



ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 3/2022

ÂNGELO DE CARVALHO PAULINO, Cap Int

**Otimização Computacional aplicada à geração automática de cardápios de
Ração Operacional em situações de contingências**

Rio de Janeiro
2022

ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 3/2022

ÂNGELO DE CARVALHO PAULINO, Cap Int

**Otimização Computacional aplicada à geração automática de cardápios de
Ração Operacional em situações de contingências**

Trabalho de conclusão de curso apresentado no Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica como requisito parcial para aprovação no Curso de Pós-graduação *Lato Sensu* em Liderança com Ênfase em Gestão no COMAER.

Linha de Pesquisa: Ciência, Tecnologia e Inovação

Orientador: Carlos Eduardo José da Silva,
Maj Esp Av

Rio de Janeiro

2022

ÂNGELO DE CARVALHO PAULINO, Cap Int

**Otimização Computacional aplicada à geração automática de cardápios de
Ração Operacional em situações de contingências**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
no Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da
Aeronáutica.

Aprovado por:

Renan Antunes, Ten Cel Inf
EAOAR

Carlos Eduardo José da Silva, Maj Esp Av
EAOAR

Rio de Janeiro

2022

RESUMO

A alimentação de tropas militares envolve certas peculiaridades. Para prover alimentação — enquanto sustentação ao poder combativo da tropa — em situações em que não é possível o fornecimento por vias convencionais, são empregadas as Rações Operacionais. Contudo, em situações de conflito, calamidades públicas ou condições climáticas adversas, redes logísticas e cadeias de suprimento podem ser afetadas, prejudicando o acesso a alguns gêneros alimentícios necessários para a fabricação das Rações. Logo, questiona-se: como gerar cardápios viáveis e nutricionalmente adequados para as Rações Operacionais que considerem o contexto dos alimentos disponíveis em situações de contingência, de forma rápida e oportuna, sem elevar custos? Este trabalho propõe que o uso do *software* LOF-MH, desenvolvido pela FAB, irá gerar tempestivamente cardápios que lidem com a escassez dos insumos, a custos reduzidos, pois permite que cardápios sejam automaticamente gerados em questão de microssegundos, mediante um modelamento matemático que respeita as necessidades mínimas de ingestão de macro e micronutrientes, considerando o contexto dos gêneros alimentícios disponíveis. Adicionalmente, o modelo é construído na forma de um problema de otimização que prioriza o custo de produção dos cardápios como fator de decisão, favorecendo a obtenção de cardápios cada vez mais baratos, sem prejuízos nutricionais. Por fim, este trabalho contribui para o robustecimento do processo de definição dos cardápios das Rações, de modo que a FAB seja mais resiliente a interferências que afetem redes logísticas e cadeias de suprimento, em situações adversas, o que trará maior capacidade combativa e, finalmente, um maior poder dissuasório à Força.

Palavras-chave: Ração Operacional. Otimização Computacional. *Framework*. Situação de Contingência.

1 CONTINGENCIAMENTO DE INSUMOS PARA RAÇÕES OPERACIONAIS

Considerando as peculiaridades da necessidade de alimentação de tropas militares, sabe-se que nem sempre será possível o comparecimento de dada tropa ou fração à Seção de Subsistência de uma Organização Militar, ou mesmo a uma Unidade Celular de Intendência (SILVA, 2011). Para prover alimentação — enquanto sustentação ao poder combativo da tropa — em situações em que não é possível o fornecimento por vias convencionais, são empregadas as Rações Operacionais (BARROS; KOGLIN, 2022; SILVA, 2011).

As Rações Operacionais são destinadas ao uso por tripulantes e passageiros em todas as missões da Força Aérea, bem como por tropas terrestres em suas operações e exercícios de campanha (BRASIL, 2005). Os cardápios que compõem cada tipo de Ração são predefinidos com base em normas e em processos de aquisição específicos (BARROS; KOGLIN, 2022; SILVA, 2015). Porém, em situações de conflito, calamidades públicas ou condições climáticas adversas, redes logísticas e cadeias de suprimento podem ser afetadas, fazendo com que o acesso a gêneros alimentícios necessários para a fabricação das Rações seja um problema.

Para tratar os mais diversos tipos de problemas, encontra-se na literatura o amplo uso de Ferramentas de Otimização Computacional, o que, naturalmente, inclui a questão alimentar: desde a alimentação de bovinos (GABRIEL; GABRIEL FILHO; VIAIS NETO, 2012; LUNKES, 2018) até modernas técnicas de processamento de alimentos utilizadas na indústria alimentícia (LI; LI, 2022; SINNOTT; HARRISON; CLEARY, 2021). Dentre as ferramentas disponíveis, figura o *LEV Optimization Framework* (LOF-MH), desenvolvido pela FAB (SABA, 2017).

Diante de tais fatos, suscita-se, então, um tema de grande relevância: como gerar cardápios viáveis e nutricionalmente adequados para as Rações Operacionais que considerem o contexto dos alimentos disponíveis em situações de contingência, de forma rápida e oportuna, sem elevar custos? Este trabalho propõe que o uso do software LOF-MH irá gerar tempestivamente cardápios que lidem com a escassez dos insumos, a custos reduzidos.

Tal proposição é defensável em virtude de que o *software* LOF-MH permite um modelamento matemático da montagem de cardápios que viabiliza uma rápida e oportuna geração de cardápios para Rações Operacionais com os gêneros alimentícios que se encontrem disponíveis e, ainda, respeita as necessidades

mínimas de ingestão de carboidratos, proteínas, lipídios, vitaminas e minerais.

Ao mesmo tempo, a tese sustenta-se no fato de que o modelo em questão é construído na forma de um problema mono-objetivo que considera o custo de produção dos cardápios sugeridos como fator de decisão, tendo como a melhor solução aquela que minimiza o preço do cardápio a cada iteração do processo de busca — sem prejuízos nutricionais.

2 OTIMIZAÇÃO COMPUTACIONAL DE CARDÁPIOS

A Doutrina de Alimentação e Nutrição (MD42-M-05), do Ministério da Defesa, prima pela “obtenção da excelência da alimentação militar e da otimização dos recursos alimentares no País, em consonância com a cultura alimentar regional e com os princípios científicos e tecnológicos das Ciências dos Alimentos e da Nutrição” (BRASIL, 2018, p. 13), considerando as recomendações das comunidades científicas, inclusive no que diz respeito às Rações Operacionais.

Ainda, é mister que se adotem “cardápios balanceados, variados, saudáveis e seguros como instrumento de manutenção da saúde dos militares, uma vez que uma boa nutrição representa a primeira linha de defesa para o combate a doenças” (BRASIL, 2018, p. 17). Já o Manual de Alimentação das Forças Armadas (MD42-M-03) legisla: “as refeições devem estar alicerçadas em três preceitos: variedade na seleção dos alimentos, proporcionalidade e moderação” (BRASIL, 2010, p. 29).

Ademais, Botelho et al. (2014) esclarecem que é necessária uma alimentação com uma provisão diferenciada de calorias e nutrientes para apoio físico e mental aos militares que são submetidos a um nível aumentado de esforço físico — sobretudo em situações adversas — para o bom desempenho de suas atividades.

Destarte, tendo em vista o atendimento às normas que doutrinam os aspectos relativos à alimentação de tropas, vê-se que diversos fatores devem ser atendidos para a definição de cardápios, o que demanda tempo, atenção e conhecimento técnico do planejador, enquanto profissional qualificado para tal (SILVA, 2011).

Contudo, em uma situação de contingência, fatores como urgência e indisponibilidade de gêneros alimentícios podem trazer severas complicações à qualidade e à viabilidade da elaboração tempestiva de tais cardápios, tanto do ponto de vista do replanejamento de alimentos substitutivos, quanto do custo praticado no mercado sob a influência da contingência em questão, sendo oportuna a utilização de ferramentas computacionais em auxílio ao processo de geração de cardápios.

Problemas de montagem de cardápios já vêm sendo tratados no meio científico a partir da Segunda Guerra Mundial para planejar refeições a preços acessíveis para o Exército e para a Força Aérea dos Estados Unidos da América, como se vê em (DOOREN, 2018). Tal trabalho faz uma revisão de literatura em que se demonstra o uso das Programações Linear e Quadrática para a montagem de cardápios que atendam aos requisitos nutricionais, enquanto reduzem os custos.

Bas (2014), por sua vez, introduz a aplicação de uma otimização robusta, que considera um vetor de incertezas, para realizar a montagem de cardápios considerando a redução do índice glicêmico como principal fator de decisão. Por fim, Babalola, Ojokoh e Odili (2020) trazem uma breve revisão da literatura, comparando o desempenho de quatro algoritmos em gerar cardápios viáveis e concluindo que um método chamado *Particle Swarm Optimization* apresentou desempenho superior.

Algumas das ferramentas de otimização empregadas nos trabalhos mencionados acima estão integradas ao *software* LOF-MH, desenvolvido por Saba (2017), no Instituto de Estudos Avançados (IEAv), organização subordinada ao Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA). Assim, diante do exposto, o LOF-MH pode ser empregado para tratar o problema da Otimização de Cardápios, conforme se discute a seguir.

2.1 Geração rápida e tempestiva de cardápios viáveis

De acordo com Saba (2017), um problema de otimização pode ser modelado na forma de uma função objetivo (custo do cardápio), que resulta da combinação de variáveis de decisão (combinação de alimentos), sujeita a algumas restrições (fatores nutricionais). Em outras palavras, o custo de cada solução-tentativa (cardápio) é obtido em função dos alimentos que o compõem (variáveis de decisão).

Tendo em vista as questões norteadoras para o estabelecimento de cardápios a serem consumidos pela tropa, Brasil (2010) traz, em seu Anexo B, tabelas contendo recomendações nutricionais para as diversas faixas etárias, no que tange a macronutrientes (carboidratos, proteínas e lipídios) e micronutrientes (vitaminas hidrossolúveis ou lipossolúveis e minerais).

A título de exemplo — no sentido de oferecer ao leitor a compreensão das restrições que serão impostas ao problema de otimização de cardápios — a necessidade nutricional de macronutrientes de homens da faixa etária de 19 a 50 anos, que representam a maior parte do Efetivo ativo da Força, foi estabelecida

como se segue (em gramas/dia): 130g/d de carboidratos; 38g/d de fibras totais; 17g/d de ácido linoleico ($\omega 6$); 1,6g/d de ácido linolênico ($\omega 3$); e 56g/d de proteínas (BRASIL, 2010). O mesmo princípio vale para os micronutrientes.

Adicionalmente às determinações da norma MD42-M-03, Brasil (2005) estabelece como restrição uma faixa de valor calórico para cada tipo de Ração Operacional. Em razão da situação-problema levantada, foi escolhida para este estudo a Ração de Combate do tipo “R2-A”. Esta Ração visa alimentar um homem durante 24 horas, a ser utilizada em “combates, deslocamentos, marchas ou exercícios de longa duração, quando a situação tática não permitir o emprego da Ração Normal” (BRASIL, 2005, p. 9), isto é, da alimentação servida nos Ranchos.

Uma outra restrição diz respeito ao valor calórico da Ração em questão, que deve variar entre 3.000KCal e 3.600KCal. Assim, considerando que a norma MD42-M-03 estima que “desjejum, almoço e jantar devem, respectivamente, fornecer 15%, 45% e 40% do valor calórico total, ou seja, da quantidade de calorias necessárias para 24 horas” (BRASIL, 2010, p. 43), pode-se calcular os limites inferior e superior de calorias para cada refeição: 450KCal a 540KCal para o desjejum, 1350KCal a 1620KCal para o almoço e 1200KCal a 1440KCal para o jantar.

O *software* LOF-MH permite um modelamento matemático da montagem de cardápios na forma de uma combinação de alimentos possíveis, sujeito a restrições como, por exemplo, as faixas de valores calóricos previstas para cada refeição das Rações, conforme explanado acima. Tais restrições contemplam, ainda, as necessidades mínimas de ingestão de carboidratos, proteínas, lipídios, vitaminas e minerais, bem como os gêneros alimentícios que porventura estejam indisponíveis.

Uma vez corretamente construído o modelo, este passa a ser tratado pela máquina de cálculo do LOF-MH durante o processo de busca das melhores soluções (SABA, 2017). Então, as ferramentas de otimização integradas que foram escolhidas para tratar o problema entram em cena a fim de oferecer automaticamente soluções-tentativa (cardápios) que se adéquem às restrições estabelecidas — sem a necessidade de um operador humano — a cada iteração do ciclo de otimização.

Ainda, dada a natureza predominantemente linear do problema da montagem de cardápios (DOOREN, 2018), o LOF-MH é capaz de apresentar soluções viáveis com um consumo estimado de tempo da ordem de microssegundos (SABA, 2017). Além disso, o *software* traz implementados avançados recursos de paralelismo, o que permitiria que se aumentasse a complexidade dos cardápios (por exemplo,

umentando a variedade de alimentos possíveis para a montagem do cardápio) sem, contudo, prejudicar o desempenho, em termos de tempo, para obter as soluções.

Por conseguinte, o *software* LOF-MH pode facilmente lidar com o problema da indisponibilidade de determinados insumos na medida em que pode propor, de forma automática, rápida e oportuna, uma inumerável quantidade de cardápios viáveis e nutricionalmente adequados em que se evite o uso de insumos contingenciados.

2.2 Redução no custo de produção

O modelo matemático da montagem de cardápios é construído na forma de um problema mono-objetivo que considera o custo de produção dos cardápios sugeridos como fator de decisão (BAS, 2014; HRETCANU; HRETCANU, 2017), de modo a contabilizar individualmente o preço com base na quantidade de cada alimento que integrará o cardápio. Assim, o processo busca a minimização do preço total a cada iteração do ciclo de otimização — sem prejuízos nutricionais.

Como exemplo, um cardápio A (arroz, **lentilha**, **carne** e salada) pode apresentar uma combinação de alimentos que seja equivalente, em termos nutricionais, ao cardápio B (arroz, **feijão**, **frango** e salada). Porém, os custos individuais de cada alimento, em função de sua quantidade, podem diferir, o que importará em uma diferença de preço final entre os cardápios. O LOF-MH realizará essa comparação e escolherá a opção que se mostrar menos custosa.

Ou seja, a cada iteração são avaliadas e comparadas diversas soluções-tentativa, cada uma com sua própria combinação e quantidade de alimentos, tendo como a melhor solução aquela que minimiza o preço do cardápio. O LOF-MH, então, registra as melhores soluções conhecidas para manter um controle das que possam, potencialmente, ser as soluções mais baratas de todo o espaço de buscas, e realiza um novo ciclo, tantas vezes quantas forem necessárias, conforme determinado pelo operador (SABA, 2017).

Nessa avaliação, os cardápios de soluções-tentativa que não respeitam as restrições de fatores energéticos, nutricionais ou de disponibilidade de gêneros alimentícios são imediatamente eliminados do processo de busca, e os demais são classificados e ordenados em termos do menor preço obtido. O LOF-MH irá, a seguir, realizar uma nova iteração do ciclo gerando novas soluções-tentativa em regiões promissoras do espaço de busca, baseadas nos melhores cardápios previamente obtidos (BABALOLA; OJOKOH; ODILI, 2020; SABA, 2017).

Ainda, devido ao caráter estocástico da metodologia utilizada pelo LOF-MH, a cada vez que o *software* for executado pode-se achar uma solução ótima diferente da anterior (SABA, 2017). Nesse sentido, em se tratando de cardápios, podem ser obtidas opções muito diferentes uma da outra, mas que atendam aos requisitos nutricionais e apresentem custos reduzidos. Isso possibilita que diversos “cardápios ótimos” sejam encontrados, de modo a evitar-se a monotonia alimentar.

Dessa forma, posto que as soluções encontradas são tão melhores quanto menor for o preço do cardápio, o uso do *software* LOF-MH viabilizará uma economia no processo de aquisição de Rações Operacionais. Subsidiariamente, as restrições são estabelecidas de tal forma que tanto se respeitam as necessidades nutricionais, quanto são eliminados cardápios que porventura incluam alimentos contingenciados, obtendo-se apenas cardápios variados, viáveis e a custos reduzidos.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme exposto, o *software* LOF-MH permite que cardápios para Rações Operacionais sejam gerados de forma rápida — da ordem de microssegundos — e oportuna, mediante um modelamento matemático da montagem de cardápios que respeita as necessidades mínimas de ingestão de macro e micronutrientes, levando em consideração os gêneros alimentícios que se encontrem disponíveis.

Adicionalmente, o modelo utilizado é construído na forma de um problema de otimização mono-objetivo que prioriza o custo de produção dos cardápios sugeridos como fator de decisão, favorecendo a obtenção de cardápios mais baratos a cada nova iteração do processo de busca, sem prejuízos nutricionais.

Portanto, em atendimento às regulações emanadas pelo Ministério da Defesa relativas a Rações Operacionais, o uso do *software* de Otimização Computacional LOF-MH, desenvolvido pela FAB, irá gerar tempestivamente cardápios que lidem com a escassez dos insumos, a custos reduzidos.

Por fim, este trabalho contribui para o robustecimento do processo de definição dos cardápios das Rações, de modo que a FAB seja mais resiliente a interferências que afetem redes logísticas e cadeias de suprimento, em situações de conflito, calamidades públicas ou condições climáticas adversas, o que trará maior capacidade combativa e, em última instância, um maior poder dissuasório à Força.

REFERÊNCIAS

- BABALOLA, A. E.; OJOKOH, B. A.; ODILI, J. B. Diet Optimization Techniques: A Review. In: 2020 INTERNATIONAL CONFERENCE IN MATHEMATICS, COMPUTER ENGINEERING AND COMPUTER SCIENCE (ICMCECS), 2020, [s. l.]. **Anais [...]**. [s. l.]: IEEE, 2020. p. 1–5. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9077606/>. Acesso em: 21 set. 2022.
- BARROS, P. A. C. Z.; KOGLIN, G. Ração Operacional de Combate do Exército Brasileiro: Uma Análise Nutricional. **Saúde e Desenvolvimento Humano**, [s. l.], v. 10, n. 2, 2022. Disponível em: https://revistas.unilasalle.edu.br/index.php/saude_desenvolvimento/article/view/7825. Acesso em: 21 set. 2022.
- BAS, E. A robust optimization approach to diet problem with overall glycemic load as objective function. **Applied Mathematical Modelling**, [s. l.], v. 38, n. 19–20, p. 4926–4940, 2014.
- BOTELHO, R.; AVENA, F.; VERAS, M.; ZANDONADI, R. Nutritional adequacy of meals offered and consumed by soldiers of the Brazilian Army. **Revista de Nutrição**, v. 27, n. 2, p. 229-239, 2014.
- BRASIL. Comando da Aeronáutica. Diretoria de Intendência. Portaria nº 031/DIRINT, de 26 de outubro de 2005. Aprova a reedição da instrução que disciplina o planejamento de Rações Operacionais do Comando da Aeronáutica (ICA 145-5). **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 205, f. 6687, 01 nov. 2005.
- BRASIL. Ministério da Defesa. Gabinete do Ministro. Portaria Normativa nº 13/MD, de 23 de março de 2018. Aprova a Doutrina de Alimentação e Nutrição (MD42-M-05). **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 60, p. 46, 28 mar. 2018.
- BRASIL. Ministério da Defesa. Gabinete do Ministro. Portaria Normativa nº 219/MD, de 12 de fevereiro de 2010. Aprova o Manual de Alimentação das Forças Armadas (MD42-M-03). **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 31, p. 11, 17 fev. 2010.
- DOOREN, C. V. A Review of the Use of Linear Programming to Optimize Diets, Nutritiously, Economically and Environmentally. **Frontiers in Nutrition**, [s. l.], v. 5, p. 48, 2018.
- GABRIEL, C. P. C.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; VIAIS NETO, D. dos S. Aplicação da Pesquisa Operacional avaliação de formulações de ração para bovinos em confinamento utilizando o software LINGO. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, [s. l.], v. 8, n. 7, p. 160–169, 2012. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/137304>. Acesso em: 21 set. 2022.
- HRETCANU, C.-E.; HRETCANU, C.-I. A Linear Programming model for a diet problem. **Food and Environment Safety Journal**, [s. l.], v. 9, n. 1, 2017. Disponível em: <http://fens.usv.ro/index.php/FENS/article/view/394>. Acesso em: 21 set. 2022.

LI, M.; LI, S. Research on Optimization of Food Industry Processing Process Based on Computational Intelligence. **Wireless Communications and Mobile Computing**, [s. l.], v. 2022, 2022.

LUNKES, S. A. **Formulação de dieta de mínimo custo para gado leiteiro utilizando a programação linear**: estudo de caso em uma propriedade do oeste do Paraná. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, PR, 2018. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br:8080/jspui/handle/1/12739>. Acesso em: 21 set. 2022.

SABA, W. B. **Framework de otimização baseada em metaheurísticas**. 2017. Dissertação (Mestrado em Física e Matemática Aplicadas) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, SP, 2017.

SILVA, D. L. **Caracterização das Rações Operacionais das Três Forças Armadas Brasileiras**. 2015. Monografia (Bacharelado em Nutrição) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2015.

SILVA, M. **Unificação na produção da ração operacional para as Forças Armadas**: uma proposta de integração. 2011. Monografia (Curso de Altos Estudos de Política e Estratégia) - Escola Superior de Guerra, Rio de Janeiro, RJ, 2011.

SINNOTT, M. D.; HARRISON, S. M.; CLEARY, P. W. A particle-based modelling approach to food processing operations. **Food and Bioproducts Processing**, [s. l.], v. 127, p. 14–57, 2021.