



Planejamento de dietas para restaurantes universitários utilizando programação linear inteira e programação por metas

Camila Clivati Justus (UTFPR) milajustus@hotmail.com
Marcia Danieli Szeremeta Spak (UTFPR) marciaspak@yahoo.com.br
João Carlos Colmenero (UTFPR) colmenero@utfpr.edu.br

Resumo: A crescente preocupação com a alimentação dos estudantes aliada ao crescimento de problemas de saúde se tornou motivo para a criação de novos métodos que avaliam e intercedem no comportamento dos jovens a fim de se obter uma rotina alimentar mais saudável. Tendo em vista esta situação, o presente trabalho desenvolveu dois modelos matemáticos, utilizando programação linear inteira e programação por metas para selecionar cardápios servidos em restaurantes universitários que atendam as exigências nutricionais dos estudantes a um baixo custo, considerando os alimentos disponíveis na região em que o RU se encontra. Diante dos modelos apresentados, foram obtidas duas soluções que obedeceram as restrições e metas estipuladas. Conclui-se que a programação matemática utilizada para problemas de dieta traz resultados satisfatórios, tendo em vista que o custo das refeições obtidas foi relativamente viável aos estudantes.

Palavras chave: restaurante universitário; modelagem matemática; dieta

Diet planning to university restaurants using integer linear programming and goal programming

Abstract: The growing concern about students alimentation together with growth of health problems has become a reason for the creation of new methods which evaluate and intercede in the youth behavior in order to get a healthier food routine. In view of this situation, the present paper developed two mathematical models using the linear programming and the goal programming to select menus served in university restaurants, and which satisfy the students nutritional requirements in a low cost, considering the available food in the region where the university restaurant is localized. Facing the presented models, two solutions which obeyed the restrictions and goals stipulated were gotten. It can be concluded that the mathematical programming used in diet problems brings satisfactory results, in view of the cost of meals obtained was relatively viable for students.

Key-words: university restaurant; mathematical modeling; diet

1 Introdução

O contexto de globalização e desenvolvimento dos mercados consumidores fez com que o estilo de vida da população fosse alterado, acarretando em um crescimento do consumo de refeições fora do domicílio, e influenciando assim diretamente na mudança dos hábitos alimentares (BLEIL, 1998).

Estudos vêm sendo desenvolvidos buscando identificar as consequências dessas alterações alimentares nas várias fases do crescimento humano. Entre eles, a preferência alimentar dos jovens universitários. Segundo Borges e Filho (2004) as preferências, hábitos e costumes alimentares são definidos durante a transição para a fase adulta, período em que os jovens estão ingressando nos cursos superiores. Nessa fase os estudantes sofrem mudanças comportamentais, sociais e psicológicas, adquirindo assim senso crítico para decidir o que comer. Por outro lado, estão expostos e propensos a consumir refeições altamente calóricas compostas por alimentos de baixo valor nutricional e passando a se alimentar rapidamente, substituindo refeições completas por lanches (KRESIC *et al.*, 2008; OSSUCCI, 2008).

A aquisição de tais hábitos alimentares ocorre na fase final do crescimento e desenvolvimento estrutural humano, onde a alimentação compõe um dos fatores essenciais para a manutenção da saúde e da qualidade de vida na fase adulta e idosa. Essa preocupação tem sido motivo para a criação de novas políticas e métodos para medir e intervir no comportamento alimentar dos jovens em busca de uma rotina saudável (AVELIGANO, 1999).

Os jovens universitários comumente migram entre regiões para se dedicar aos estudos, e desta forma expõem-se a refeições de baixo valor nutricional através da ingestão de alimentos de fácil preparo como pratos congelados e alimentos industrializados, ou pela prática das suas refeições em cantinas de universidades. Segundo Oliveira *et al.* (2005) esses locais em geral fornecem refeições simples com excesso de energia e carboidratos com uma composição nutricional inadequada para os estudantes. Para adequar as refeições ao perfil dos usuários que as consomem, é necessária a realização de ajustes na composição das mesmas.

O fornecimento de refeições que supram as necessidades nutricionais dos estudantes é uma responsabilidade da administração dos restaurantes (CONNORS & SIMPSON, 2004). Os restaurantes universitários (RUs) devem servir refeições balanceadas de acordo com as necessidades nutricionais dos estudantes, apresentar cardápios diversificados quanto aos gêneros alimentícios, produzir refeições isentas de riscos de contaminação, e fornecer alimentos de aceitação pelo usuário a um preço condizente com o orçamento dos acadêmicos (OLIVEIRA *et al.*, 2005). Em muitos casos, a atenção desses estabelecimentos é voltada principalmente para o fator custo, impossibilitando assim a oferta de refeições nutritivas, interferindo no desenvolvimento de uma alimentação saudável aos estudantes.

Nesse contexto, o presente trabalho tem por objetivo elaborar modelos matemáticos para o desenvolvimento de cardápios para restaurantes universitários de modo a atender as exigências nutricionais requeridas para estudantes universitários a um custo mínimo.

2 Revisão Bibliográfica

A alimentação é um fator primordial para a sobrevivência humana, além de ser fundamental possui algumas características, onde a não observância das mesmas pode influenciar negativamente no desenvolvimento do indivíduo. Uma dieta saudável deve atender entre outros requisitos o fornecimento de refeições adequadas, considerando os aspectos nutricionais, higiênicos, sanitários, bem como os custos de sua elaboração.

Uma solução alternativa e simplificada de elaborar dietas balanceadas que satisfaçam um conjunto de restrições nutricionais imposto para uma determinada população é através da

modelagem matemática. Para Sklan e Dariel (1993), a utilização de modelos matemáticos permite excluir os alimentos que não satisfazem as exigências nutricionais mínimas e máximas requeridas no programa, fazendo então a substituição destes alimentos por outros que atendem aos requisitos dados.

Namen e Bornstein (2004) estudaram o problema clássico da dieta, inicialmente proposto na década de 1940 por George Stigler e posteriormente solucionado por George Dantzig em 1963 através da utilização da programação linear. Lancaster (1992) afirma ainda que o problema foi reformulado por Victor Smith em 1963 e Joseph Balinfty em 1964.

A modelagem através da programação linear permite obter um planejamento de dietas a um custo reduzido, todavia, muitas vezes o modelo não obtém soluções viáveis e que satisfaçam todas as restrições nutricionais. É necessário então eliminar algumas restrições do problema para que uma solução viável seja encontrada. Outra técnica utilizada na elaboração de dietas é a programação linear inteira mista, a qual permite que sejam inseridos no programa os valores dos custos fixos e dos custos variáveis (SKLAN & DARIEL, 1993).

Diante da dificuldade de encontrar soluções viáveis por meio da técnica de programação linear, Anderson e Earle (1983) propõem a otimização de dietas balanceadas via programação de metas, a qual permite estabelecer múltiplos objetivos, expressos como metas a serem atingidas. Esta técnica possui como característica da função objetivo a minimização dos desvios das metas (COSTA, 2005).

Muitos autores utilizam técnicas de programação matemática para formular dietas para seres humanos. Lancaster *et al.* (1992) formularam modelos de dietas para adultos com o intuito de atender suas exigências nutricionais a um custo reduzido. Gedrich *et al.* (1999) empregaram a abordagem *fuzzy* para sugerir modelos de dietas que auxiliam a reeducação alimentar de pessoas adultas. Briend *et al.* (2001) utilizaram a programação linear para reduzir o custo das refeições complementares de crianças, com a finalidade de atender as exigências nutricionais impostas para esta faixa etária. A técnica de programação linear também foi empregada por Colavita e D'Orsi (1990) para formular modelo para crianças a um baixo custo.

O problema da dieta não é restrito apenas para os humanos. Em seu estudo, Munford (1996) demonstrou que a utilização da programação linear para formular rações de animais e determinar o custo mínimo de refeições para ruminantes permitiu uma fácil entendimento e uma simples resolução destes problemas. Cadenas *et al.* (2004) empregaram a abordagem *fuzzy* para propor refeições de gado com baixo custo nas fazendas argentinas. A programação linear foi utilizada por Ritchie (1988) para determinar uma dieta ótima para esquilos colombianos de vida livre e também, empregada por Nolet (1995) para formular refeições de castores. Por fim, Shearer (1995) elaborou refeições ideais para peixes através de modelagem fatorial.

3 Metodologia

A partir dos conceitos apresentados, foi elaborada uma proposta de refeições para os RUs com o objetivo de suprir as exigências nutricionais dos alunos através da utilização de dois modelos de programação matemática. Para a elaboração dos modelos, consideraram-se três tipos de dados: (a) tipos de alimentos e suas respectivas características nutricionais, (b) valores nutricionais recomendados aos jovens adultos e (c) custos dos alimentos.

Foram utilizados os alimentos comumente servidos na culinária local e disponíveis anualmente, em todas as estações. Tais alimentos foram classificados em seis grupos, conforme suas características similares (ANVISA, 2005). Dentro dos grupos estipulados foi definido o tamanho médio da porção de cada alimento com base no consumo médio dos

mesmos nas refeições dos estudantes. O Quadro 1 ilustra os alimentos organizados em seus respectivos grupos e categorias, bem como o tamanho das porções de cada alimento.

Grupo	Categoria	No.	Alimentos	Massa (g)
1	arroz	1	Arroz tipo 1 cozido	100
2	feijão	2	Feijão carioca cozido	100
		3	Feijão preto cozido	
3	carboidratos	4	Macarrao ao sugo	50
		5	Batata inglesa sauté	
		6	Bolinho de arroz	
4	vegetais	7	Abobrinha,peçoço, crua	50
		8	Alface crespa crua	
		9	Alface lisa	
		10	Milho verde cru	
		11	Ervilha enlatada	
		12	Beterraba crua	
		13	Beterraba cozida	
		14	Brócolis cozido	
		15	Chuchu cozido	
		16	Couve flor cozida	
		17	Cenoura crua	
		18	Cenoura cozida	
		19	Pepino cru	
		20	Rabanete cru	
		21	Repolho branco cru	
		5	sobremesas	
23	Banana, prata, crua			
24	Laranja, pêra, crua			
25	Melancia			
26	Mexerica, crua			
6	proteínas	27	Gelatina sabores variados	50
		28	Pescada filé frito	
		29	Pintado grelhado	
		30	Manjuba frita	
		31	Acém moída cozida	
		32	Almôndegas fritas	
		33	Coxão duro cozido	
		34	Músculo cozido	
		35	Frango, coxa com pele assada	
		36	Filé de frango à milanesa	
		37	Lingüiça de porco frita	
		38	Peito de frango sem pele grelhado	
		39	Porco bisteca grelhado	
		40	Ovo galinha inteiro cozido	

Fonte: Autoria própria

Quadro 1 – Classificação dos alimentos e tamanho das porções

O arroz e um tipo de feijão (grupo 1 e 2, respectivamente) foram mantidos fixos nos modelos por serem alimentos típicos da cultura brasileira. Dentro do grupo 3, referente aos carboidratos, deve ser selecionado pelo menos um tipo para ser servido na refeição. Deve ser escolhida entre duas e quatro porções de vegetais pertencentes ao grupo 4. Para o grupo 5, o modelo deve selecionar entre um e dois tipos de sobremesa, dentre frutas e gelatina. Finalmente, no grupo das proteínas (grupo 6) deve ser escolhido entre um e três tipos de carne e no máximo um ovo cozido. Em todos os casos, somente duas porções do mesmo alimento podem compor a refeição. Desta maneira, fica estabelecido como a refeição dada pelo modelo deve ser formada.

Com o intuito de atender as orientações e recomendações necessárias da alimentação dos estudantes universitários, os modelos utilizaram dados das tabelas americanas disponíveis em NAP (1998), NAP (2000), NAP (2001) e NAP (2004). As recomendações nutricionais para estudantes universitários foram extraídas das tabelas nutricionais da DRI (*Dietary Reference Intakes*), citadas por Padovani (2006) como uma revisão recente dos valores nutricionais para diferentes faixas etárias e que pode ser usada como referência em rotulagem de alimentos e planejamento de dietas. Os dados da Tabela de Composição dos Alimentos – TACO (LIMA *et al.* (2011)) foram utilizados como valores de referência nutricionais e, por fim, os custos de cada alimento foram extraídos de CEASA e CEAGESP (atacadistas de produtos de produtos hortifrutigranjeiros). Todos os dados referentes aos alimentos utilizados no trabalho foram ajustados em porções de 50 ou 100g.

O Quadro 2 apresenta os nutrientes utilizados nos modelos propostos com seus respectivos valores de máximo e mínimo. Considerando que o restaurante universitário atende os estudantes de ambos os gêneros, utilizamos o menor limite inferior da quantidade de nutrientes recomendada a jovens adultos para compor os dados de nutrientes mínimos e para os valores das quantidades máximas dos nutrientes, foram utilizados os menores limites superiores. Aqueles valores máximos dos nutrientes que estão representados com traço indicam que não existe uma quantidade máxima estipulada para o consumo de tal nutriente, desta forma, o mesmo pode ser consumido à vontade. Todos os valores foram adaptados para suprir 30% das necessidades diárias que é referente ao almoço dos jovens universitários. Ainda, a quantidade energética recomendada para o almoço dos estudantes deve atender à necessidade mínima de 800 Kcal, o equivalente a 40% do valor diário total de referência, ou seja, 2000 Kcal.

Nutrientes (mg)	Mínimo (mg)	Máximo (mg)
Ferro	7,2	18
Cobre	0,36	4
Manganês	0,92	4,4
Zinco	4,4	16
Tiamina	0,48	-
Ribo flavina	0,52	-
Vitamina C	30	800
Niacina	6,4	14
Carboidratos	5200	-
Fibra	15200	-
Gordura	0,01	-
Proteína	22400	-
Sódio	600	920
Potássio	1880	-

Fonte: Autoria própria

Quadro 2 – Nutrientes e suas quantidades consideradas no modelo

Quadro 3 mostra os diversos alimentos utilizados no modelo, bem como suas respectivas informações nutricionais e o custo por porção de cada alimento.

GRUPO	ALIMENTO	ENERGIA (Kcal)	NUTRIENTES														CUSTO (R\$/porção)	UNIDADE (g/porção)	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			
			FERRO (mg)	COBRE (mg)	MANGANÊS (mg)	ZINCO (mg)	TIAMINA (mg)	RIBOFLAVINA (mg)	VITAMINA C (mg)	NIACINA (mg)	CARBOIDRATOS (mg)	FIBRA (mg)	GORDURA (mg)	PROTEÍNA (mg)	SÓDIO (mg)	POTÁSSIO (mg)			
1	1	128,00	0,10	0,02	0,30	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	281,00,00	1600,00	200,00	2500,00	1,00	15,00		0,149	100
2	2	76,00	1,30	0,19	0,28	0,70	0,04	0,00	0,00	0,00	136,00,00	8500,00	500,00	4800,00	2,00	255,00		0,425	100
	3	77,00	1,50	0,20	0,37	0,70	0,06	0,00	0,00	0,00	140,00,00	8400,00	500,00	4500,00	2,00	256,00		0,235	100
3	4	102,50	0,65	0,01	0,02	0,23	0,05	0,01	0,68	0,90	21,40,00	1500,00	550,00	2850,00	106,25	133,75		0,145	50
	5	34,00	0,15	0,03	0,04	0,10	0,04	0,00	0,69	0,00	705,00,00	700,00	450,00	650,00	4,00	99,50		0,099	50
	6	137,00	1,05	0,07	0,21	0,45	0,04	0,03	0,00	0,00	208,50,00	1350,00	4150,00	400,00	29,50	48,00		0,175	50
	7	6,00	0,08	0,02	0,02	0,05	0,00	0,00	0,53	0,00	1,525,00	575,00	25,00	175,00	0,25	6,00		0,06975	50
	8	5,50	0,20	0,02	0,01	0,15	0,06	0,06	0,00	0,00	85,00,00	900,00	100,00	650,00	1,50	133,50		0,184	50
	9	7,00	0,30	0,02	0,00	0,15	0,05	0,04	0,00	0,00	1200,00	1150,00	50,00	850,00	2,00	174,50		0,138	50
	10	69,00	0,20	0,03	0,06	0,25	0,15	0,00	0,00	0,00	143,00,00	1950,00	300,00	3300,00	0,50	92,50		0,2625	50
	11	37,00	0,70	0,07	0,00	0,45	0,04	0,02	0,00	0,00	6700,00	2550,00	200,00	2300,00	186,00	73,50		0,2475	50
	12	24,50	0,15	0,04	0,62	0,25	0,02	0,00	1,55	0,00	5550,00	1700,00	50,00	950,00	5,00	187,50		0,0795	50
	13	16,00	0,10	0,02	0,13	0,10	0,20	0,05	0,60	0,00	3600,00	950,00	50,00	650,00	11,50	122,50		0,0795	50
4	14	12,50	0,15	0,06	0,01	0,10	0,06	0,00	0,00	0,00	9450,00	1300,00	50,00	750,00	0,50	101,50		0,21875	50
	15	9,50	0,05	0,00	0,04	0,05	0,02	0,00	2,80	0,00	2400,00	500,00	0,00	200,00	1,00	27,00		0,0975	50
	16	9,50	0,05	0,00	0,05	0,15	0,02	0,00	11,85	0,00	1950,00	1050,00	150,00	600,00	1,00	40,00		0,1975	50
	17	17,00	0,10	0,03	0,03	0,10	0,00	0,00	2,55	0,00	3850,00	1600,00	100,00	650,00	1,50	157,50		0,0645	50
	18	15,00	0,05	0,01	0,18	0,10	0,04	0,00	0,00	1,34	3350,00	1300,00	100,00	400,00	4,00	88,00		0,0645	50
	19	5,00	0,05	0,02	0,04	0,05	0,00	0,02	2,50	0,00	1000,00	550,00	0,00	450,00	0,00	77,00		0,1625	50
	20	7,00	0,20	0,01	0,04	0,10	0,03	0,01	4,80	0,00	1350,00	1100,00	50,00	700,00	5,50	164,00		0,1275	50
	21	8,50	0,10	0,01	0,07	0,10	0,00	0,02	0,00	0,00	1950,00	950,00	50,00	450,00	2,00	75,00		0,0325	50
	22	7,50	0,95	0,08	0,33	0,30	0,30	0,05	8,95	0,00	2700,00	2250,00	450,00	1450,00	0,50	145,00		0,099	50
	23	49,00	0,20	0,03	0,21	0,05	0,00	0,01	0,00	0,00	13000,00	1000,00	50,00	650,00	0,00	179,00		0,1345	50
	24	18,50	0,05	0,02	0,03	0,05	0,04	0,01	26,85	0,00	4450,00	400,00	50,00	500,00	0,00	81,50		0,069	50
5	25	16,50	0,10	0,02	0,07	0,05	0,00	0,00	3,05	0,00	4050,00	50,00	0,00	450,00	0,00	52,00		0,0975	50
	26	29,00	0,05	0,03	0,03	0,05	0,04	0,04	0,90	0,00	7450,00	1550,00	50,00	450,00	0,50	79,50		0,1825	50
	27	190,00	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	44600,00	0,00	0,00	4450,00	117,50	3,50		0,2925	50
	28	77,00	0,15	0,02	0,00	0,30	0,07	0,00	0,00	4,44	0,00	0,00	550,00	7750,00	57,50	124,50		0,495	50
	29	76,00	0,25	0,02	0,02	0,40	0,02	0,00	0,00	1,44	0,00	0,00	1150,00	15400,00	26,50	180,00		0,6025	50
	30	174,50	0,45	0,07	0,11	1,60	0,02	0,02	0,00	3,64	0,00	0,00	12250,00	15050,00	20,50	159,00		0,4075	50
	31	107,50	1,35	0,03	0,01	4,05	0,00	0,16	0,00	0,88	0,00	0,00	5450,00	13350,00	26,00	128,00		0,5195	50
	32	136,00	0,95	0,10	0,21	1,30	0,07	0,04	0,00	3,30	7150,00	1800,00	7900,00	9100,00	515,00	268,00		0,445	50
	33	108,50	0,85	0,04	0,00	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4450,00	15950,00	20,50	126,00		0,4175	50
6	34	97,00	1,20	0,04	0,00	3,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3350,00	15600,00	31,00	126,50		0,5275	50
	35	107,50	0,60	0,03	0,00	1,30	0,03	0,03	0,00	5,20	99,50	0,00	5200,00	14250,00	47,50	159,00		0,2575	50
	36	110,50	0,55	0,03	0,03	0,40	0,03	0,02	0,00	5,54	3750,00	550,00	3900,00	14250,00	61,00	204,00		0,4145	50
	37	140,00	0,45	0,03	0,01	1,55	0,21	0,04	0,00	2,92	0,00	0,00	10650,00	10250,00	71,60	204,50		0,3195	50
	38	79,50	0,15	0,01	0,00	0,40	0,06	0,00	0,00	12,42	0,00	0,00	1250,00	16000,00	25,00	195,50		0,2695	50
	39	140,00	0,45	0,03	0,00	1,15	0,39	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	8700,00	14450,00	25,50	183,00		0,3375	50
	40	73,00	0,75	0,02	0,01	0,60	0,04	0,15	0,00	0,00	300,00	0,00	4750,00	6650,00	73,00	69,50		0,009125	50

Fonte: Autoria própria
Quadro 3 – Nutrientes e suas quantidades consideradas no modelo.

Para a resolução do modelo de dieta através da técnica de programação linear inteira (PLI), foi utilizada a seguinte formulação:

$$\text{Minimizar} = \sum_{j=1}^J C_j X_j \quad [1]$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^J e_j X_j \geq E_{min} \quad [2]$$

$$\sum_{j=1}^J a_{ij} X_j \geq D_i \quad \text{para } i = 1, \dots, I \quad [3]$$

$$\sum_{j=1}^J a_{ij} X_j \leq D_i^* \quad \text{para } i = 1, \dots, I \quad [4]$$

$$\sum_{j \in N_k} X_j \begin{matrix} \leq \\ \geq \end{matrix} H_k \quad \text{para } k = 1, \dots, K \quad [5]$$

$$X_j \in \mathbb{Z}^+ \quad \text{para } j = 1, \dots, J \quad [6]$$

onde:

X_j = quantidade de porções do alimento j

C_j = custo do alimento j por porção

e_j = energia total do alimento j

E_{min} = energia mínima a ser consumida na refeição

a_{ij} = quantidade do nutriente i no alimento j

D_i = quantidade mínima do nutriente i na refeição

D_i^* = quantidade máxima do nutriente i na refeição

H_k = quantidade de porções permitidas para os alimentos N_k da categoria k

A função objetivo: [1] minimiza o custo total da refeição. A restrição [2] refere-se à quantidade mínima de calorias recomendadas para o almoço de cada estudante universitário; desta forma, cada refeição deve proporcionar uma quantidade mínima de $E_{min} = 800$ kcal. O conjunto de restrições [3] e [4] determinam, respectivamente, as quantidades mínimas e máximas de nutrientes consumidos na refeição. O conjunto de restrições [5] refere-se à quantidade da porção de cada grupo N_k , para $k = 1, \dots, 6$. As restrições [6] estabelecem que a quantidade das porções dos alimentos devem ser números inteiros.

O nutriente cálcio não foi incluído no modelo de PLI, pois o mesmo inviabilizava uma solução para o problema. A solução exigia que fosse servido um copo de leite no almoço, o que não é típico da alimentação dos jovens estudantes. Assim, foi considerado que os universitários consomem a quantidade necessária de cálcio no café da manhã.

Tendo em vista que a solução com o menor custo pode gerar uma refeição com uma massa excessiva de alimentos, foi utilizada a modelagem por programação de metas. A Programação de Metas (PM) é uma técnica multi-objetivo para a tomada de decisão em problemas que envolvem vários objetivos independentes ou conflitantes, e permite que sejam tratadas simultaneamente tanto *restrições rígidas* (restrição cujo limite mínimo (ou máximo) não é violado) como *metas* (restrições que podem ser violadas por um *desvio* d). Sendo uma modificação e extensão da programação linear, a PM em geral minimiza uma função objetivo definida como a soma dos desvios absolutos multidimensionais de valores alvo de um objetivo (WISE & PERUSHEK, 2000; AHERN & ANANDARAJAH, 2007).

Em relação ao modelo de programação linear inteira, o modelo de programação de metas para a dieta universitária considera as quantidades mínimas de nutrientes fornecidas na refeição como metas e define uma restrição de massa máxima a ser consumida:

$$\text{Minimizar} = \sum_{i=1}^I \frac{d_i^-}{D_i} \quad [1]$$

Sujeito a:

(i) *Metas*

$$\sum_{j=1}^J a_{ij} X_j + d_i^- - d_i^+ = D_i \quad \text{para } i = 1, \dots, I \quad [2]$$

(ii) *Restrições*

$$\sum_{j=1}^J e_j X_j \geq E_{\min} \quad [3]$$

$$\sum_{j=1}^J q_j X_j \leq Q \quad [4]$$

$$\sum_{j \in N_k} X_j \begin{matrix} \leq \\ \geq \end{matrix} H_k \quad \text{para } k = 1, \dots, K \quad [5]$$

$$X_j \in Z^+ \quad \text{para } j = 1, \dots, J \quad [6]$$

onde:

X_j = quantidade de porções do alimento j

a_{ij} = quantidade do nutriente i no alimento j

d_i^- = desvio negativo da meta i

d_i^+ = desvio positivo da meta i

D_i = quantidade mínima do nutriente i na refeição

e_j = energia total do alimento j

E_{\min} = energia mínima a ser consumida na refeição

q_j = massa da porção do alimento j

Q = massa total da refeição

H_k = quantidade de porções permitidas para os alimentos N_k da categoria k

A função objetivo [1] minimiza a soma dos desvios negativos percentuais das metas i . O grupo de metas [2] estabelece a quantidade mínima do nutriente i a ser consumida na refeição. A restrição [3] define que cada refeição universitária deve fornecer a quantidade mínima de $E_{min} = 800$ kcal. A restrição [4] especifica um limite máximo para a massa total a ser consumida na refeição (500 g). Os conjuntos de restrições [5] e [6] seguem as definições dadas no modelo de programação linear inteira.

Os modelos foram implementados utilizando a linguagem de programação matemática do otimizador Lingo v13.0 a partir de dados formatados em planilha eletrônica.

4 Resultados e Discussões

O presente trabalho desenvolveu dois modelos de programação matemática para formular refeições servidas em restaurantes universitários, com o propósito de atender as exigências nutricionais dos jovens estudantes que realizam suas refeições no RU a um baixo custo e utilizando os alimentos disponíveis anualmente na região.

O problema solucionado através de programação linear inteira não considerou o nutriente cálcio pois o mesmo inviabilizava a solução. Assim, a refeição obtida apresenta um custo de R\$ 2,292 e uma massa de 800g, considerada excessiva para refeição de estudantes. A fim de tornar a solução mais realista, o problema foi reformulado utilizando programação de metas com uma restrição rígida de massa máxima de 500g; neste caso, a refeição atingiu um custo de R\$ 1,921, o que representa um decréscimo de R\$ 0,371 no custo da mesma. Entretanto, o modelo de PM violou algumas restrições nutricionais necessárias aos jovens estudantes.

O quadro 4 ilustra os alimentos que foram selecionados para os dois modelos, bem como os seus respectivos custos.

Modelo	Alimentos	Quantidade de porções	Custo (R\$)
Programação linear inteira	Arroz cozido	1	2,292
	Feijão preto cozido	1	
	Batata inglesa sauté	2	
	Alface lisa	1	
	Cenoura crua	1	
	Tomate cru	2	
	Banana prata	1	
	Laranja pêra	1	
	Acém moída cozida	1	
	Frango, coxa com pele assada	1	
	Lingüiça de porco frita	1	
Ovo galinha cozido	1		
Programação por metas	Arroz cozido	1	1,921
	Feijão preto cozido	1	
	Bolinho de arroz	1	
	Milho verde cru	2	
	Tomate cru	1	
	Gelatina	1	
	Almôndegas fritas	1	

Fonte: Autoria própria

Quadro 4 – Cardápios selecionados nos modelos de programação

5 Conclusões

Com base nos resultados obtidos nos dois modelos, conclui-se que a utilização da modelagem matemática representa uma alternativa prática e eficiente para solucionar problemas de dietas e escolha de cardápios, tanto para humanos, quanto para animais, uma vez que a modelagem permite a seleção de alimentos que melhor se ajustam no problema elaborado. Ainda, o uso destas ferramentas auxilia o decisor a otimizar os resultados através do controle das variáveis impostas no programa.

Diante dos resultados obtidos, verificou-se que foi atendido o objetivo de minimizar o custo das refeições utilizando os alimentos disponíveis anualmente na região em que o RU está localizado, levando em consideração os requisitos nutricionais dos estudantes universitários.

Agradecimentos: À Fundação Araucária e à CAPES pelo financiamento desta pesquisa.

6 Bibliografia

- ANDERSON, A.M. & EARLE, M.D. **Diet planning in the third world by Linear and Goal Programming.** Journal of the Operational Research Society, vol. 34, p. 9–16, 1983.
- AHERN, A. & ANANDARAJAH, G. **Railway projects prioritisation for investment: Application of goal programming.** Transport Policy vol. 14, p. 70–80, 2007.
- ANVISA - AGENCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Rotulagem nutricional obrigatória: manual de orientação às indústrias.** Brasília, vol. 2, 2005.
- AVELIGANO, R.P. **Custos de refeições em Unidades de Alimentação e Nutrição: uma aplicação para a Divisão de Alimentação COSEAS/USP, em 1997.** 108 p. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- BLEIL S.I. **O padrão alimentar ocidental: Considerações sobre as mudanças de hábitos no Brasil.** Revista Cadernos de Debate, vol. 6, p. 1–25, 1998.
- BORGES, C.M. & FILHO, D.O.M. **Hábitos alimentares dos estudantes universitários: Um estudo qualitativo.** In: SEMEAD, 7., 2004, São Paulo. Anais... São Paulo.
- BRIEND, A.; FERGUSON, E. & DARMON, N. **Local food price analysis by linear programming: A new approach to assess the economic value of fortified food supplements.** Food and Nutrition Bulletin, vol. 22, n. 2, 2001.
- CADENAS, J.M.; PELTA, D.A.; PELTA, H.R. & VERDEGAY, J.L. **Application of fuzzy optimization to diet problems in Argentinean farms.** European Journal of Operational Research, vol. 158, p. 218–228, 2004.
- COLAVITA, C. & D'ORSI, R. **Linear programming and pediatric dietetics.** British Journal of Nutrition, vol. 64, p. 207–217, 1990.
- CEAGESP- Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo.** Disponível em: <<http://www.ceagesp.gov.br/cotacoes/>> Acesso em: 13/04/2012.
- CEASA- Centrais Estaduais de Abastecimento.** Disponível em: < <http://celepar7.pr.gov.br/ceasa/hoje.asp>> Acesso em: 13/04/2012.
- CONNORS, P.L. & SIMPSON, D.F. **Influence of menu planning strategies on the nutrient composition of Texas school lunches.** Journal of Food Composition and Analysis, vol. 17, p. 459–468, 2004.
- COSTA, F.P. **Aplicações de técnicas de otimização a problemas de planejamento operacional de lavra em minas a céu aberto.** 140 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, fev. 2005.
- GEDRICH, K.; HENSEL, A. & BINDER, I. **How optimal are computer-calculated optimal diets?** European Journal of Clinical Nutrition, vol. 53, p. 309–318, 1999.
- KREŠIĆ, G.; ŠIMUNDIĆ, B.; MANDIĆ, M.L.; KENDEL, G. & ŽEŽELJ, S.P. **Daily menus can result in suboptimal nutrient intakes, especially calcium, of adolescents living in dormitories.** Nutrition Research, vol. 28, p. 156–165, 2008.

- LANCASTER, L.M. **The history of the application of mathematical programming to menu planning.** European Journal of Operational Research, vol. 52, p. 339–347, 1992.
- LIMA, D.M.; BASILE F.A.; PADOVANI, R.M.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. SALAY, E. & GALEAZZI, M.A.M. (ORGs). **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos - TACO**, 4ª. Edição, Campinas, 2011. Disponível em: www.fomezero.gov.br/publicacoes/publicacoes/arquivos/2-tabela_nutricional_de_alimentos_taco.pdf. Acessado em 15/04/2012.
- MUNFORD, A.G. **The use of iterative linear programming in practical applications of animal diet formulation.** Mathematics and Computers in Simulation, vol. 42, p. 255–261, 1996.
- NAMEN, A.A. & BORNSTEIN, C.T. **Uma ferramenta para avaliação de resultados de diversos modelos de otimização de dietas.** Pesquisa Operacional, vol. 24, n. 3, p. 445–465, set./dez. 2004.
- NAP. **Dietary Reference Intakes for Thiamin, Riboflavin, Niacin, Vitamin B6, Folate, Vitamin B12, Pantothenic Acid, Biotin, and Choline.** Washington, D.C., (1998). Disponível em http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=6015. Acesso em: 14/04/2012.
- NAP. **Dietary Reference Intakes for Vitamin C, Vitamin E, Selenium, and Carotenoids.** Washington, D.C., (2000). Disponível em: http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=9810. Acesso em: 14/04/2012.
- NAP . **Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc.** Washington, D.C., (2001). Disponível em: http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=10026. Acesso em: 14/04/2012.
- NAP . **Dietary Reference Intakes for Water, Potassium, Sodium, Chloride, and Sulfate.** Washington, D.C., (2004). Disponível em: http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=10925. Acesso em: 14/04/2012.
- NOLET, B.A.; VAN DER VEER, P.J.; EVERS, E.G.J. & OTTENHEIM, M.M. **A linear programming model of diet choice of free-living beavers.** Netherlands Journal of Zoology, vol. 45, p. 315–337, 1995.
- OLIVEIRA, R.B.; GUAGLIANONI, D.G. & DEMONTE, A. **Perfil do usuário, composição e adequação nutricional do cardápio oferecido em um restaurante universitário.** Revista Alimentos e Nutrição, vol. 16, n. 4, p. 397–401, 2005.
- OSSUCCI, R.R. **Hábitos alimentares na adolescência. Ambiente virtual e escola da Secretaria de Estado da Educação do Paraná** (2008). Disponível em: <http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/pde/arquivos/2521-6.pdf>. Acesso em: 23/04/2012.
- PADOVANI, R.M.; AMAYA-FARFÁN, J.; COLUGNATI, F.A.B. & DOMENE, S.M.A. **Dietary reference intakes: application of tables in nutritional studies.** Revista Nutricional de Campinas, vol. 19, n. 6, p. 741–760, nov/dez., 2006.
- RITCHIE, M.E.; **Individual variation in the ability of Columbian ground squirrels to select an optimal diet.** Evolutionary Ecology, vol. 2, p. 232–252, 1998.
- SHEARER, K.D. **The use of factorial modeling to determine the dietary requirements for essential elements in fishes.** Aquaculture, vol. 133, p. 57–72, 1995.
- SKLAN, D. & DARIEL, I. **Diet planning for humans using the mixed-integer linear programming.** British Journal of Nutrition, vol. 70, p. 27–35, 1993.
- WISE, K. & PERUSHEK, D.E. **Goal Programming as a Solution Technique for the Acquisitions Allocation Problem.** Library & Information Science Research, vol. 22, n. 20, p. 165–183, 2000.