

Otimização do Processo de Distribuição de Alimentos

Letícia Ferreira Godoi¹

Programa de Pós-Graduação em Biometria, Instituto de Biociências, Unesp, Botucatu, SP

Flávia Queiroga Aranha²; Daniela Renata Cantane³

Instituto de Biociências, Unesp, Botucatu, SP

Resumo. O processo de distribuição de alimentos representa uma importante tarefa para os Bancos de Alimentos, estruturas responsáveis por receber alimentos doados e então distribuí-los a entidades que atendem famílias em situação de insegurança alimentar. Dessa forma, contribuem diretamente para a redução da insegurança alimentar no país e também para a diminuição da fome. A pesquisa operacional pode ser amplamente aplicada nesta área, possibilitando uma ferramenta de auxílio à tomada de decisão. Neste trabalho é proposto um modelo de otimização aplicado ao processo de distribuição de alimentos realizado pelos Bancos de Alimentos.

Palavras-chave. Distribuição de Alimentos, Programação por Metas, Otimização, Pesquisa Operacional.

1 Introdução

Os Bancos de Alimentos (BAs) brasileiros são organizações cujo objetivo central se dá na distribuição de alimentos provenientes de doações à população que se encontra com alguma limitação, seja física ou econômica, na aquisição de alimentos para suprir suas necessidades dietéticas diárias. Em 2016 foi criada a Rede Brasileira de Bancos de Alimentos (RBBA) para fortalecer e integrar o desempenho dos BAs existentes, além de auxiliar na redução de desperdícios alimentares [4]. Segundo o estudo realizado por [8], existem 217 unidades espalhadas por todo o território nacional, porém, com maior concentração na região sudeste.

O processo de distribuição de alimentos doados pode apresentar diversos desafios atrelados aos conceitos de eficiência, eficácia e equidade, sempre visando a maior abrangência da população em situação de insegurança alimentar, assim como a maior eficiência do processo [2]. Sendo assim, os modelos matemáticos e de otimização podem auxiliar os gestores na tomada de decisão neste processo, possibilitando diferentes abordagens e critérios para sua realização.

Existem diversos modelos aplicados a esta temática na literatura, porém, devido aos vastos desafios, cada um apresenta uma aplicação e abordagem distinta. Com relação à modelos de otimização aplicados ao processo de distribuição realizado pelos BAs brasileiros, os resultados encontrados na literatura são escassos. Assim, motivado por este desafio, o presente trabalho propõe um modelo de otimização do processo de distribuição de alimentos considerando a técnica de programação por metas para sua formulação.

¹leticia.f.godoi@unesp.br

²flavia.aranha@unesp.br

³daniela.cantane@unesp.br

2 Modelo para o processo de distribuição de alimentos

Na literatura existem diversos modelos matemáticos aplicados ao processo de distribuição de alimentos realizados pelos BAs, considerando diferentes objetivos [3, 6, 7]. Neste trabalho é proposto um modelo de otimização que utiliza uma técnica ainda não explorada na formulação deste processo, a técnica de programação por metas, a qual minimiza o desvio indesejado de cada meta a ser atingida. Esta técnica corresponde a uma alternativa para problemas de otimização que apresentam mais de um objetivo, geralmente conflitante, e visa estabelecer um balanço entre k metas a serem atingidas para cada objetivo (alvo) z_i do problema, para $i = 1, \dots, k$ [1, 5].

Devido à dificuldade de otimizar todos os objetivos simultaneamente, pode-se considerar uma única função que relaciona os desvios das demais funções. Para isso, cada função $f_i(x)$ a ser otimizada está relacionada à variáveis de desvios positivo e negativo (p_i e n_i), ou seja, em excesso e faltante, em relação a uma determinada meta z_i a ser alcançada, para $i = 1, \dots, k$.

O modelo de programação por metas na forma padrão (1)-(4) tem como objetivo a minimização de uma função h dos k desvios indesejados e pode ser definido por:

$$\text{minimizar} \quad h(n, p) \tag{1}$$

$$\text{sujeito a} \quad f_i(x) + n_i - p_i = z_i \tag{2}$$

$$x \in \mathbb{F} \tag{3}$$

$$(n_i, p_i) \geq 0, i = 1, \dots, k, \tag{4}$$

em que n, p são vetores das variáveis de desvios, x é o vetor de variáveis de decisão, e \mathbb{F} representa a região factível.

Existem diversas variantes do modelo de programação por metas, entre elas, as técnicas de programação por metas Chebyshev e Soma Ponderada consideradas neste trabalho. A variante de Soma Ponderada faz uma associação de pesos (ou prioridades) aos desvios das metas, de forma que a função objetivo é construída visando a minimização da soma dos desvios. Já a variante de Chebyshev utiliza a ideia da minimização de um desvio máximo na função objetivo, além de acrescentar restrições ao problema de forma que todos os desvios associados aos pesos sejam menores ou iguais ao desvio máximo [5].

A Tabela 1 apresenta os parâmetros, conjuntos e variáveis consideradas no modelo de otimização proposto, indicando as notações e suas respectivas descrições.

Tabela 1: Resumo de parâmetros, conjuntos e variáveis consideradas no modelo de otimização proposto.

Notação	Descrição	Tipo
I	Conjunto de todas as entidades atendidas	Conjunto
B	Conjunto de todos os Bancos de Alimentos	Conjunto
I_b	Conjunto de todas as instituições atendidas pelo Banco b	Conjunto
α	Ponderação das técnicas de programação por metas utilizadas	Parâmetro
u_i, v_i	Pesos associados ao atendimento da entidade i	Parâmetro
z_i	Demanda de alimentos da entidade i	Parâmetro
x_{bi}	Quantidade de alimento distribuído pelo Banco b para a entidade i	Variável de decisão
n_i	Desvio faltante da demanda da entidade i	Variável de decisão
p_i	Desvio excedente da demanda da entidade i	Variável de decisão
λ	Desvio máximo de Chebyshev	Variável de decisão

Um modelo de programação por metas estendido é dado por:

$$\text{minimizar} \quad \alpha\lambda + (1 - \alpha) \sum_{i \in I} (u_i n_i + v_i p_i) \tag{5}$$

$$\text{sujeito a} \quad f_i(x_{bi}) + n_i - p_i = z_i, \quad i \in I_b, b \in B, \tag{6}$$

$$u_i n_i \leq \lambda, \quad i \in I, \tag{7}$$

$$v_i p_i \leq \lambda, \quad i \in I, \tag{8}$$

$$x_{bi} \in \mathbb{F} \tag{9}$$

$$(\lambda, x_{bi}, n_i, p_i) \geq 0, \quad i \in I. \tag{10}$$

A função objetivo (5) associa as duas técnicas de programação por metas, Chebyshev e Soma Ponderada, onde λ representa o desvio máximo de Chebyshev e α consiste na ponderação entre as duas técnicas.

Considerando o modelo de programação por metas estendido aplicado ao problema de planejamento de distribuição de alimentos tem-se um conjunto I que representa o conjunto de todas as entidades atendidas e um conjunto B que representa todos os BAs considerados. São considerados ainda subconjuntos $I_b \subset I$, que representam as entidades atendidas pelo BA b . A restrição (6) está relacionada com as metas, ou seja, o atendimento de todas as demandas z_i , com $i \in I$, sendo n_i e p_i as representações dos desvios faltantes e excedentes, respectivamente. A quantidade de alimento enviada para cada entidade é representada pela variação de decisão x_{bi} , em que $b \in B$ e $i \in I$.

A restrição (8) está relacionada à técnica de programação por metas, ou seja, representa um limitante superior para os desvios faltantes de cada demanda, e cada desvio tem um peso u_i associado, com $i \in I$. Considera-se, ainda, a limitação da quantidade de alimento enviado para cada entidade, pois cada uma delas apresenta uma capacidade de recebimento. Com relação à quantidade de alimento disponível em cada BA, a soma de todo alimento distribuído por cada BA deve ser igual à quantidade de alimentos disponíveis para distribuição provenientes de doações, calculando também a soma e a subtração de todo alimento recebido ou enviado, respectivamente, para outros BAs. A restrição (10) representa a não negatividade das variáveis de decisão consideradas no problema.

2.1 Cenário e instâncias

Para verificar o comportamento do modelo e suas soluções na busca por uma distribuição com equidade, foi construído um cenário, ilustrado na Figura 1, no qual são considerados três BAs, sendo o BA 1 responsável pela distribuição de alimentos às entidades 1 a 6, BA 2 responsável pela distribuição às entidades 7 a 15 e BA 3 que atende as entidades 16 a 20. Cada uma das entidades apresenta sua respectiva demanda de alimentos (em kg).

Tendo em vista que um dos grandes desafios da distribuição de alimentos pelos BAs consiste em situações nas quais a quantidade de alimentos disponível para o processo pode não ser suficiente para suprir todas as demandas existentes da população, foram construídas instâncias para verificar o comportamento do modelo nestas situações. As informações referentes à quantidade de alimento disponível (em kg) em cada instância para a distribuição estão descritas na Tabela 2.

Tabela 2: Quantidade total de alimento disponível (em kg) para distribuição.

	Q_1	Q_2	Q_3
Instância 1	405	522	369
Instância 2	390	490	416

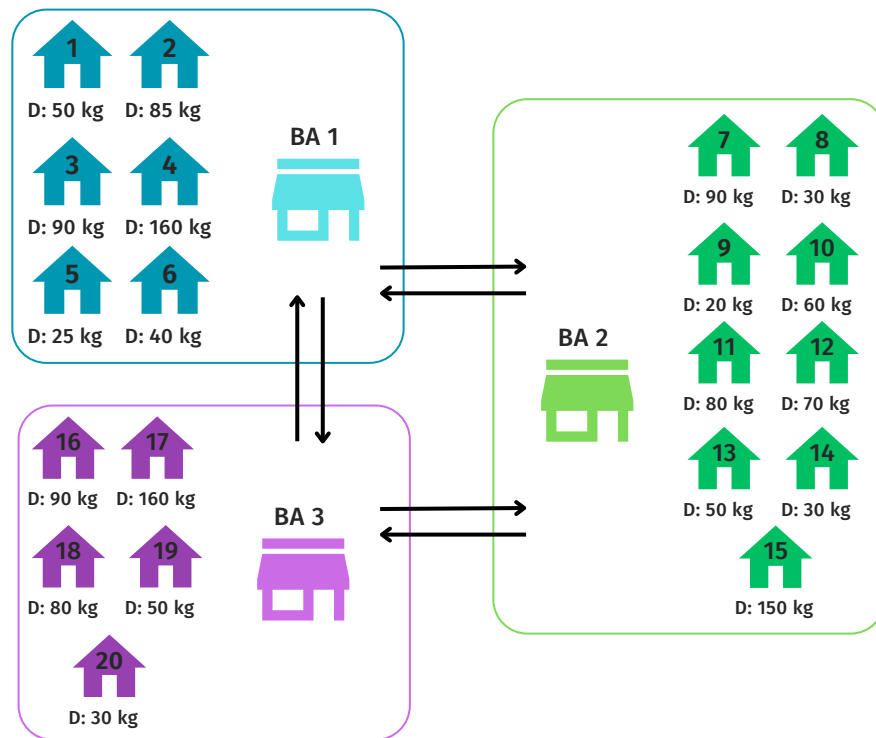


Figura 1: Cenário construído para análise do modelo e suas soluções.

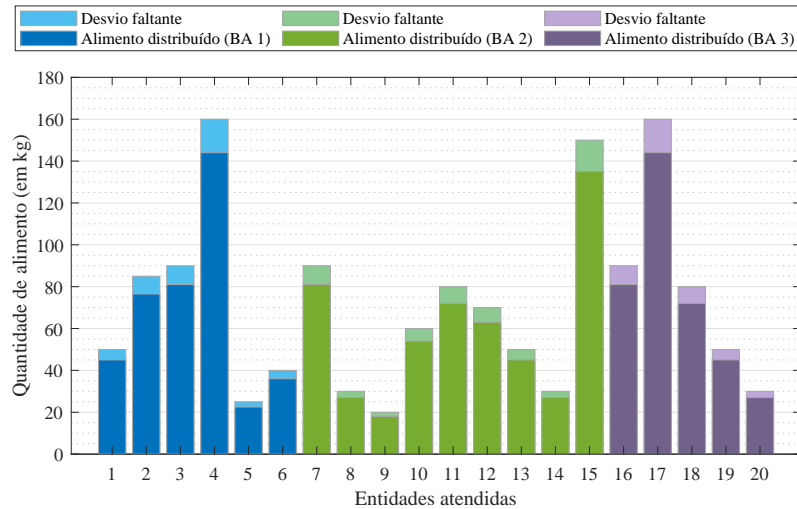
A Instância 1 representa a situação em que cada BA apresenta 10% de alimento faltante para suprir todas as demandas associadas às entidades atendidas. Já a Instância 2 considera uma situação em que ainda falta alimento, porém, o BA 3 apresenta maior quantidade de alimento disponível se comparado às demandas por ele atendidas e os demais BAs.

3 Resultados computacionais

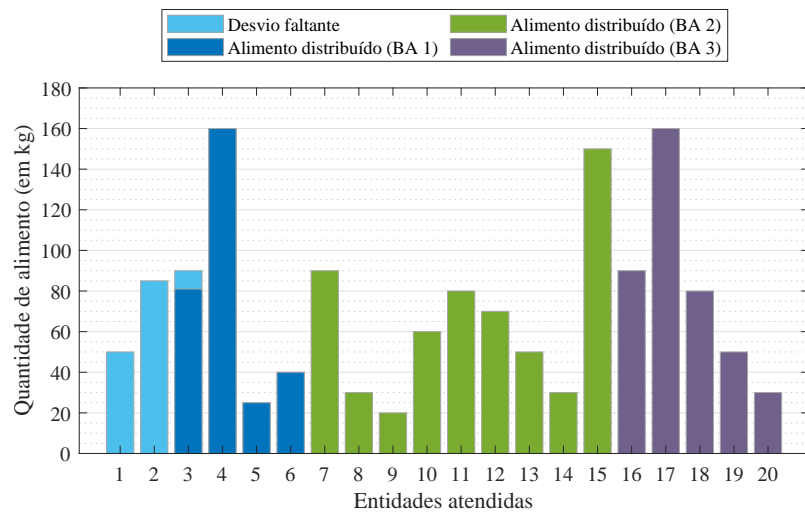
Considerando o cenário apresentado na Figura 1 e as instâncias indicadas na Tabela 2, o modelo (5) – (10) foi implementado considerando os pesos μ_i iguais, com $i = 1, \dots, 20$, ou seja, não há priorização no atendimento das entidades. A capacidade de recebimento de alimentos de cada entidade foi determinada sendo 5% maior que sua respectiva demanda. Primeiramente foi considerada a situação em que $\alpha = 1$, ou seja, a técnica de programação por metas Chebyshev na função objetivo. Sendo assim, os resultados para a Instância 1 estão dispostos na Figura 2(a), e indicam que a distribuição foi realizada considerando equidade, uma vez que todas as entidades foram atendidas e os desvios faltantes estão bem distribuídos e conforme a respectiva demanda. O valor encontrado para λ foi de 0,005, que também representa o valor da função objetivo.

Ainda considerando a Figura 2(a), não houve envio/recebimento de alimento entre os BAs, uma vez que as quantidades disponíveis em cada um era proporcionalmente a mesma se verificadas as demandas atendidas. Já na Figura 2(b) podemos verificar a distribuição considerando $\alpha = 0$, ou seja, utilização da técnica de programação por metas por Soma Ponderada na função objetivo. Neste caso, a distribuição não apresentou equidade, uma vez que as entidades 1 e 2 não foram atendidas. Além disso, a solução indicou que o BA 3 recebeu 99 kg de alimento do BA 1 e também

enviou 58 kg de alimento ao BA 2. O valor encontrado para a função objetivo foi de 0,0744 e a variável $\lambda = 0,5$.



(a) $\alpha = 1$



(b) $\alpha = 0$

Figura 2: Resultados do modelo considerando a Instância 1 e diferentes ponderações para as técnicas de programação por metas utilizadas na função objetivo.

Considerando então a Instância 2, os resultados estão dispostos na Figura 3. Verificando a situação em que $\alpha = 1$ temos uma distribuição que considera maior equidade se comparada ao resultado encontrado com $\alpha = 0$. A Figura 3(a) indica que todas as entidades foram atendidas, sendo os desvios faltantes distribuídos entre todas as entidades e proporcionais a suas respectivas demandas. Foi indicada a troca de alimentos entre os BAs, onde o BA 3 enviou 15 kg de alimento ao BA 1 e 32 kg de alimento ao BA 2. O valor da função objetivo foi de 0,005, assim como o valor

da variável λ .

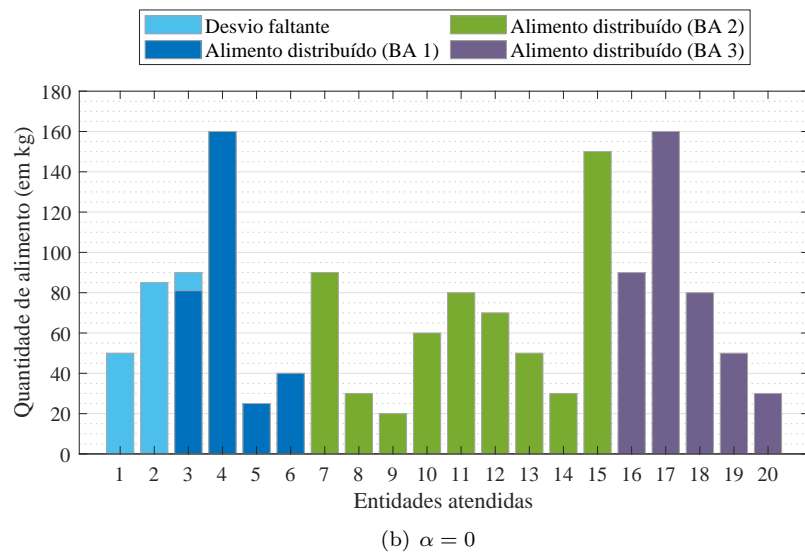
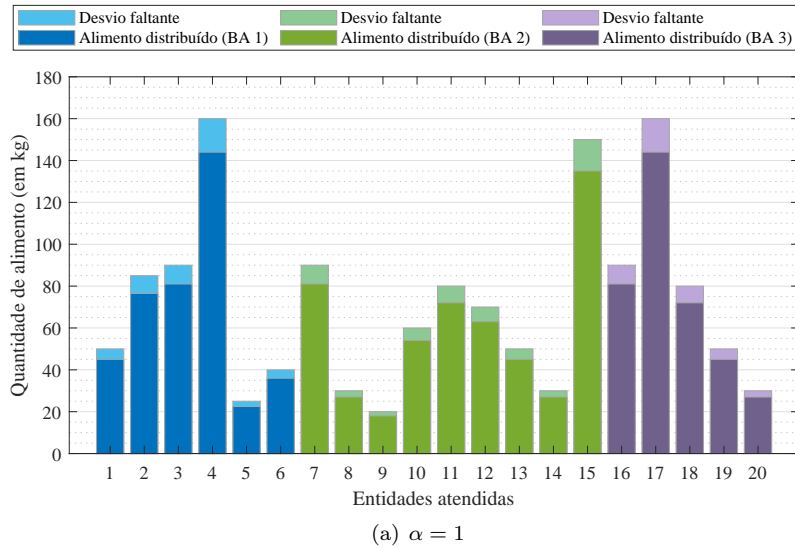


Figura 3: Resultados do modelo considerando a Instância 2 e diferentes ponderações para as técnicas de programação por metas utilizadas na função objetivo.

Já na situação em que $\alpha = 0$, a distribuição encontrada está apresentada na Figura 3(b), e não considera equidade, uma vez que as entidades 1 e 2 não foram atendidas, ou seja, não receberam alimentos provenientes do processo realizado. Além disso, houve troca de alimentos entre os BAs de forma que o BA 3 recebeu 84 kg de alimento do BA 1 e enviou 90 kg de alimento ao BA 2. O valor encontrado para a função objetivo foi de 0,0744 e $\lambda = 0,05$.

Analisando os resultados encontrados considerando ambas as instâncias, temos que na busca por um processo de distribuição de alimentos considerando equidade, onde não há priorização no

atendimento de entidades, é viável a aplicação da técnica de programação por metas Chebyshev na função objetivo do modelo proposto.

4 Considerações Finais

O modelo de programação por metas proposto foi eficiente na otimização do processo de distribuição de alimento no caso em que não há alimento suficiente para suprir todas as demandas. No caso em que é esperado que a distribuição seja realizada com equidade, a técnica de programação por metas Chebyshev apresentou melhores resultados. Como perspectivas futuras temos o estudo do caso em que há priorização no atendimento de determinadas entidades.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, Projeto Universal CNPq/MCTI/FNDCT 405716/2021-4, Processo FAPESP n^o 2021/14373-0, n^o 2018/03247-0 e n^o 2014/04353-8.

Referências

- [1] M. Arenales et al. **Pesquisa Operacional**. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2011.
- [2] **Guia Operacional e de Gestão para Bancos de Alimentos**. Ministério da Cidadania. Brasília, Brasil, 2020.
- [3] T. Hasnain, I. S. Orgut e J. S. Ivy. “Elicitation of Preference among Multiple Criteria in Food Distribution by Food Banks”. Em: **Production and Operations Management** 30.12 (2021), pp. 4475–4500.
- [4] G. P. Henz e G. Porpino. “Food losses and waste: how Brazil is facing this global challenge?” Em: **Horticultura Brasileira** 35.4 (2017). DOI: 10.1590/S0102-053620170402.
- [5] D. Jones e M. Tamiz. **Practical goal programming**. Springer, 2010.
- [6] C. L. Martins, M. T. Melo e M. V. Pato. “Redesigning a food bank supply chain network in a triple bottom line context”. Em: **International Journal of Production Economics** 214 (2019), pp. 234–247.
- [7] I. S. Orgut et al. “Modeling for the equitable and effective distribution of donated food under capacity constraints”. Em: **IIE Transactions** 48.3 (2016). DOI: 10.1080/0740817X.2015.1063792.
- [8] N. Tenuta et al. “Brazilian Food Banks: Overview and Perspectives”. Em: **International Journal of Environmental Research and Public Health** 18.23 (2021). DOI: 10.3390/ijerph182312598.