	640	-716	1356	1	160	-1196	2057271	3	720	211	509	1	160	-349
2063670	2	320	-782	1102	1	160	-942	2064820	2	320	-1460	1780	1	160	-1620
2068044	1	320	-867	1187	1	160	-1027	2068079	1	160	-1959	2119	1	160	-1959
2068109	1	160	-1027	1187	1	160	-1027	2075016	6	2240	1308	932	1	160	-772
2091798	6	960	-1329	2289	1	240	-2049	2751828	4	960	-142	1102	1	160	-942
2752166	1	688	-2703	3391	4	1360	-2031	2752190	1	160	-1281	1441	1	160	-1281
2752220	2	800	-1234	2034	1	160	-1874	2752239	1	160	-349	509	1	160	-349
2752271	2	320	-697	1017	1	160	-857	2752328	2	320	-1545	1865	1	160	-1705
2752344	1	160	-2129	2289	1	240	-2049	2752352	1	160	-1281	1441	1	160	-1281
2752379	1	304	-1307	1611	1	160	-1451	2752387	1	160	-5519	5679	9	3632	-2047
2765993	2	480	-2487	2967	4	960	-2007	2774771	3	800	-811	1611	1	160	-1451
2774801	2	480	-876	1356	1	160	-1196	2786710	5	1040	-2012	3052	3	1016	-2036
2786885	1	160	-1027	1187	1	160	-1027	2786923	1	160	-1281	1441	1	160	-1281
2787296	2	512	-1268	1780	1	160	-1620	2787377	5	1472	116	1356	1	160	-1196
2787407	2	512	427	85	1	160	75	2787474	2	640	-462	1102	1	160	-942
2787504	2	672	-1278	1950	1	160	-1790	2787520	3	1040	-655	1695	1	160	-1535
2787555	2	480	-2148	2628	3	576	-2052	2787598	2	640	-3853	4493	8	2432	-2061
2787601	1	320	-952	1272	1	160	-1112	2787687	2	488	-190	678	1	160	-518
2787709	4	1472	-54	1526	1	160	-1366	2787717	3	480	-198	678	1	160	-518
2787911	1	160	-2807	2967	3	944	-2023	2787938	2	480	-3250	3730	6	1672	-2058
2787962	4	1120	-491	1611	1	160	-1451	2788012	2	480	-876	1356	1	160	-1196
2788071	2	488	-190	678	1	160	-518	2788179	2	640	-886	1526	1	160	-1366
2788276	2	640	-462	1102	1	160	-942	2788292	2	736	-366	1102	1	160	-942
2788373	2	320	-1291	1611	1	160	-1451	2788543	1	320	-2986	3306	5	1264	-2042
2788551	2	640	-886	1526	1	160	-1366	2788578	1	160	-4417	4577	8	2528	-2049
2788586	1	160	-3655	3815	7	1760	-2055	2788675	2	320	-1291	1611	1	160	-1451
2788683	2	320	-10191	10511	28	8448	-2063	2788721	1	256	-2033	2289	1	240	-2049
2788748	2	320	-1460	1780	1	160	-1620	2788764	1	160	-1959	2119	1	160	-1959
2788780	3	640	-886	1526	1	160	-1366	2788799	2	480	-198	678	1	160	-518
2788829	1	320	-1630	1950	1	160	-1790	2788845	2	480	-876	1356	1	160	-1196
2788888	2	320	-867	1187	1	160	-1027	2788918	1	480	-2063	2543	2	480	-2063
2788926	1	160	-1281	1441	1	160	-1281	2788950	2	1112	-414	1526	1	160	-1366
2788985	1	160	-1535	1695	1	160	-1535	2788993	1	160	-2807	2967	4	904	-2063
2789000	4	1216	29	1187	1	160	-1027	2789043	2	320	-697	1017	1	160	-857
2789051	1	160	-1281	1441	1	160	-1281	2789078	2	640	-886	1526	1	160	-1366
2789140	4	1136	-1492	2628	2	576	-2052	2789167	2	480	-622	1102	1	160	-942
2789213	4	864	-916	1780	1	160	-1620	2789248	1	160	-1112	1272	1	160	-1112
2789256	3	640	-2073	2713	2	656	-2057	2789302	5	960	-1159	2119	1	160	-1959
3044750	1	320	-782	1102	1	160	-942	3452689	2	480	-2826	3306	6	1280	-2026
3561186	1	320	-189	509	1	160	-349	3738663	3	1056	-216	1272	1	160	-1112
4049926	2	320	-1375	1695	1	160	-1535	4049942	3	1120	-1253	2373	1	320	-2053
4049950	3	960	-481	1441	1	160	-1281	4049969	2	480	-1131	1611	1	160	-1451
4049985	3	800	-1404	2204	1	160	-2044	4050010	2	320	-1206	1526	1	160	-1366
4050088	2	480	-792	1272	1	160	-1112	4050142	2	640	-1140	1780	1	160	-1620
5662699	1	160	-8401	8561	16	6512	-2049	5731143	2	496	-606	1102	1	160	-942
6592899	2	640	-1055	1695	1	160	-1535	9618694	4	960	-396	1356	1	160	-1196

Tabela 10. Desempenho do modelo MAX-MCA para a categoria Cirurgião Dentista no município de São Paulo

Além disso, o modelo fornece subsídios para formulação de políticas públicas, oferecendo indicadores objetivos para apoio à tomada de decisão em nível municipal e estadual. Ao integrar dados abertos, análises quantitativas e otimização matemática, o trabalho contribui para o avanço das práticas de gestão baseadas em evidências no SUS, promovendo a alocação racional de profissionais de saúde e a melhoria da capacidade de atendimento das unidades.

Como trabalhos futuros, o modelo poderá ser aprimorado pela incorporação de novos fatores explicativos, incluindo demandas ajustadas por qualidade e completude dos dados históricos, prioridades assistenciais, campanhas de saúde e populações fora das áreas de cobertura. Esses avanços permitirão estimativas mais robustas e maior aderência às dinâmicas reais da APS, ampliando o potencial de aplicação do sistema em diferentes contextos municipais.

Agradecimentos

Agradecemos o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico — CNPq e financiamento do Departamento de Ciência e Tecnologia da Secretaria de Ciência, Tecnologia, Inovação e Complexo da Saúde do Ministério da Saúde — Decit/SECTICS/MS no projeto de pesquisa (processo 445259/2023-0) em execução.

Referências

- Aurenhammer, F. (1991). Voronoi diagrams—a survey of a fundamental geometric data structure. *ACM computing surveys (CSUR)*, 23(3):345–405.
- Bourgeois III, L. J. (1981). On the measurement of organizational slack. *Academy of Management review*, 6(1):29–39.
- Brasil (1990). Lei nº 8.142, de 28 de dezembro de 1990. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 128, n. 249, p. 25694, 31 dez. 1990. Dispõe sobre a participação da comunidade na gestão do Sistema Único de Saúde (SUS) e sobre as transferências intergovernamentais de recursos financeiros na área da saúde.
- Brasil. Ministério da Saúde. (2018). A saúde bucal no sistema único de saúde [recurso eletrônico]. Brasília: Ministério da Saúde. 350 p., il. Acessado em: 27 set. 2025. Disponível em: http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/saude_bucal_sistema_unico_saude.pdf.
- Campos, L. d. F. and Melo, M. R. A. d. C. (2007). The dimensioning of nursing staff according to nursing coordinators: concept, aim and use. *Revista Latino-Americana de Enfermagem*, 15(6):1099–1104.
- Conselho Federal de Enfermagem (Brasil) (2015). Parecer ctas nº 14/2015. Acessado em: 27 set. 2025.
- Conselho Federal de Medicina (Brasil) (2018). Parecer cfm nº 15/2018. Acessado em: 27 set. 2025.
- Conselho Nacional de Secretários de Saúde (CONASS) (2019). Atenção primária é capaz de resolver 85% das demandas de saúde. Disponível em: <https://www.conass.org.br/atencao-primaria-e-capaz-de-resolver-85-das-demandas-de-saude/>. Acesso em: 24 mar. 2025.

- Geremia, D. S. (2020). Atenção Primária à Saúde em alerta: desafios da continuidade do modelo assistencial. *Physis: Revista de Saúde Coletiva*, v. 30, p. e300100.
- Ghannam, L. (2022). *Development of a Mathematical Model for Optimal Scheduling of Patients and Resource Management in Healthcare in Palestine during the Pandemic*. PhD thesis, An-Najah National University.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2022). Censo demográfico 2022. Acessado em: 30 mar. 2025.
- Lacasa, L., Challen, R., Brooks-Pollock, E., and Danon, L. (2020). A flexible method for optimising sharing of healthcare resources and demand in the context of the covid-19 pandemic. *Plos one*, 15(10):e0241027.
- Ministério da Saúde (Brasil) (2017). Portaria nº 2.436, de 21 de setembro de 2017: Aprova a política nacional de atenção básica, estabelecendo a revisão de diretrizes para a organização da atenção básica, no âmbito do sistema único de saúde (sus). Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prt2436_22_09_2017.html. Acesso em: 24 mar. 2025.
- Ministério da Saúde (Brasil) (2024). Cadastro nacional de estabelecimentos de saúde (CNES). <https://cnes.datasus.gov.br/pages/downloads/arquivosBaseDados.jsp>.
- Ministério da Saúde (Brasil) (2025). Sisab - sistema de informação em saúde para a atenção básica. Acessado em: 27 set. 2025.
- Ministério do Trabalho e Previdência Social (MTPS) (2010). *Classificação Brasileira de Ocupações*, volume I, II, III. Secretaria de Políticas Públicas e Emprego, Brasília, Brasil, 3 edition. Acessado em: 20 jan. 2017.
- Ministério da Saúde (2025). Histórico da Cobertura da Atenção Básica. Acesso em: 02 abr. 2025.
- Ordu, M., Demir, E., and Davari, S. (2021). A hybrid analytical model for an entire hospital resource optimisation. *Soft Computing*, 25:11673–11690.
- Poulin, E. (2003). Benchmarking the hospital logistics process. *CMA MANAGEMENT*, 77:20–23.
- Taghavi, M., Johnston, G., Urquhart, R., Henderson, D., Tschupruk, C., and Tupala, B. (2021). Workforce planning for community-based palliative care specialist teams using operations research. *Journal of pain and symptom management*, 61(5):1012–1022.
- Tsay, S.-F. and Wang, H.-H. (2007). [reflections on nursing education in taiwan and its prospects from the perspective of nursing manpower policy]. *Hu li za zhi The journal of nursing*, 54(1):5–10.
- Zarei, H. R., Ghanbarpour Mamaghani, M., Ergun, O., Yu, P., Winchester, L., and Chen, E. (2023). Matching medical staff to long term care facilities to respond to covid-19 outbreak. *BMC Health Services Research*, 23(1):583.