LVI SBPO SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL
DE 04 ATÉ 07 NOVEMBRO 2024
FORTALEZA | CEARÁ

Técnicas de otimização aplicadas à escolha eficiente de grupos familiares para modalidade de cuidado coordenado.

Willian S. de Almeida[1], Aline M. C. Martins[1], Flávio V. C. Martins[1], Elizabeth F. Wanner[1], Vinicius Mendonça Novaes[2]

[1]Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil
[2]Cemig Saúde, Belo Horizonte, Brasil
willian667.ws@gmail.com, acruzeirom@gmail.com, flaviocruzeiro@cefetmg.br, efwanner@cefetmg.br, vinicius.mnovaes@gmail.com

RESUMO

Este estudo apresenta uma proposta para lidar com problemas de seleção de grupos na alocação de beneficiários do programa de Atenção Primária à Saúde (APS) em uma operadora de plano de saúde. A abordagem proposta utiliza uma modelagem matemática baseada no clássico problema da mochila para otimizar a alocação dos beneficiários, considerando critérios clínicos, individuais e o contexto familiar. A validação dos resultados foi realizada com a assistência de um profissional da área de saúde, assegurando a adequação e relevância das soluções apresentadas. Os resultados foram comparados com métodos gulosos, comumente utilizados pelas empresas. A solução proposta demonstrou ser mais eficaz, equilibrando de forma eficiente os objetivos da operadora, e, consequentemente, melhorando a eficiência operacional e a qualidade dos serviços oferecidos aos clientes do programa de APS.

PALAVRAS CHAVE. Atenção Primária à Saúde, Programação Linear, Seleção de Participantes.

1. **SA – PO na Área de Saúde**
2. **OC – Otimização Combinatória**

ABSTRACT

This study presents a proposal to address group selection problems in the allocation of beneficiaries for the Primary Health Care (PHC) program in a health insurance company. The proposed approach utilizes mathematical modeling based on the classical knapsack problem to optimize the allocation of beneficiaries, considering clinical and individual criteria and the family context. The results were validated with the assistance of a healthcare professional, ensuring the adequacy and relevance of the proposed solutions. The results were compared with greedy methods, which companies commonly use. The proposed solution proved to be more effective by efficiently balancing the objectives of the insurance company, thereby improving operational efficiency and the quality of services offered to the clients of the APS program.

KEYWORDS. Primary Health Care, Linear Programming, Participant Selection.

1. **SA – OR in Health**
2. **OC – Combinatorial Optimization**

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193423
https://proceedings.science/p/193423?lang=en

1. Introdução

Os sistemas de saúde têm como objetivos fundamentais otimizar a saúde da população e reduzir disparidades entre grupos [Starfield, 2002]. Modelos de atenção à saúde, como as Redes de Atenção à Saúde (RASs), são estratégias organizacionais que visam alcançar esses objetivos, adaptando-se às condições demográficas, epidemiológicas e sociais [Mendes, 2010]. Esse ajuste é particularmente relevante diante do crescente foco nos cuidados de saúde crônicos [De Sousa, 2005].

Nesse contexto, este estudo analisa uma operadora de plano de saúde em transição para o modelo de pirâmide de riscos, exemplificado pelo modelo Kaiser [Mendes, 2012]. Este modelo classifica os beneficiários em três níveis, com base em critérios como duração da condição e capacidade de autocuidado [Porter e Kellogg, 2008]. Os dados para este estudo foram cedidos pela operadora de plano de saúde em questão, permitindo uma análise das necessidades e características dos beneficiários. A seleção criteriosa de candidatos para programas presenciais de Atenção Primária à Saúde (APS) é vital para moldar a qualidade e eficácia dos serviços.

Para abordar essa questão, este estudo propõe uma metodologia baseada em um modelo de programação inteira, focado na melhoria da seleção de candidatos para os programas presenciais de APS. Essa abordagem se concentra no grupo familiar como unidade de análise, permitindo uma representação abrangente das necessidades de saúde de cada indivíduo, inclusive considerando as condições dos membros dependentes. Inspirado no problema da mochila, o modelo proposto utiliza um *score* familiar calculado a partir do *score* individual dos membros da família (Seção 5).

Essa metodologia visa alocar os beneficiários na APS, levando em consideração a gravidade de suas condições de saúde, suas possibilidades de autocuidado e o número limitado de vagas disponíveis. O objetivo é priorizar a alocação de recursos para os beneficiários com maior necessidade de atenção, enquanto ainda mantém a eficiência operacional dos modelos de APS, em que o grupo familiar, e não apenas um indivíduo é cuidado. No entanto, é importante reconhecer a complexidade inerente em tratar um problema subjetivo, como a alocação de beneficiários, de forma objetiva. Mesmo com a formulação de um modelo matemático que busca otimizar a alocação levando em conta as vagas limitadas disponíveis, sempre haverá uma margem de incerteza devido à natureza multifacetada das necessidades de saúde e à diversidade de situações individuais. As contribuições deste estudo são diretamente aplicáveis às operadoras de saúde, fornecendo ferramentas para otimizar a gestão de beneficiários, melhorar a qualidade dos serviços e promover a eficiência operacional.

Para validar a eficácia da metodologia proposta, serão utilizados dois critérios principais: a recuperação de casos graves e a manutenção da seleção eficiente em relação à estratificação prévia dos beneficiários pela operadora em níveis de atenção em autocuidado, conforme definido pelo modelo de Kaiser. Esses critérios permitem avaliar a capacidade da metodologia proposta de identificar e priorizar adequadamente os beneficiários com maior necessidade de atenção, enquanto mantém a consistência com as diretrizes de estratificação estabelecidas pela operadora.

2. Fundamentação Teórica

2.1. Atenção Primária à Saúde (APS)

A Atenção Primária à Saúde (APS) é a base dos sistemas de saúde e é fundamental para a prestação de cuidados de saúde acessíveis e coordenado. A APS inclui serviços preventivos e curativos e a gestão global da saúde de um indivíduo ao longo do tempo [Starfield, 1994]. A atenção

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193423
https://proceedings.science/p/193423?lang=en

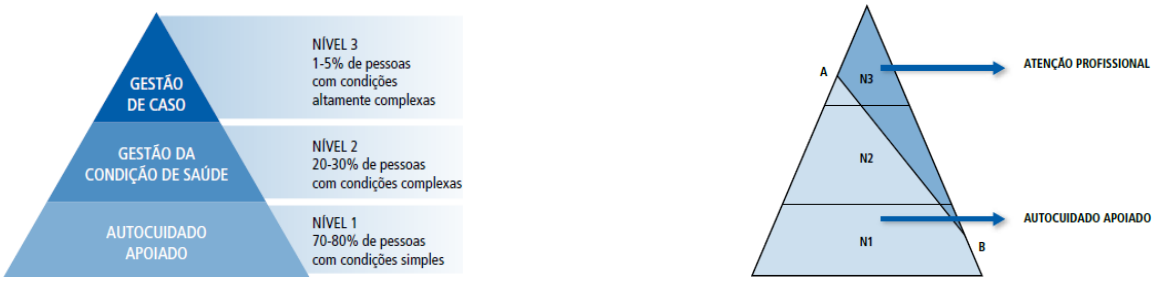
primária à saúde é a porta de entrada do sistema de saúde e desempenha um papel vital na promoção e prevenção da saúde, sendo essencial para a abordagem integral e contínua do beneficiário.

Portela (2017) discute as mudanças no sistema de saúde brasileiro, destacando que o Brasil se inspirou em modelos de sistemas de saúde de países como a Inglaterra. O autor observa que o início tardio dessas melhorias em comparação com outros países resultou em um atraso significativo para o Brasil.

O artigo identifica vários desafios enfrentados nesse processo de mudança, incluindo: i) Atendimentos que poderiam ser realizados na APS ainda sendo feitos em ambulatórios de média e alta complexidade ou em hospitais de grande porte. ii) A resistência histórica da sociedade brasileira em aceitar determinados profissionais de saúde que não possuam formação especializada, dificultando o trabalho de alcançar um maior número de pessoas com uma equipe multidisciplinar.

Portela também sugere algumas estratégias para enfrentar esses desafios, destacando iniciativas já em uso, como o Programa Saúde da Família (PSF), entre outras. Ele ressalta que a responsabilidade não é apenas dos municípios, mas também do Ministério da Saúde, que deve estar comprometido com essa causa. O artigo também busca estimular mais estudos e encorajar os profissionais a continuarem na busca pelo objetivo comum de melhorar a saúde da população brasileira. Mesmo apontando dificuldades e desafios, o autor propõe possíveis soluções para que o trabalho continue.

2.2. Modelos de Cuidados Crônicos



(a) Níveis da pirâmide.

(b) Necessidade de apoio profissional.

Figura 1: Pirâmide de Kaiser, um modelo conceitual para estratificação da população com base nos riscos. [Mendes, 2012]

Os modelos de cuidados crônicos representam abordagens organizadas e sistemáticas para lidar com condições de saúde crônicas, que são caracterizadas por persistência, longa duração e a necessidade de gestão contínua. Esses modelos buscam proporcionar uma estrutura eficaz para o gerenciamento holístico e coordenado de beneficiários com condições de saúde que exigem atenção a longo prazo.

O CCM, do inglês (*Chronic Care Model*), é composto por seis elementos, divididos em dois campos principais [Wagner, 1998]: o sistema de atenção à saúde e a comunidade. No sistema de atenção à saúde, as mudanças visam a reestruturação da organização dos serviços, o design do sistema de prestação de cuidados, o apoio à tomada de decisões, os sistemas de informação clínica e o incentivo ao autocuidado. Na esfera da comunidade, as mudanças estão focadas na integração dos serviços de saúde com os recursos comunitários. Esses elementos interagem para promover a formação de usuários informados e ativos, além de equipes de saúde preparadas e proativas, visando

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193423
https://proceedings.science/p/193423?lang=en

a alcançar resultados sanitários e funcionais aprimorados para a população.

A "Pirâmide de Kaiser", ilustrada na Figura 1, é um modelo conceitual que estratifica a população com base nos riscos, proporcionando uma abordagem personalizada e eficiente para o gerenciamento dessas condições. Este modelo destaca a importância de intervenções precoces e gestão contínua para otimizar resultados.

2.3. Problema da Mochila

O Problema da Mochila é um dos problemas mais estudados na área de otimização combinatória. Este problema consiste em determinar a melhor maneira de preencher uma mochila com itens de diferentes pesos e valores, de modo a maximizar o valor total dos itens na mochila, sem exceder a capacidade de peso da mochila Martello e Toth [1990]. Matematicamente, o problema envolve selecionar um subconjunto de n itens, cada um com peso w_i e valor v_i, de modo a maximizar o valor total, respeitando a restrição de que a soma dos pesos dos itens selecionados não exceda a capacidade estipulada.

Este problema é conhecido por sua natureza NP-difícil [Pisinger, 2005], o que significa que não existe um algoritmo eficiente conhecido que possa resolver instâncias grandes do problema em tempo polinomial. No entanto, várias abordagens heurísticas e algoritmos aproximados foram desenvolvidos para encontrar soluções razoáveis em tempo aceitável para instâncias práticas do problema. O trabalho aqui apresentado propõe uma abordagem baseada em seleção de grupos familiares para um programa de atendimento presencial de uma APS específica de uma operadora de plano de saúde. A escolha de selecionar a família parte basicamente de dois pressupostos: i) carga genética, pois patologias clínicas podem se repetir em membros da mesma família; ii) cuidado integral do grupo familiar, pois hábitos e comportamentos podem ser adquiridos e/ou modificados dentro do âmbito familiar.

3. Trabalhos Relacionados

Em [Pang et al., 2023] a otimização da atribuição de pacientes em sistemas de saúde baseados em nuvem é investigada. Utilizando algoritmos genéticos distribuídos, o estudo busca equilibrar diagnósticos *online* e tratamentos *offline*, integrando tecnologias da internet aos sistemas de saúde tradicionais. Além disso, os autores propõem a inclusão de objetivos adicionais na resolução do problema de atribuição de pacientes, destacando a necessidade de algoritmos de otimização multiobjetivo. O estudo apresenta um potencial significativo para aprimorar a prestação de cuidados de saúde e melhorar os resultados para os pacientes.

Gottliebsen e Petersson [2020] apresentam uma investigação sobre as atitudes e preocupações dos profissionais de saúde em relação à incorporação da previsão de risco de doenças cardiovasculares (CVD) na prática clínica. Suas descobertas destacaram várias preocupações, incluindo questões relacionadas à confiabilidade das ferramentas de previsão e sua integração nas rotinas clínicas.

Os sistemas de informação operados pelo paciente têm sido promovidos como uma maneira de aumentar o engajamento do paciente no gerenciamento de sua própria saúde. No entanto, as evidências dos benefícios dessas tecnologias ainda são limitadas. Esta área continua a ser objeto de investigação para determinar como esses sistemas podem ser melhor integrados na prática clínica para melhorar os resultados de saúde dos pacientes.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193423
https://proceedings.science/p/193423?lang=en

4. Metodologia

A metodologia adotada neste estudo compreende várias etapas. Inicialmente, realizou-se uma revisão da literatura nas áreas de otimização em saúde e seleção de participantes para APS. O objetivo dessa revisão foi analisar os métodos e abordagens utilizados nessas áreas, proporcionando um embasamento teórico para o desenvolvimento do trabalho.

Após a revisão da literatura e a análise dos dados dos beneficiários fornecidos pela operadora de saúde, os *scores* individuais dos beneficiários foram modelados, considerando fatores como condições crônicas do beneficiário e necessidades de tratamento. O apoio técnico da área de saúde foi fundamental nesse processo, que também incluiu reuniões periódicas com o profissional responsável pela implementação da APS para alinhar o processo de determinação dos *scores* individuais, especialmente considerando os beneficiários de maior risco para inclusão no modelo presencial.

Com os *scores* individuais dos beneficiários em mãos, um modelo matemático de programação linear para o problema de seleção de participantes para APS foi desenvolvido. Este modelo leva em consideração os *scores* individuais dos beneficiários, bem como as restrições e objetivos específicos do sistema de saúde em questão. O modelo foi projetado para otimizar a alocação de beneficiários nos programas de APS, considerando as capacidades e recursos disponíveis.

Para concluir, os beneficiários são agrupados em seus respectivos grupos familiares, conforme definido pelos dados fornecidos. Em seguida, o modelo matemático é resolvido via um *solver* de programação linear, que realiza a otimização da alocação de beneficiários nos programas de APS, considerando tanto o *score* familiar quanto o limite de participantes estabelecido no sistema.

A modelagem do problema de seleção de participantes para a APS foi realizada considerando a complexidade do problema, que envolve múltiplos critérios e restrições. A escolha da abordagem do problema da mochila, um problema clássico de otimização combinatória, é feita devido à sua conformidade e eficácia na resolução de problemas semelhantes de seleção e alocação de recursos.

O modelo computacional de otimização foi desenvolvido com a biblioteca PuLP em Python, utilizando o solver GLPK (*GNU Linear Programming Kit*). Para alcançar a solução ótima, foi empregado o método Long-step Dual Simplex. O solver encontrou a solução ótima em apenas alguns segundos, com um gap de 1%, e sem precisar utilizar o tempo limite de 5 minutos definido para a execução.

Para validar a eficácia do modelo proposto, testes comparativos com dois algoritmos gulosos distintos são conduzidos. O primeiro algoritmo segue uma abordagem clássica, baseando a escolha dos grupos familiares na razão entre o benefício e o peso. O segundo algoritmo adota uma estratégia diferente, priorizando as famílias com os beneficiários de maior *score* individual primeiro. Esses testes comparativos são essenciais para avaliar o desempenho e a eficiência do modelo proposto em comparação com abordagens gulosa tradicionais.

5. Modelagem Matemática

Antes de definir o problema em questão, é necessário definir a “nota” a ser atribuída para cada beneficiário e suas famílias . Essa “nota” será chamada de *score*, e irá definir o grau de complexidade de cada beneficiário e suas famílias, em que valores mais altos representam um maior grau de complexidade. O *score* é estipulado através de critérios objetivos e subjetivos. Diferentes possibilidades de composições dessa “nota” serão detalhadas na seção de resultados.

O *score* individual é atribuído a cada beneficiário com base em seu perfil clínico e suas

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193423
https://proceedings.science/p/193423?lang=en

condições crônicas e é definida por:

$$\gamma_j = \sum_{k=1}^{K} c_{jk} \cdot p_k, \tag{1}$$

em que c_{jk} é a "nota" dentro de uma escala normalizada do critério médico ou custos envolvidos k do beneficiário j, e p_k é o peso atribuído a esse critério. A decisão dos pesos pode ser definida pelo profissional da área da saúde.

Uma vez definido o *score* individual, é possível definir o *score* familiar. Este é uma medida agregada que destaca os maiores *scores* individuais dentro de uma família. Para isso, foi utilizado a soma dos *scores* individuais elevados a λ. A expressão para o *score* familiar é dada por:

$$\Gamma_i = \sum_{j=1}^{m_i} \gamma_j^{\lambda}, \tag{2}$$

para $\lambda > 1$, em que γ_j é o *score* individual do membro j da família i e m_i é o número de membros na família i. O expoente λ enfatiza a diferença entre os valores dos *scores* individuais, dando mais importância aos que possuem valores mais elevados.

O problema da escolha eficiente de grupos familiares para modalidade de cuidado coordenado consiste em determinar qual o melhor conjunto de famílias para serem selecionadas. Nesta tarefa, foi levado em conta o grau de complexidade da saúde de cada um dos membros e assumimos que há um número limitado de vagas para tal modalidade.

O modelo matemático para resolver esse problema foi baseado no problema clássico da mochila [Martello e Toth, 1990] em que:

- x_i representa a variável de decisão binária indicando se a família i será selecionada para a APS presencial;
- m_i representa o número de pessoas na família i;
- Γ_i fornece o *score* familiar associado à família i;
- n é a quantidade total de famílias; e
- V é o limite do número de beneficiários para o programa de APS .

O problema de otimização pode ser definido por:

$$\text{Maximizar} \quad \sum_{i=1}^{n} \Gamma_i \cdot x_i \tag{3}$$

sujeito a:

$$\sum_{i=1}^{n} m_i \cdot x_i \leq V \tag{4}$$

$$x_i \geq 0 \quad \text{para } i = 1, 2, \ldots, n. \tag{5}$$

A Equação (3) representa a função objetivo que busca maximizar a soma dos *scores* familiares. As restrições dadas pelas Equações (4) e (5) definem, respectivamente, o limite do número total de beneficiários selecionados em relação ao número de vagas disponíveis e a não negatividade das variáveis de decisão.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193423
https://proceedings.science/p/193423?lang=en

6. Resultados

A base de dados analisada é composta por 9.147 beneficiários, todos previamente classificados de acordo com o modelo de avaliação de riscos apresentado na Seção 2.2. Além desta classificação, cada beneficiários possui outras "notas" associadas a ele. A Tabela 1 mostra todos os critérios k considerados na Equação (1), conforme informações fornecidas pela implementação operadora de plano de saúde. Os valores apresentados na tabela representa o estado atual de dois beneficiários em relação ao histórico recente de transição de cuidados de saúde (atendimento secundário e terciário). Ressalta-se que a alocação dos beneficiários é restrita a 2.500 vagas, limitando a seleção dos candidatos.

	P. crônica (crítica)	**P. crônica (outras)**	**Combinação patológica grave**	**Max de Nivel**	**Max de Risco Comb.**	***Score* Individual**
Ben. 1	0,0	0,14	0,0	0,0	1,0	1,29
Ben. 2	0,5	0,14	0,0	0,5	0,5	5,29

Tabela 1: Exemplos do *score* individual de beneficiário

As colunas P. crônica (crítica) e (outras) representam a normalização dos somatórios das patologias crônicas de atenção e as demais, respectivamente. A coluna Combinação patológica grave indica a presença ou ausência de combinações patológicas de risco levantadas pelo profissional da área, enquanto as colunas Max de Nível e Max de Risco Combinado correspondem à normalização do nível na pirâmide de atenção dos pacientes e ao risco combinado, respectivamente. O risco combinado é uma medida construída pela operadora de plano de saúde. Essa medida é um grau de risco para se mudar de estado no seu nível da pirâmide.

Os dados fornecidos pela operadora de saúde passaram por um processo de filtragem, padronização e normalização. Este estágio é crítico e teve como objetivo identificar padrões e características nos dados, e corrigir eventuais inconsistências na base.



(a) Distribuição total.

(b) Distribuição somente com as doenças classificadas.

Figura 2: Distribuição dos beneficiários em cada nível da pirâmide.

Uma parte considerável dos beneficiários da amostra apresenta condições de saúde não classificadas. Essa categoria pode sugerir a ausência de doenças crônicas ou, alternativamente, que tais condições ainda não foram identificadas e registradas na base de dados. Ao analisar a Figura 2, nota-se que, ao excluir os beneficiários não classificados, a maioria encontram-se no primeiro nível da pirâmide. No entanto, para manter a consistência do modelo e garantir a coerência na seleção

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193423
https://proceedings.science/p/193423?lang=en

de beneficiários, optou-se por incluir todos os beneficiários, independentemente da classificação de suas doenças. É crucial ressaltar que essa escolha representa uma limitação deste estudo.

Em colaboração com os especialistas da área da saúde, foram identificadas sete condições crônicas críticas para monitoramento: hipertensão, diabetes, doenças cardiovasculares, neoplasias, doenças cerebrovasculares, distúrbios pulmonares e problemas renais. Beneficiários que apresentam uma ou mais dessas condições (coluna Combinação patológica grave na Tabela 1) e estão no terceiro nível da pirâmide de risco (coluna Nível da Pirâmide na Tabela 1) são considerados candidatos promissores para serem selecionados. A Figura 3 ilustra a proporção do número de beneficiários que estão no terceiro nível da pirâmide que apresenta o valor de risco combinado[1] maior que 5 e/ou possui condições crônicas críticas.

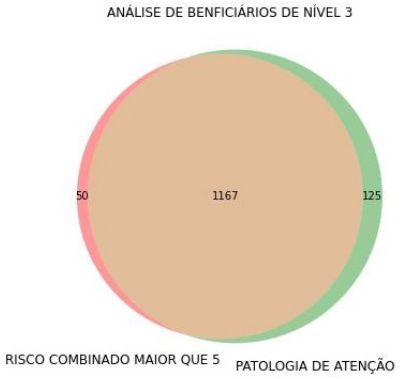


Figura 3: Diagrama de Venn do conjunto de beneficiários no nível 3 na pirâmide. Em vermelho mostra que 50 beneficiários estão dentro do grupo com risco combinado maior ou igual a 5. Em verde 125 beneficiários que possuem alguma das condições críticas. Por fim, em laranja, 1.167 que pertencem a ambos os grupo.

Na Seção 6.1 é realizado um estudo do parâmetro λ presente na Equação (2), na análise é considerando a revocação dos grupos de análise. A revocação (*recall*) é uma medida que representa a porcentagem de integrantes de um grupo que foram recuperados corretamente em relação ao numero total de integrantes deste mesmo grupo. Tipicamente, em inteligência artificial, a revocação é calculada como a razão entre verdadeiros positivos (VP) e a soma dos verdadeiros positivos com os falsos negativos (FN), matematicamente representado por $\frac{VP}{VP+FN}$. Os grupos analisados serão: i) nível 3 com risco combinado ≥ 5, ii) nível 3 com patologias críticas, e iii) nível 3 com ambas as características simultaneamente. Usando apenas o primeiro grupo, o resultado obtido será comparado com algoritmos gulosos.

6.1. Análise do Parâmetro λ

O valor de λ na Equação (2) está diretamente ligado à influência que o membro da família que demande maior atenção (maior *score*) terá na composição do *score* familiar. Quanto maior o valor de λ, maior a priorização por beneficiários que exigem um acompanhamento presencial, mesmo que esse beneficiário pertença a uma família com muitos membros com o valor muito baixo de *score* e que ocupe muitas vagas. A Tabela 2 mostra um exemplo de dois grupos familiares com 5 integrantes. O primeiro grupo possui um integrante com fator de risco muito elevado e os demais de níveis muito baixo. Já o segundo grupo familiar possui um indivíduo com valor elevado, dois médios e o restante muito baixo. Para valores de λ diferentes, o valor do *score* familiar pode

[1]Risco combinado: medida de grau de risco para se mudar de estado no seu nível da pirâmide

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193423
https://proceedings.science/p/193423?lang=en

priorizar a primeira ou a segunda família, por exemplo, para $\lambda = 4$ a família F1 teria um *score* mais elevado. Já para $\lambda = 3$ a família F2 teria maior prioridade na escolha. A escolha do valor de λ é uma decisão estratégica da gerência da operadora de plano de saúde.

O valor deste parâmetro está diretamente ligado ao *trade-off* associado na escolha entre priorizar um indivíduo de estado crítico muito elevado em detrimento de muitas vagas na APS. É preciso cuidar de beneficiários com patologias muito graves, mas também é preciso priorizar famílias com indivíduos que necessitem de cuidados coordenados para evitar o desenvolvimento de casos graves. A APS visa atender famílias com foco no cuidado e prevenção. Pois como já apontado, na família há perspectiva da carga genética e possibilidade de mudanças de hábitos e comportamentos visando uma melhor saúde.

	score 1	*score* 2	*score* 3	*score* 4	*score* 5	*score* familiar $\lambda = 4$	*score* familiar $\lambda = 3$
F1	9,26	2,69	0,39	0,39	0,39	7.395,68	812,83
F2	8,57	0,69	0,29	5	5	6.647,98	880,08

Tabela 2: Análise do *score* familiar ao variar o parâmetro λ

Para analisar diferentes cenários para o parâmetro λ na Equação (2), uma série de experimentos variando o valor de λ de 2 a 6, com incrementos de 0.5 foi realizado. O objetivo é encontrar o valor de λ que maximizasse a inclusão de casos graves, sem comprometer a eficácia na escolha do grupo. É evidente que trata-se de um *trade-off*, pois quanto maior o valor de λ mais casos com *scores* individuais muito elevados estarão presentes, porém em detrimento de beneficiários com *scores* muito baixo ocuparem o lugar que poderiam ser ocupados por diversos outros beneficiários de nível médio.

Os resultados desses experimentos estão apresentados nas Tabelas 3, 4 e 5. Cada tabela corresponde a um dos três grupos de risco destacados anteriormente.

Valor de λ	**Quantidade de Casos Graves Incluídos**	**Revocação (%)**
2	1.152	94,66
2,5	1.170	96,14
3	1.183	97,21
3,5	1.193	98,02
4	1.195	98,19
4,5	1.198	98,44
5	1.201	98,69
5,5	1.201	98,69
6	1.201	98,69

Tabela 3: Resultados da variação do valor de λ do Grupo 1

Nos experimentos conduzidos para o Grupo 1, onde o risco combinado é superior a 5, foi observado um aumento consistente na quantidade de casos graves incluídos à medida que o parâmetro λ variava de 2 a 6. Houve também um aumento na revocação, aumentando de 94.66% para 98.69%. No entanto, a partir de $\lambda = 5$, a revocação estabilizou, sugerindo que valores maiores não proporcionam benefícios adicionais significativos. Portanto, $\lambda = 5$ pode ser considerado um valor eficaz para maximizar a inclusão de casos graves sem comprometer a eficiência do modelo.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193423
https://proceedings.science/p/193423?lang=en

Valor de λ	Quantidade de Casos Graves Incluídos	Revocação (%)
2	1.235	95,51
2,5	1.255	97,14
3	1.269	98,22
3,5	1.283	99,30
4	1.287	99,61
4,5	1.290	99,85
5	1.291	99,92
5,5	1.291	99,92
6	1.292	100,0

Tabela 4: Resultados da variação do valor de λ do Grupo 2

Para o Grupo 2, focalizado em patologias de atenção, os resultados revelaram um crescimento contínuo tanto na quantidade de casos graves incluídos quanto na revocação, atingindo 100% com $\lambda = 6$. A eficácia do modelo se torna evidente a partir de $\lambda = 4.5$, onde a revocação já se aproximava de 100%. Isso sugere que, para este grupo, valores de λ entre 4.5 e 6 são altamente eficazes em identificar casos graves.

Valor de λ	Quantidade de Casos Graves Incluídos	Revocação (%)
2	1.119	95,89
2,5	1.138	97,51
3	1.150	98,54
3,5	1.159	99,31
4	1.162	99,57
4,5	1.165	99,83
5	1.166	99,91
5,5	1.166	99,91
6	1.167	100,0

Tabela 5: Resultados da variação do valor de λ do Grupo 3

No Grupo 3 a revocação atingiu 100% com λ = 6, demonstrando uma identificação completa dos casos graves. Valores de λ entre 4.5 e 6 também mostraram alta eficácia neste grupo, similarmente ao Grupo 2. No entanto, mesmo para valores menores de λ, ainda conseguimos incluir uma quantidade significativa de casos graves, com uma revocação superior a 94% em todos os grupos. Portanto, o valor adequado de λ pode ser escolhido com base nas necessidades específicas do sistema de saúde e na importância atribuída à inclusão de casos graves. Com base nessa análise, foi selecionado o valor $\lambda = 5$, demonstrando alta qualidade na revocação em todos os grupos, refletindo a capacidade do modelo em identificar adequadamente os participantes com maior necessidade, abrangendo a maioria dos casos críticos. Essa decisão é embasada na compreensão dos requisitos específicos do problema e na adaptação do modelo para atender às demandas da situação.

6.2. Comparação com Métodos Gulosos

Nesta subseção, será conduzida uma análise comparativa entre o modelo proposto e os métodos gulosos clássico e baseado no maior score individual dos beneficiários. Os resultados serão apresentados na Tabela 6, que contém os perfis dos beneficiários classificados de acordo com o critério estabelecido para o Grupo 1. Adicionalmente, serão incluídos valores referentes ao somatório do score individual total (ver Seção 5) e aos resultados da função objetivo (ver Equação

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193423
https://proceedings.science/p/193423?lang=en

3).

A comparação com os algoritmos gulosos será realizada usando apenas o primeiro grupo, consistindo de beneficiários no nível 3 com risco combinado maior ou igual a 5. Esta escolha é feita com o intuito de avaliar a eficácia do modelo proposto em identificar e classificar beneficiários com base em condições crônicas críticas, em comparação com abordagens mais simplificadas de seleção de participantes. Os resultados desta comparação fornecerão uma melhor compreensão da capacidade do modelo proposto em capturar nuances e complexidades nos dados de saúde, além de sua capacidade de identificar efetivamente beneficiários com maior necessidade de intervenção e cuidados.

Nvl. de Pirâmide	**Geral**		**Mochila**		**Guloso Score Ind.**		**Guloso Clássico**	
	$RC < 5$	$RC \geq 5$	$RC < 5$	$RC \geq 5$	$RC < 5$	$RC \geq 5$	$RC < 5$	$RC \geq 5$
1	4145	2.188	478	277	510	296	288	253
2	485	968	103	311	104	261	209	523
3	144	1.217	130	1.201	127	1.202	115	1.112
	Score Total (Media)		15.885,87 (6,35)		15.639,34 (6,26)		16.554,47 (6,62)	
	F.O.		120.295.486,90		120.295.429,58		114.669.817,57	

Tabela 6: Comparação entre os métodos, com RC representando o risco combinado dos participantes.

Observa-se que o algoritmo Guloso Clássico apresenta o melhor desempenho em termos do somatório dos *scores* individuais, superando os outros métodos. No entanto, este algoritmo demonstra uma deficiência na recuperação dos casos graves e resulta no menor valor na função objetivo quando comparado aos outros métodos. Por outro lado, o algoritmo Guloso Score Ind. consegue recuperar apenas um caso grave a mais que o algoritmo da mochila, no entanto,o número de beneficiários do nível 2 com o valor de risco combinado maior que 5 é mais de 16% menor.

Por fim, a abordagem da mochila se destaca pela sua capacidade de equilibrar o *trade-off* entre a recuperação de casos graves e intermediários. Apesar de recuperar menos casos intermediários que um dos algoritmos gulosos, a abordagem da mochila mantém uma alta recuperação de casos graves e 50 casos intermediários a mais que o Guloso Score ind. Assim a proposta aqui apresentada oferece uma solução mais apropriada ao problema.

7. Considerações Finais

Este estudo desenvolveu e avaliou um modelo de otimização para a seleção de participantes em um programa de Atenção Primária à Saúde (APS), visando a priorização de casos graves e ao mesmo tempo atender grupos familiares.

A adaptação do algoritmo da mochila, enfocando *scores* individuais mais altos, resultou em uma alocação mais eficiente de recursos. Isso maximizou a identificação e o atendimento dos beneficiários com maior necessidade, enquanto mantinha um bom desempenho em relação aos critérios gerais de seleção. Os resultados obtidos indicam que a abordagem adaptada é eficaz em contextos semelhantes, oferecendo uma solução prática para o desafio da seleção de participantes em programas de APS em uma operadora de plano de saúde.

A relevância deste trabalho reside em sua contribuição para a eficiência dos programas de APS, ao proporcionar uma ferramenta robusta e adaptável para a seleção de participantes. Isso facilita uma gestão mais eficaz dos recursos disponíveis. Por meio da variação do parâmetro λ (conforme descrito na seção 6.1) é possível ajustar a função objetivo para atender às necessidades específicas do problema real. Dessa forma, o gerenciamento das vagas para a APS pode ser direcionado de forma a potencializar os impactos positivos na saúde dos beneficiários.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193423
https://proceedings.science/p/193423?lang=en

Para futuras pesquisas, sugere-se explorar abordagens de pesquisa operacional multiobjetivo e a modelagem de um problema dual, focando na seleção dos melhores participantes para programas remotos. Essa abordagem pode considerar diferentes objetivos, como a maximização da eficiência dos recursos, a minimização do tempo de espera dos beneficiários e a otimização da cobertura da população atendida. Além de investigar como esses modelos podem ser adaptados para lidar com desafios específicos associados à APS remota, como a necessidade de garantir uma comunicação eficaz e o monitoramento remoto da saúde dos beneficiários.

Agradecimentos

Os autores agradecem a parceria da Cemig Saúde no desenvolvimento do trabalho e à CAPES, FAPEMIG e CNPq pelo suporte financeiro.

Referências

De Sousa, J. C. (2005). A doença crónica e o desafio da comorbilidade. *Revista Portuguesa de Medicina Geral e Familiar*, 21(6):533–534.

Gottliebsen, K. e Petersson, G. (2020). Limited evidence of benefits of patient operated intelligent primary care triage tools: findings of a literature review. *BMJ Health Care Informatics*, 27(1): e100114.

Martello, S. e Toth, P. (1990). *Knapsack problems: algorithms and computer implementations*. John Wiley & Sons, Inc., USA. ISBN 0471924202.

Mendes, E. V. (2010). As redes de atenção à saúde. *Ciência & saúde coletiva*, 15(5):2297–2305.

Mendes, E. V. E. (2012). *O cuidado das condições crônicas na atenção primária à saúde: o imperativo da consolidação da estratégia da saúde da família*. Organização Pan-Americana da Saúde, Brasília, DF. ISBN 978-85-7967-078-7.

Pang, X., Ge, Y.-F., Wang, K., Traina, A. J., e Wang, H. (2023). Patient assignment optimization in cloud healthcare systems: a distributed genetic algorithm. *Health Information Science and Systems*, 11(1):30.

Pisinger, D. (2005). Where are the hard knapsack problems? *Computers & Operations Research*, 32(9):2271–2284. ISSN 0305-0548.

Porter, M. e Kellogg, M. (2008). An integrated health care experience. *Revista de Innovación Sanitaria y Atención Integrada*, 1(1):1–8.

Starfield, B. (1994). Is primary care essential? *The Lancet*, 344(8930):1129–1133. ISSN 0140-6736.

Starfield, B. (2002). *Atenção primária: equilíbrio entre necessidades de saúde, serviços e tecnologia*. UNESCO, Ministério da Saúde, Brasília. ISBN 85-87853-72-4.

Wagner, E. H. (1998). Chronic disease management: what will it take to improve care for chronic illness? *Effective clinical practice*, 1(1).

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193423
https://proceedings.science/p/193423?lang=en