



MODELO DE OTIMIZAÇÃO PARA CENTRAIS DE ARRECADAÇÃO E ARMAZENAMENTO DE ALIMENTOS A FIM DE ORDENAR A DISTRIBUIÇÃO E MINIMIZAR O DESCARTE¹

Raissa Scariot Fernandez Camps^{a*}, Leandro Luís Corso^b

Programa de Pós-graduação em Administração

^aUniversidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre-RS, Brasil

Programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica

^bUniversidade de Caxias do Sul - UCS, Caxias do Sul-RS, Brasil

Recebido 04/09/2020, aceito 10/05/2022

RESUMO

A crescente população em situação de vulnerabilidade social no Brasil faz com que a demanda de alimentos em instituições que fornecem refeições aumente gradativamente. Diante disso, as centrais de arrecadação e distribuição de alimentos têm papel fundamental nas práticas de aproveitamento, porém, as especificidades do processo de armazenamento e distribuição de estoques perecíveis ainda fazem do desperdício um problema constante. Dessa forma, influenciado pela escassez de ferramentas voltadas à essa aplicação, neste trabalho foi desenvolvido um modelo de programação linear para buscar a minimização do descarte em Bancos de Alimentos. Após incorporadas as premissas de recomendação de nutrientes para os grupos atendidos, o modelo matemático ordena a distribuição a partir da seleção de aproximadamente 100% dos produtos que perecerão em até 8 meses. Neste estudo de caso, o modelo mostrou-se efetivo, distribuindo cestas de alimentos para 43 entidades, considerando diferentes requisitos nutricionais. Desta forma, demonstra-se a viabilidade de ser utilizado como ferramenta nessas organizações, podendo ser aplicado para casos similares.

Palavras-chave: Descarte de alimentos, Estoque perecível, Otimização, Programação linear.

ABSTRACT

The social vulnerability population increasing in Brazil causes the gradual growth in demand for food in institutions that provide meals. In view of this, food collection and distribution centers play a fundamental role in total utilization practices, however, the specificities of the storage and distribution perishable stocks process still make waste a constant problem. Thus, influenced by the poverty of tools directed at this application, a linear programming model was developed in this work, in order to minimize the wastage in Food Banks. After built-in premises of nutrients recommendation for the assisted groups of people, the linear programming model orders the distribution by selecting 100% of the food that is going to expire in until 8 months. In this case study, the optimization model has proved effective in distributing food baskets to 43 institutions, considering different nutritional requirements. Thus, it shows that it can be used as an optimization tool in these organizations and can be applied to similar situations.

Keywords: Food wastage, Perishable stock, Optimization, Linear programming.

1. Introdução

*Autor para correspondência. E-mail: rsfcamps@gmail.com.

DOI: 10.4322/PODes.2022.006

¹Todos os autores assumem a responsabilidade pelo conteúdo do artigo.

Na ausência de políticas públicas de intervenção às necessidades alimentares da população, a única assistência imediata disponível para atender as pessoas é fornecida por caridade, provida muitas vezes por meio de Bancos de Alimentos (Tarasuk et al., 2014). Esse cenário tem sido observado no Brasil, pois, “apesar dos avanços observados na diminuição das desigualdades, ainda é grande o contingente de pessoas que vivem em situação de insegurança alimentar” (Bezerra et al., 2017). Isso evidencia um atraso quanto às medidas tomadas com vistas ao direito à alimentação, tornando ainda mais importantes as políticas de incentivo aos Bancos de Alimentos (BAs) e organizações assistenciais que repassam alimentos arrecadados às pessoas vulneráveis.

Middleton et al. (2018) afirmam que a insegurança alimentar é mais comumente associada ao mundo em desenvolvimento e Tarasuk et al. (2014) comentam que se prevê o crescimento da insegurança alimentar com a instabilidade econômica global, as restrições de recursos, entre outros fatores. Acrescentado a essas condições, o déficit na infraestrutura de armazenagem e abastecimento de alimentos, falta de tecnologias, de conhecimentos e capacidades de gerenciamento faz com que o desperdício de alimentos também seja um sério problema no Brasil, como salienta o Caderno de Trabalhos e Debates 3 divulgado pela Câmara dos Deputados de Brasília (2018). Diante disso, os BAs requerem ferramentas que possibilitem a obtenção de resultados ótimos nas operações, a fim de que sejam incentivados progressivamente investimentos na sua implantação.

Embora pesquisas relacionadas aos programas sociais tenham se expandido nos últimos anos, torna-se necessário complementar o estudo das políticas com o da operacionalização das iniciativas, além de se “caracterizar a produção dos processos dessa natureza em nosso país, de modo a identificar melhor suas resultantes” (Gasparini e Furtado, 2014). Por isso, nota-se a importância da contribuição das ciências exatas com técnicas de otimização voltadas às demandas sociais. Identificada a oportunidade do desenvolvimento de tecnologias de estruturação e soluções orientadas para o planejamento da distribuição dos alimentos, este estudo tem por objetivo propor um modelo matemático para organizações de arrecadação, armazenamento e distribuição de alimentos a fim de ordenar a distribuição de acordo com o prazo de validade dos itens, minimizando assim o descarte. O modelo matemático de programação linear (PL) foi aplicado em uma organização que atende 43 entidades, cada uma com suas respectivas necessidades nutricionais para serem atendidas, sendo essas restrições do modelo. Os alimentos em estoque também serviram como dado de entrada do modelo.

Este artigo divide-se em sete seções: a Seção 2 aborda os referenciais utilizados; a Seção 3 detalha o problema estudado; a Seção 4 apresenta a modelagem matemática, e o método utilizado é reportado na Seção 5. Na Seção 6 apresentam-se os resultados da aplicação do modelo proposto e na Seção 7, as conclusões do estudo.

2. Modelagem e Otimização

Os efeitos da depreciação na cadeia de gestão de alimentos tornam imprescindíveis novas abordagens na programação matemática, conforme destaca Belo Filho (2014). Neste estudo, a modelagem do processo de distribuição de alimentos envolve estoques perecíveis, e por isso, exige um tratamento direcionado à perda de valor e utilidade dos produtos.

O processo de distribuição de produtos perecíveis é frequentemente estudado em problemas de rotação de culturas vegetais, como em Costa et al. (2014). Os autores propõem um modelo de PL para maximizar o retorno associado ao plano de rotação da cultura, incorporando a possibilidade de manter a safra colhida em estoque para atender uma demanda estocástica futura. Para isso, Costa et al. (2014) associam fatores de perda à estocagem por determinados períodos de tempo. Rong et al. (2011) também propõem um modelo de PL inteira mista para o planejamento de produção e distribuição de alimentos que considera na sua formulação a perecibilidade, mas a aplicação não leva em consideração os aspectos nutricionais dos produtos. Corso e Wallace (2015) destacam e demonstram a importância de se considerar incertezas nestes modelos.

Especificamente para Bancos de Alimentos, Orgut et al. (2018) apresentam um modelo de PL para otimizar a distribuição de alimentos que contempla restrições como orçamento do programa, mão-de-obra, capacidade de armazenagem e de transporte para as agências de caridade. Já Ortuño e Padilla (2017) comparam um modelo *fuzzy* e um determinístico aplicado na otimização da quantidade e tipo de alimentos que devem ser entregues pelos BAs a famílias com características diferentes, considerando além das propriedades nutricionais, restrições como custo, peso e volume das cestas. Ortuño e Padilla (2017) ainda comentam acerca de uma revisão dos estudos que envolvem problemas de dieta: os modelos abordam aspectos nutricionais, porém não integram limitações logísticas relacionadas à distribuição. Mais recentemente, Alkaabneh et al. (2021) desenvolveram um *framework* para otimizar a distribuição de Bancos de Alimentos para as entidades atendidas, maximizando a satisfação das entidades com o recebimento dos alimentos. Para isso, os autores consideram o valor nutricional de um pacote de alimentos alocado como uma medida da eficácia da decisão do modelo. O modelo de programação dinâmica desenvolvido pelos autores considera, da mesma forma que neste estudo, um processo em que alimentos devem ser distribuídos para servir uma demanda conhecida, enquanto a quantidade recebida de produtos é aleatória. No entanto, em Alkaabneh et al. (2021), deve haver equidade na quantidade de produtos distribuída entre as entidades, e possíveis perdas pela estocagem de alimentos não são abordadas.

Utilizando-se desses conceitos, o presente estudo propõe um modelo de otimização para o planejamento da distribuição de alimentos perecíveis. Caixeta-Filho (2011) ressalta que o processo de modelagem tem a capacidade de impor determinado padrão que pode ser mais benéfico para um sistema, por meio de uma distribuição de recursos que atinja o melhor objetivo dentre todas as alternativas possíveis de solução, denominada “solução ótima”.

3. Descrição do Problema

O Programa Banco de Alimentos, do Ministério do Desenvolvimento Social e Agrário, foi criado em 2003 a fim de implantar políticas públicas para a prevenção e redução do desperdício de alimentos. Os BAs são organizações públicas e privadas que atuam como gerenciadores de arrecadação, recepção e distribuição de doações para entidades assistenciais cadastradas (MDSA, 2016).

O BA de Caxias do Sul recebe e armazena alimentos doados por pessoas físicas e jurídicas para distribuir a entidades assistenciais que preparam e fornecem refeições às pessoas em situação de vulnerabilidade social. Mensalmente são elaboradas e distribuídas cerca de 110 cestas de alimentos às entidades, cadastradas como beneficiárias de programas de arrecadação e aquisição de alimentos. Onze produtos não perecíveis principais são distribuídos pelo Banco de Arrecadação de Alimentos (BAA), um desses programas: açúcar, arroz, biscoito, café, feijão, macarrão, sal, farinha de trigo, farinha de milho, óleo e extrato de tomate. Salienta-se que a variedade de alimentos das cestas depende da disponibilidade de estoque desses itens, pois por advirem de doações, nem sempre é possível escolher um *mix* ideal.

Para a elaboração da cesta de cada entidade é calculada a soma do *per capita*, que é a quantidade de alimentos necessária para 1 (uma) refeição de 1 (um) indivíduo, levando em consideração o tipo de público atendido pela entidade receptora e o tipo de refeição nela fornecida (lanche ou refeições completas). A Tabela 1 demonstra um exemplo do cálculo realizado.

Tabela 1: Soma *per capita* de alimentos.

Item	<i>Per capita</i> (g)	Nº de pessoas	Qtde. diária (g)	Nº refeições/ mês	Qtde. da cesta (g)	Qtde. da cesta (kg)
Arroz	50	32	1600	20	32000	32
Feijão	50	32	1600	20	32000	32

Fonte: adaptado de Banco de Alimentos.

No cálculo da composição da cesta, multiplica-se o *per capita* em gramas pelo número de pessoas atendidas pela entidade e pela quantidade de refeições a serem preparadas mensalmente, obtendo-se assim, a quantidade total de alimentos que deverá compor a cesta da entidade para suprir a demanda de 1 (um) mês.

Segundo o Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação (NEPA, 2011), as informações de uma tabela de composição de alimentos são fundamentais para orientar a ingestão de nutrientes por indivíduos e populações, sendo possível a partir delas estabelecer metas nutricionais e recomendações alimentares que levem a uma dieta saudável. O NEPA ressalta que as tabelas precisam ser confiáveis e atualizadas, baseadas em análises conduzidas com métodos autênticos que forneçam informações que representam fielmente a composição dos alimentos do Brasil.

O modelo de otimização proposto utiliza a classe de produtos não perecíveis, escolhida por ser a parte mais representativa do estoque e pela viabilidade de basear as restrições do problema nos prazos de validade das embalagens dos alimentos. Assim, foi realizado um levantamento das propriedades nutricionais e da recomendação nutricional *per capita* equivalente somente ao consumo desse tipo de alimento do BAA. Optou-se por levantar as informações nutricionais dos macronutrientes carboidratos (glicídios), proteínas e gorduras (lipídios), já que esses são encontrados facilmente na composição dos alimentos industrializados.

A partir das informações contidas na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (NEPA, 2011), na Tabela 2 é apresentada a composição dos principais alimentos não perecíveis fornecidos pelo BAA.

Tabela 2: Composição de macronutrientes dos alimentos*.

Alimento	Carboidratos (g)	Proteínas (g)	Gorduras (g)
Arroz (tipo 1, 2) cozido	28,1	2,5	0,3
Biscoito (doce, sem recheio)	75,2	8,1	12
Café (pó, torrado)	65,8	14,7	11,9
Feijão	7,8	4,2	0,1
Massa/macarrão	76,6	10,3	2
Farinha de trigo	75,1	9,8	1,4
Farinha de milho	79,1	7,2	1,5
Extrato de tomate	15	2,4	0,2

Fonte: adaptado de NEPA (2011).

Abreviações: NA: valores abaixo dos limites de quantificação.

* Composição de alimentos por 100 gramas de parte comestível.

A recomendação de consumo de nutrientes para indivíduos ou grupos é tipicamente realizada por meio da comparação de médias de ingestão com valores de referência de energia e nutrientes (Padovani et al., 2006). Segundo os autores, a recomendação nutricional ainda se baseia em valores de ponto de corte relativos à manifestação de sinais de ingestão insuficiente e à toxicidade do excesso de consumo e, para isso, são utilizados métodos de diversas fontes. Apesar dos métodos apresentarem graus de variabilidade, eles fornecem estimativas seguras para o consumo por grupos populacionais e para a gestão da saúde pública (Padovani et al., 2006).

Para desenvolver o modelo de otimização de distribuição de alimentos, parte-se da premissa de que a solução encontrada deve, entre outras restrições a serem respeitadas, conter alimentos que possibilitem às entidades prepararem refeições com quantidade e teor nutricional suficientes aos grupos atendidos. O teor nutricional deve ainda ser complementado com alimentos das classes de perecíveis e hortifrútiis.

Sendo assim, a recomendação de consumo de macronutrientes *per capita* para possíveis populações atendidas nas entidades cadastradas no BA é apresentada a seguir, na Tabela 3.

Tabela 3: Recomendação de consumo de macronutrientes *per capita*.

Grupo	Carboidrato (g)	Proteína (g)
Crianças (1 a 3 anos)	130	13
Crianças (4 a 8 anos)	130	19
Crianças (9 a 13 anos)	130	34
Homens	130	52-56
Mulheres	130	46
Idosos	130	46-56

Fonte: Adaptado de Padovani et al. (2006).

Constatou-se que não há valores determinados para a recomendação de consumo de gorduras ou lipídios. Sendo assim, esse macronutriente foi desconsiderado na análise.

Identificadas as quantidades de macronutrientes que devem compor a cesta de uma determinada entidade pelo cálculo *per capita*, foram levantadas as informações do tipo e quantidade de alimentos disponíveis em estoque por categoria, sendo a categoria “1” atribuída aos alimentos que vencem em até 30 dias, “2” para os que vencem em até 60 dias e assim sucessivamente, sendo que a última foi dada aos itens com prazo de validade em 12 meses ou mais. Obtidos os dados, criaram-se variáveis correspondentes às decisões quantificáveis: 5 (cinco) alimentos não perecíveis, 12 (doze) categorias referentes aos meses de vencimento e 43 (quarenta e três) entidades receptoras das cestas. Estabelecidas as restrições a que o modelo está sujeito, foi expressa a medida de desempenho do sistema como uma função dessas variáveis de decisão.

4. Modelagem Matemática

O presente modelo matemático foi desenvolvido de forma a atender as restrições nutricionais de 43 entidades e a realizar a distribuição dos alimentos que possuem estoque, buscando minimizar o desperdício. Portanto, a função objetivo que determina a minimização do descarte de alimentos é apresentada na Equação 1.

$$\text{Minimizar } D(x) = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{12} \sum_{k=1}^{43} x_{ijk} L_j \quad (1)$$

Em que:

- $x_{i,j,k}$: variáveis de decisão correspondentes à quantidade do alimento i , que vence no mês j , para cada entidade k , $k \in E = \{1, \dots, 43\}$;
- L_j : coeficiente estimado de perda associado ao mês de vencimento j de um item.

Para determinar que a quantidade total selecionada de cada alimento, com validade em certo mês, não seja maior do que a existente na respectiva categoria de estoque, é dada a Equação 2:

$$\sum_{k=1}^{43} x_{ijk} \leq Bq_{ij} \quad \forall i \in A = \{1, \dots, 5\} \quad \forall j \in M = \{1, \dots, 12\} \quad (2)$$

Onde:

- $Bq_{i,j}$: valores que correspondem à disponibilidade de estoque do alimento i , $i \in A = \{1, \dots, 5\}$, que vence no mês j , $j \in M = \{1, \dots, 12\}$.

Para a modelagem das restrições que estabelecem a necessidade mínima de carboidratos e proteínas que cada cesta de alimentos deve conter, foi utilizada a tabela de composição de macronutrientes e as recomendações de consumo *per capita*, apresentadas respectivamente na Seção 3. Para tanto, as restrições são expressas por:

$$\sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{12} x_{ijk} c_i \geq C_k \quad \forall k \in E = \{1, \dots, 43\} \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{12} x_{ijk} p_i \geq P_k \quad \forall k \in E = \{1, \dots, 43\} \quad (4)$$

Em que:

- c_i : quantidade de carboidrato contida no alimento i ;
- p_i : quantidade de proteína contida no alimento i ;
- C_k : necessidade mínima de carboidratos da cesta k ;
- P_k : necessidade mínima de proteínas da cesta k .

Com o intuito de que o modelo selecionasse para distribuição os alimentos que vencem antes, foram estimados coeficientes de perda associados ao mês de vencimento dos produtos, semelhante a Costa et al. (2014). Em seu estudo, os autores associavam um fator de perda a cada período adicional dos produtos em estoque.

Os coeficientes de perda são associados a cada categoria de estoque dos itens. Quanto mais próximo o alimento está de vencer, menor será o desperdício caso seja incluído na distribuição corrente. Portanto, o modelo prioriza os alimentos do estoque com menor coeficiente, estabelecidos conforme a Tabela 5, para minimizar a função objetivo.

Tabela 5: Vetor de coeficientes de perda estimados.

Vence em (mês)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Peso atribuído	0,08	0,09	0,10	0,11	0,13	0,14	0,17	0,20	0,25	0,33	0,50	1,00

Fonte: os autores.

5. Método

O presente estudo desenvolve uma abordagem quantitativa que, com base no sistema de funcionamento do BA, propõe um modelo matemático de otimização. A abordagem quantitativa permite identificar as variáveis relevantes do problema e formular hipóteses sobre fenômenos e situações, guiada por um método de pesquisa em que se parte de conceitos de referência muito bem estruturados (Dalfovo et al., 2008).

No decorrer da modelagem, o problema apresentou a característica de recursos limitados para atribuição na mesma atividade, configurando o comportamento de um sistema linear e tornando possível a obtenção de uma solução ótima com a aplicação do Método Simplex.

Então, para a execução do modelo, foram utilizadas as quantidades mínimas de carboidratos e proteínas que cada cesta deve conter, a partir do valor *per capita* de alimentos calculado para 43 entidades. Os valores utilizados são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: necessidade total de macronutrientes em kg.

Entidade	Carboidratos	Proteínas	Entidade	Carboidratos	Proteínas
E1	120,37	16,04	E23	16,93	2,27
E2	93,13	12,46	E24	132,68	17,60
E3	20,64	2,64	E25	40,42	5,36
E4	130,42	16,70	E26	112,46	16,06
E5	25,40	3,40	E27	155,62	22,03
E6	157,65	20,37	E28	68,45	9,03
E7	33,87	4,34	E29	84,91	12,10
E8	33,87	4,34	E30	129,20	18,28
E9	33,87	4,34	E31	72,66	9,92

E10	33,87	4,34	E32	92,23	12,60
E11	33,87	4,34	E33	36,25	4,99
E12	33,87	4,34	E34	66,48	9,39
E13	167,02	23,50	E35	77,83	11,10
E14	247,82	33,67	E36	44,07	6,20
E15	92,28	12,35	E37	30,51	4,24
E16	261,96	37,31	E38	14,05	1,99
E17	97,36	13,03	E39	23,49	3,09
E18	88,89	11,89	E40	32,43	4,30
E19	93,54	12,42	E41	12,29	1,64
E20	25,40	3,40	E42	17,39	2,29
E21	2,12	0,28	E43	29,63	3,96
E22	92,48	13,27			

Fonte: os autores.

A Tabela 7 a seguir apresenta também os valores utilizados de disponibilidade de alimentos em estoque, representados nas restrições pelo parâmetro Bq_{ij} , correspondente aos alimentos i nas categorias de vencimento j .

Tabela 7: Matriz de disponibilidade de estoque.

Alimento/mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Arroz	0	0	600	40	0	160	0	880	680	2920	2680	480
Feijão	0	240	200	40	40	520	80	0	0	440	200	920
Macarrão	20	120	350	70	0	0	0	0	0	0	0	0
F^a de trigo	720	360	100	200	80	0	200	0	0	0	0	0
F^a de milho	0	0	650	0	0	580	0	0	100	0	0	0

Fonte: os autores.

Após a validação das informações, foi utilizado para execução do modelo o *solver* IBM-CPLEX.

6. Resultados e Discussões

A resolução do modelo com 2580 variáveis de decisão e 2726 restrições pelo método Simplex permitiu alcançar uma solução aproximada em 68 segundos, tempo computacional julgado eficiente – foi considerado como aceitável uma diferença de 0,1% entre primal e dual. Os resultados encontrados são apresentados na Tabela 8, que exhibe a matriz de solução obtida e representa a quantidade de alimentos selecionada para constituir as 43 cestas.

Tabela 8: Alimentos selecionados pelo modelo (kg).

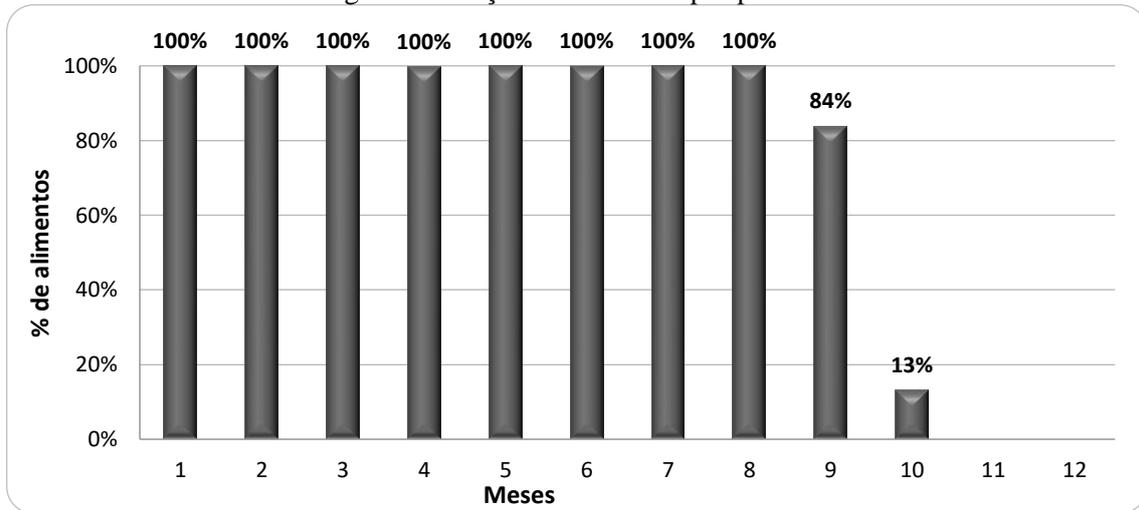
Alimento\vencimento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Arroz	0	0	600	39	0	159	0	880	553	0	0	0	2231
Feijão	0	240	200	40	40	520	80	0	0	440	0	0	1560
Macarrão	20	120	350	70	0	0	0	0	0	0	0	0	560
F^a de trigo	720	360	100	200	80	0	200	0	0	0	0	0	1660
F^a de milho	0	0	650	0	0	580	0	0	100	0	0	0	1330

Fonte: os autores.

A Figura 1 apresenta uma comparação entre os alimentos selecionados para a composição das cestas e o estoque disponível, onde se nota que praticamente 100% dos alimentos que vencem

em até oito meses foram prioritariamente escolhidos pelo modelo. Isso significa que, com a otimização, é possível elaborar as cestas evitando o perecimento do estoque.

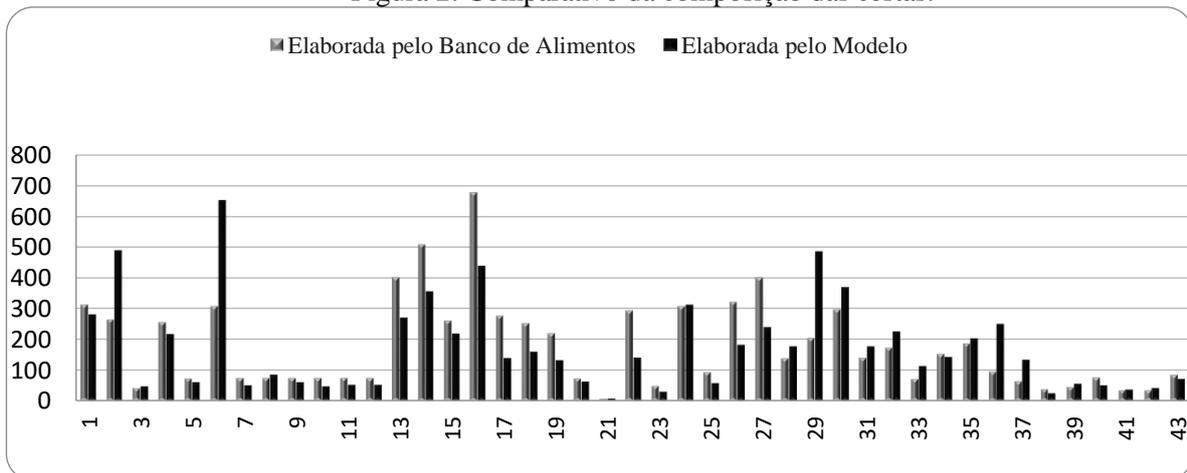
Figura 1: Seleção de alimentos por perecibilidade.



Fonte: os autores.

A solução encontrada pelo modelo indica a quantidade de alimentos em kg que compõe cada cesta. Por isso, uma análise complementar foi realizada a fim de comparar as quantidades encontradas na resolução do modelo com aquelas apresentadas na elaboração das cestas sem o uso da otimização. Foi possível realizar esse comparativo utilizando dados fornecidos pelo BA das cestas distribuídas às entidades em dado mês. Essa análise é apresentada na Figura 2.

Figura 2: Comparativo da composição das cestas.



Fonte: os autores.

Foi constatado que algumas cestas elaboradas pelo modelo contêm uma quantidade maior de alimentos em relação ao distribuído pelo BA. Mas se percebe que, com a otimização, o volume total de alimentos enviado às 43 entidades seria de 7341 kg, em relação aos 7660 kg realizados. Além disso, as cestas otimizadas atendem integralmente às recomendações de consumo de carboidratos e proteínas para as entidades, estabelecidas pelos cálculos *per capita*.

7. Considerações Finais

Bachini e Chicarino (2018) afirmam que nos estudos sociais e políticos há um crescente interesse na utilização de métodos quantitativos e na criação de ferramentas e abordagens para

aplicação da metodologia quantitativa. Em atenção aos fatos, este trabalho visou colaborar com a pesquisa nesta área, uma vez que se verificou escassez de literatura nacional sobre aplicação de modelos de otimização em sistemas de arrecadação e distribuição de alimentos.

Para o desenvolvimento do modelo matemático, todas as variáveis do ambiente de estudo que influenciam na sua funcionalidade foram consideradas. Na avaliação qualitativa do processo do BA de Caxias do Sul, percebeu-se a necessidade de realizar um levantamento bibliográfico das propriedades nutricionais dos alimentos e da recomendação de consumo *per capita*, a fim de entender as necessidades das entidades e dos grupos atendidos e fundamentar a construção das variáveis que compõem o modelo.

O desenvolvimento do modelo de otimização evidenciou que a incorporação da ferramenta no processo de distribuição de alimentos do BA resulta em cerca de 100% de aproveitamento dos produtos não perecíveis que vencem em até 8 meses, sendo essa uma indispensável característica a considerar para o controle de desperdício dos alimentos armazenados. Ademais, os resultados demonstram que as quantidades de alimentos selecionadas para envio às entidades garantem a quantidade mínima de macronutrientes *per capita* e se assemelham com o cenário real de operação da instituição. A garantia das necessidades alimentares e nutricionais da população que conta com os serviços de assistência social promove a superação do estado de vulnerabilidade causado pela fome, o que reforça a importância do emprego dessas restrições no modelo. Com o emprego dos conceitos da Pesquisa Operacional e a aplicação de programação linear, se visualizam os benefícios que a modelagem matemática promove em organizações de cunho social.

O problema estudado propicia a inclusão de outros elementos na modelagem. Variáveis estocásticas, correspondentes à quantidade de alimentos arrecadados mensalmente, possibilitariam uma variação de soluções de acordo com o tipo e volume de produtos recebidos de doações. A fim de evitar rupturas no estoque de alimentos que poderiam ser ocasionadas pela quantidade selecionada para envio das cestas ser igual ao total armazenado do item, sugere-se ainda, como perspectiva futura de estudo, a inclusão de restrições de balanceamento de estoque que correspondam à respectiva política do Banco. A instância do problema também poderia ser aumentada, se incluídos, além dos alimentos do estoque de arrecadação, os alimentos do estoque do Programa de Aquisição. Nesse caso, a modelagem poderia incorporar a minimização dos custos dos alimentos comprados para as entidades atendidas por esse outro projeto. Ainda, para a complementação deste trabalho, um estudo conjunto a órgãos de saúde ampliaria o número de nutrientes incluídos na modelagem, e assim, permitiria também a inclusão de alimentos perecíveis e hortifrúteis na composição das cestas. Dessa forma, o modelo incorporaria restrições de capacidade de estocagem em intervalos menores de tempo e a minimização do descarte de alimentos ocorreria também nessas classes.

Referências

Alkaabneh, F., Diabat, A. e Gao, H. O. Unified framework for efficient, effective, and fair resource allocation by food banks using an Approximate Dynamic Programming approach. *Omega*, v. 100, 102300, 2021.

Bachini, N. e Chicarino, T. S. Os métodos quantitativos, por cientistas sociais brasileiros: entrevistas com Nelson do Valle Silva e Jerônimo Muniz. *Revista Sociedade e Estado*, v. 33, n. 1, p. 253-281, 2018.

Belo Filho, M. A. F. *Lot sizing with setup carryover and crossover*. 154 f. Tese (Doutorado em Ciências de Computação e Matemática Computacional) – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos-SP, 2014.

Bezerra, T. A., Olinda, R. A. e Pedraza, D. F. Insegurança alimentar no Brasil segundo diferentes cenários sociodemográficos. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 22, n. 2, p. 637-651, 2017.

Caixeta-Filho, J. V., *Pesquisa Operacional: Técnicas de otimização aplicadas a sistemas agroindustriais*. São Paulo: Editora Atlas, 2011.

Câmara dos Deputados de Brasília. *Perdas e desperdício de alimentos: estratégias para redução*. 2018. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/a-camara/estruturaadm/altosestudios/pdf/perdas-e-desperdicio-de-alimentos-no-brasil-estrategias-para-reducao>. Acesso em: 24/06/2020.

Corso, L. L. e Wallace, M. A hybrid method for transportation with stochastic demand. *International Journal of Logistics Research and Applications*, v. 18, n. 4, p. 342-354, 2015.

Costa, A. M., Santos, L. M. R., Alem, D. J. e Santos, R. H. S. Sustainable vegetable crop supply problem with perishable stock. *Annals of Operations Research*, v. 219, p. 265-283, 2014.

Dalfovo, M. S., Lana, R. A. e Silveira, A. Métodos quantitativos e qualitativos: um resgate teórico. *Revista Interdisciplinar Científica Aplicada*, v. 2, n. 4, p. 1-13, 2008.

Gasparini, M. F. V. e Furtado, J. P. Avaliação de programas e serviços sociais no Brasil: uma análise das práticas no contexto atual. *Revista de Serviço Social e Sociedade*, v. 117, p. 122-141, 2014.

MDSA - Ministério do Desenvolvimento Social e Agrário. *Bancos de alimentos reduzem e previnem perdas e desperdícios de produtos*. 2016. Disponível em: http://www.mds.gov.br/webarquivos/sala_de_imprensa/boletins/release/2016/novembro/22112016_boletim_banco_alimentos.html. Acesso em: 11/03/2017.

Middleton, G., Mehta, K., McNaughton, D. e Booth, S. The experiences and perceptions of food banks amongst users in high-income countries: An international scoping review. *Appetite*, v. 120, p. 698-708, 2018.

NEPA - Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação. *Tabela brasileira de composição de alimentos – TACO 4ª edição revisada e ampliada*. 2011. Disponível em: http://www.nepa.unicamp.br/taco/contar/taco_4_edicao_ampliada_e_revisada.pdf?arquivo=taco_4_versao_ampliada_e_revisada.pdf. Acesso em: 28/03/2018.

Orgut, I. S., Ivy, J. S., Uzsoy, R. e Hale, C. Robust optimization approaches for the equitable and effective distribution of donated food. *European Journal of Operational Research*, v. 269, n. 2, p. 516-531, 2018.

Ortuño, J. C. e Padilla, A. G. Assembly of customized food pantries in a food bank by fuzzy optimization. *Journal of Industrial Engineering and Management*, v. 10, n. 4, p. 663-686, 2017.

Padovani, R. M., Amaya-Farfán, J., Colugnati, F. A. B. e Domene, S. M. A. Dietary reference intakes: aplicabilidade das tabelas em estudos nutricionais. *Revista de Nutrição*, v. 19, n. 6, p. 741-760, 2006.

Rong, A., Akkerman, R. e Grunow, M. An optimization approach for managing fresh food quality throughout the supply chain. *International Journal of Production Economics*, v. 131, n. 1, p. 421-429, 2011.

Tarasuk, V., Dachner, N., Hamelin, A.-M., Ostry, A., Williams, P., Bosckei, E. et al. A survey of food bank operations in five Canadian cities. *BMC Public Health*, v. 14, 1234, 2014. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-14-1234>.