

USO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA PARA A DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE LIXEIRAS DO IFMG - CAMPUS BAMBUÍ

Bruna Aparecida Rezende (IFMG)

brunarezende12@yahoo.com.br

Luis Guilherme Esteves Leocadio (IFMG)

luisleoc@yahoo.com.br

Mariana Vitorio Costa Figueiredo (IFMG)

marianavcf@hotmail.com

Nayara Goncalves Sanches (IFMG)

nayaragsanches@outlook.com

Savio Fonseca Silva (IFMG)

saviofonsecaeng@gmail.com



O presente artigo trata de um problema social e ambiental de resíduos espalhado em locais públicos, resalta os danos que esse problema vem acarretando na sociedade e discute em torno da implantação de lixeiras seletivas como solução. Foi realizado um estudo de caso no IFMG - Campus Bambuí, onde observou-se a presença de lixo espalhado em suas localidades e sua variação de quantidade em relação às ruas. Para a identificação de qual seria o número de lixeiras adequado, o seu território foi dividido em ruas e a quantidade de lixo que havia em cada uma foi determinada. Assim, buscou-se a implantação no número ótimo de lixeiras com o menor custo. A partir da constatação desta necessidade, foi proposto um modelo de programação linear inteira solucionado através da ferramenta solver no Excel.

Palavras-chave: lixeira, ruas, programação linear inteira, custo.

1. Introdução

Problemas de lixo espalhados são comumente observados nas vias urbanas, estradas e locais públicos; lixo este que pode ser tóxico, perigoso, produzir chorume, contaminar o solo e lençóis freáticos, além da poluição visual e mau cheiro que atrai animais. Essas e outras consequências acarretam preocupações à comunidade, grandes malefícios ao meio ambiente e poderiam ser evitadas com a simples alocação de lixeiras em locais específicos.

O problema apresentado no presente artigo propõe obter o menor custo na implementação do número necessário de lixeiras no IFMG – Campus Bambuí considerando suas ruas de passagem e a falta de lixeiras suficiente no campus, o que tem levado ao acúmulo excessivo de lixos atualmente.

Para solucionar o problema exposto foi formulado um modelo de programação linear inteira, resolvido através do *software* Excel que relaciona os recursos a serem alocados com as restrições que limitam a função-objetivo, visando à solução ótima que deverá auxiliar na tomada de decisão dos gestores do campus.

2. Revisão literária

2.1. Resíduos sólidos

Grande parte dos municípios brasileiros não dispõe de lixeiras públicas suficientes para que seus habitantes depositem seu lixo. Quando tem, estas lixeiras são mal distribuídas, encontradas em sua maioria nos centros urbanos, praças ou bairros de classe alta. Muito se é discutido sobre educação ambiental, um dos pontos básicos para atingir esse propósito é uma melhor gestão das lixeiras públicas.

O resultado da má gestão das lixeiras públicas é a presença de resíduos sólidos espalhados pelas ruas, causando riscos à saúde do ser humano.

De acordo com Tavares e Freire (2003), o descarte inadequado de resíduos sólidos se dá principalmente pelo déficit de conhecimento ambiental. É visível na sociedade a dificuldade de associar “preservação ambiental” em situações do cotidiano – o que inclui as vias públicas, praças, bairros, etc - concatenando unicamente à preservação da fauna e flora.

Destarte, o descarte inadequado de resíduos é associado à questão cultural e também à distribuição de lixeiras em logradouros.

Segundo Siqueira e Moraes (2009) os resíduos de varrição, quando descartados de forma inadequada trazem diversos problemas para a sociedade, tais como, riscos à saúde da comunidade, deterioração do meio ambiente, além de fatores sociais.

Brasil (2010) classifica diversos tipos de resíduos, entre eles os resíduos de limpeza urbana ou de varrição que são resíduos recolhidos em ruas, praças e demais locais públicos.

A partir da Tabela 1 é possível ter uma melhor percepção dos prejuízos quando resíduos sólidos são descartados de maneira inadequada. Essa tabela informa o tempo médio de decomposição de resíduos que frequentemente são encontrados em vias públicas.

Tabela 1 – Tempo aproximado de decomposição

<i>Material</i>	<i>Tempo</i>
Papel	2 a 4 semanas
Chiclete	5 anos
Lata de alumínio	200 a 500 anos
Plástico	Até 450 anos
Garrafa de Vidro	Indeterminado

Fonte: Adaptado de Matos (1999)

2.2. Pesquisa operacional

Andrade (1998) define a Pesquisa Operacional (P.O.) como um método para a solução de irregularidades que auxilia na tomada de decisões, mediante a formulação de modelos e simulações. Segundo o autor, a Engenharia de Produção começou a usar a P.O. após a Segunda Guerra Mundial, desde então suas aplicações foram se expandindo de forma significativa. A definição de Silva *et al.* (1998) para Pesquisa Operacional é de um método de descrição bem organizado acompanhado de um modelo, cuja experimentação identifica a maneira ótima para sua resolução. O problema consiste na definição do objetivo almejado, das

variáveis de decisões que estarão contidas e o conhecimento das restrições que vão sujeitar a situação.

Pertencente a classe dos modelos matemáticos presentes na P.O., há os modelos de programação matemática compostos pela programação linear, programação linear inteira, programação em redes e programação não-linear (ARENALES, 2011).

Segundo Puccini (1980), os problemas de programação linear buscam alcançar um objetivo, como exemplo, minimizar custos ou maximizar lucros, este fica expresso em uma função objetivo. Os recursos limitados são distribuídos em equações ou inequações, chamadas de restrições, onde se faz necessário a identificação das atividades que irão consumi-las. Os resultados das distribuições que satisfazem as restrições são chamados soluções e o melhor resultado é considerado como a solução ótima.

Os modelos desenvolvidos são representações que segundo Goldbarg e Luna (2000) simplificam a realidade, conservando uma equivalência que permita determinar os acontecimentos e enfoques que estão sendo analisados para eliminar tal dificuldade, assim é formulada a programação linear. De acordo com Caixeta Filho (2001), algebricamente, a Programação Linear é o aperfeiçoamento de um modelo de resolução de sistema de equações lineares, utilizando transformações contínuas das matrizes, incorporando outra equação linear que atenda ao comportamento a ser otimizado.

Garcia *et al.* (1997), modelou o problema de otimização da seguinte forma:

$$\text{Maximizar ou Minimizar } Z = C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_nX_n \quad (1)$$

Sujeito à:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n < b_1 \quad (2)$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n < b_2$$

$$\dots a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n < b_m$$

Onde: Z = função objetivo; x_i = variáveis que representam quantidade ou recursos que vão decidir o problema; C_i = coeficientes de ganho ou custo que vai ser gerado; b_j = quantidade disponível de cada recurso; a_{ij} = quantidade de recurso que cada variável decisória consome. Sendo x_i e b_j sempre maior ou igual a 0.

Os modelos de programação linear inteira são semelhantes aos modelos de programação linear, diferindo destes em relação ao espectro dos valores assumidos pelas variáveis de decisão, que se limitam ao conjunto dos números inteiros, bem como ao método de busca pela solução ótima do problema denominado como "*Branch-and-Bound*".

2.3. Programação linear inteira

Programação linear inteira segundo Thara (1975) foi iniciada no final entre a década de 40 e 50, com aplicações em pesquisas operacionais, mas com características puramente matemático. Porém, só em 1958, Gomory (1958) desenvolveu a primeira técnica para programação inteira finita para resolver problemas de programação linear inteira. O problema desenvolvido na programação linear inteira é desenvolvida da seguinte maneira:

Minimize (ou Maximize) $ct \ x$

Sujeito a $Ax = b \ x_i \geq 0, i \in N = \{1, 2, \dots, n\}$ x_i inteira, $i \in I \subseteq N$ onde:

$ct \in R^n, A \in R^m \times n, b \in R^m, x \in R^n$;

N é o conjunto de índices das variáveis do problema;

I é o conjunto de índices das variáveis restritas a assumirem valores inteiros.

O objetivo pode ser de minimização ou maximização da função $ct \ x$ e as restrições definidas pela expressão $Ax = b$, podem incluir também as desigualdades: \leq e \geq .

3. Metodologia

Este trabalho trata-se de um estudo de caso, onde este Segundo Yin (2001) representa uma investigação empírica e compreende um método abrangente, com a lógica do planejamento, da coleta e da análise de dados. Pode incluir tantos estudos de caso único quanto de múltiplos, assim como abordagens quantitativas e qualitativas de pesquisa. Os benefícios em usar essa modalidade de pesquisa estão no fato de que os benefícios principais estão na possibilidade do

desenvolvimento de nova teoria e de aumentar o entendimento sobre eventos reais e contemporâneos (MIGUEL, 2007).

A natureza desse trabalho é de pesquisa aplicada, onde o interesse é buscar soluções para o número ótimo de lixeiras no IFMG campus Bambuí e que otimizem o menor custo da compra de lixeiras para o campus utilizando-se de uma programação linear inteira. Esse trabalho tem uma abordagem quantitativa, pois é necessária a coleta de dados numéricos para formular a programação linear inteira, além de verificar a eficiência do mesmo em fornecer informações para a tomada de decisão na alocação.

Por fim, o modelo elaborado foi implementado no *software* Excel, versão 2013, utilizando-se da ferramenta, ou suplemento denominado *solver*.

3.1. Estruturação do trabalho

Inicialmente foi feita uma revisão literária a respeito dos temas que foram aplicados no desenvolvimento do trabalho, para que assim, houvesse um maior entendimento sobre descarte e características do lixo descartados e como a pesquisa operacional pode obter de forma facilitada o menor custo para implantação de lixeiras.

Realizou-se um levantamento para a verificação da existência de alguma lei municipal, estadual e federal, bem como de regulamentos do campus de Instituições Federais de Ensino que tratam sobre as distâncias mínimas entre lixeiras. Assim, constatou-se a inexistência de uma legislação sobre o assunto. Porém, há três projetos de lei municipais que estabelecem uma distância mínima para as cidades de Foz do Iguaçu/PR, Vila Velha/ES e São Gonçalo do Amarante/RN, cujas distâncias são 150 metros, 100 metros e 30 metros, respectivamente. Assim, adotou-se uma distância mínima de 30 m, já que as extensões das ruas de um campus são geralmente menores do que as de uma cidade.

O objetivo do presente trabalho é a substituição das lixeiras por modelos novos. Para isso, primeiramente foi levantado uma cotação no mercado para 5 tipos diferentes de lixeira (lixeira retangular, coletor externo, lixeira com suporte, cesto perfurado e cesto liso), cujas capacidades e preços de aquisição encontram-se na tabela 2:

Tabela 2 – Tipos de lixeira

Tipo de lixeira	Lixeira retangular	Coletor externo	Lixeira c/ suporte	Cesto perfurado	Cesto liso
Capacidade (em litros)	40	27	50	12	51
Preço (em R\$)	220,00	199,00	275,00	159,00	380,00

Fonte: Autor (2017).

Em seguida, foram enumeradas as ruas dentro do IFMG – Campus Bambuí, através do *Google Maps* que também foi usado para determinar a extensão de cada uma das ruas. Ao todo foram consideradas 10 ruas para a implementação do modelo. Em cada uma delas foram medidos os volumes de lixo gerado durante três dias. A partir dessas quantidades, foram obtidas as médias dos volumes diários de lixo gerado em cada uma das ruas que estão presentes na Tabela 3.

Tabela 3 – Extensão e quantidade de lixo em cada rota

Número da rua	Extensão da rua (em metros)	Volume de lixo (em L)	Número da rua	Extensão da rua (em metros)	Volume de lixo (em L)
1	230	209,1363	6	1.100	1.211,278
2	290	172,734	7	1.100	1.226,981
3	450	260,528	8	1.300	1.927,195
4	900	867,951	9	1.300	1.705,211
5	1.000	1.141,33	10	1.200	2124,911

Fonte: Autor (2017).

A partir das informações foi elaborado um modelo de programação linear inteira para buscar o menor custo de implementação das novas lixeiras.

4. Resultados

Para desenvolver o programa foi utilizado a ferramenta solver do *software* Excel. Utilizando-se das informações anteriores, foi realizado a elaboração para obter-se o menor custo obedecendo as restrições criadas.

O modelo de programação linear inteira para a determinação do número de lixeiras é apresentado abaixo:

$$\min \sum_{i \in ruas} \sum_{j \in lixeiras} (preço_j \times x_{ij})$$

s.a.:

$$\sum_{i \in ruas} \sum_{j \in lixeiras} (capacidade_j \times x_{ij}) \geq volume_i, \forall i \in ruas$$

$$\sum_{i \in ruas} \sum_{j \in lixeiras} x_{ij} \geq [(extensão_i)/30], \forall i \in ruas$$

$$x_{ij} \in \mathbb{Z}^+, \forall i \in ruas, \forall j \in lixeiras$$

Dados de entrada para o problema:

ruas: Conjunto de ruas;

lixeiras: Conjunto de lixeiras;

volume_i: Volume de lixo associado a rua *i*;

extensão_i: Extensão da rua *i*;

capacidade_j: Capacidade associada a lixeira do tipo *j*;

preço_j: Preço da lixeira do tipo *j*;

Variável de decisão:

x_{ij} : Quantidades de lixeiras do tipo j alocadas à rua i

Na tabela 4 encontram-se as quantidades e os tipos de lixeiras que devem ser alocados em cada uma das 10 ruas.

Tabela 4 – Quantidade e tipo de lixeiras por rota a partir da programação linear inteira

	Lixeira Retangular	Coletor Externo	Lixeira c/ suporte	Cesto Perfurado	Cesto Liso
Rua 1	1	0	1	6	0
Rua 2	2	0	0	8	0
Rua 3	0	0	1	14	0
Rua 4	0	0	6	24	0
Rua 5	1	0	0	8	26
Rua 6	0	0	9	28	0
Rua 7	0	0	9	28	0
Rua 8	0	0	16	28	0
Rua 9	1	1	13	29	0
Rua 10	0	0	19	21	0
Total	5	1	74	194	26

Fonte: Autor (2017).

Após a análise dos dados sobre a quantidade de lixo encontrada no campus e utilizando-se a legislação existente para definir o número de lixeiras, obteve-se 300 lixeiras a um custo total de R\$ 57.557,00.

Na Figura 1 é apresentada a margem de atraso proveniente do relatório de resposta após a resolução do modelo matemático. Nessa figura foi possível observar um excesso máximo de

capacidade projetada de 27 litros para a rua 10. Porém, esse volume é baixo quando comparado ao volume de lixo gerado na via que foi de 2.124,911 L, isto é, 1,36% do volume total da rua. O maior percentual foi o da rua 3 de 2,87%, um valor relativamente baixo. De fato, esses valores demonstram um ajuste adequado do modelo proposto aos dados obtidos em campo.

Figura 1 – Programação linear inteira

Restrições						
Célula	Nome	Valor da Célula	Fórmula	Status	Margem de Atraso	
\$AZ\$10	Rua 1 - Vol. LHS	212	\$AZ\$10>=\$BA\$10	Não-associação	2,863668808	
\$AZ\$11	Rua 2 - Vol. LHS	176	\$AZ\$11>=\$BA\$11	Não-associação	3,266238401	
\$AZ\$12	Rua 3 - Vol. LHS	268	\$AZ\$12>=\$BA\$12	Não-associação	7,471805853	
\$AZ\$13	Rua 4 - Vol. LHS	888	\$AZ\$13>=\$BA\$13	Não-associação	20,04853676	
\$AZ\$14	Rua 5 - Vol. LHS	1152	\$AZ\$14>=\$BA\$14	Não-associação	10,67237687	
\$AZ\$15	Rua 6 - Vol. LHS	1236	\$AZ\$15>=\$BA\$15	Não-associação	24,72234118	
\$AZ\$16	Rua 7 - Vol. LHS	1236	\$AZ\$16>=\$BA\$16	Não-associação	9,019271949	
\$AZ\$17	Rua 8 - Vol. LHS	1936	\$AZ\$17>=\$BA\$17	Não-associação	8,805139186	
\$AZ\$18	Rua 9 - Vol. LHS	1715	\$AZ\$18>=\$BA\$18	Não-associação	9,789436117	
\$AZ\$19	Rua 10 - Vol. LHS	2152	\$AZ\$19>=\$BA\$19	Não-associação	27,08922198	
\$AZ\$20	Rua 1 - Dist. Mín. LHS	8	\$AZ\$20>=\$BA\$20	Associação	0	
\$AZ\$21	Rua 2 - Dist. Mín. LHS	10	\$AZ\$21>=\$BA\$21	Associação	0	
\$AZ\$22	Rua 3 - Dist. Mín. LHS	15	\$AZ\$22>=\$BA\$22	Associação	0	
\$AZ\$23	Rua 4 - Dist. Mín. LHS	30	\$AZ\$23>=\$BA\$23	Associação	0	
\$AZ\$24	Rua 5 - Dist. Mín. LHS	36	\$AZ\$24>=\$BA\$24	Não-associação	1	
\$AZ\$25	Rua 6 - Dist. Mín. LHS	37	\$AZ\$25>=\$BA\$25	Associação	0	
\$AZ\$26	Rua 7 - Dist. Mín. LHS	37	\$AZ\$26>=\$BA\$26	Associação	0	
\$AZ\$27	Rua 8 - Dist. Mín. LHS	44	\$AZ\$27>=\$BA\$27	Associação	0	
\$AZ\$28	Rua 9 - Dist. Mín. LHS	44	\$AZ\$28>=\$BA\$28	Associação	0	
\$AZ\$29	Rua 10 - Dist. Mín. LHS	40	\$AZ\$29>=\$BA\$29	Associação	0	

Fonte: Autor (2017).

5. Conclusão

Utilizando-se da ferramenta solver no *software* Excel foi possível encontrar o número ótimo dos tipos de lixeiras que devem ser distribuídas pelo campus e também o menor custo total de compra das lixeiras através de um modelo de programação linear. A partir dos projetos de lei consultados, optou-se pela distância mínima de 30 m entre cada lixeira – medida estabelecida pelo município de São Gonçalo do Amarante/RN – devido à maior geração de resíduos sólidos espalhados em função do elevado fluxo de pessoas em uma instituição de ensino.

Para determinar o custo de instalação das lixeiras foi feita uma cotação do valor de cinco tipos de lixeiras diferentes, baseando-se em duas variáveis: a capacidade das lixeiras e a quantidade de lixo por rua. Assim, foi estabelecido o custo ótimo ou menor custo para instalação das lixeiras.

A utilização da quantidade ótima de lixeiras poderia ocasionar, com base na observação, em uma diminuição de resíduos espalhados pelo campus e até mesmo, a criação de projetos utilizando-se coleta seletiva, sendo que tipos de resíduos como plástico, metal, vidro e papel poderiam ser reaproveitados.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, E. L. Introdução à pesquisa operacional. 2 ed. Rio de Janeiro: **LCT**, 1998.
- ARENALES, M. *et al.* Pesquisa operacional. Rio de Janeiro: **Elsevier**, 2011.
- BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Disponível em:
<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em 03 de dez. de 2016
- CAIXETA-FILHO, J. V. Pesquisa Operacional. São Paulo: **Atlas**, 2001.
- FOZ DO IGUAÇU. Projeto de Lei 15/2011. Disponível em:
<<http://www.camarafoz.pr.gov.br/pdf/projetos/1287.pdf>>. Acesso em 3 de dez de 2016.
- GARCIA, S; GUERREIRO, R; CORRAR, L. J. Teoria das Restrições e Programação Linear. **V Congresso Internacional de Custos**, Acapulco, México, 1997.
- GOLDBARG, M. C. & LUNA, H. P. L. Otimização Combinatória e Programação Linear: Modelos e Algoritmos. Rio de Janeiro: **Campus**, 2000.
- MATOS, B. P. *et al.* Considerando Mais o Lixo. Florianópolis: Insular, 1999 p. 21. Disponível em:
<http://www.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/29_02_2012_18.45.04.7077a606f3fda0d488e445bd509fb45b.pdf>. Acesso em 03 de dez. 2016.
- MIGUEL, P. A. C. Estudo de caso na engenharia de produção: Estruturação e recomendações para sua condução. *Produção*. v.17. n.1. p. 216-229. São Paulo:[s.n]. jan/abr 2007.
- PUCINI, A. de L. Introdução à programação linear. Rio de Janeiro: **S.A.**, 1980.
- SÃO GONÇALO DO AMARANTE . Lei Nº 1.332 de 5 de junho de 2012,. Disponível em:<<http://cmsga.rn.gov.br/site/wp-content/themes/sao-goncalo/wp-arquivos/leis/2012/LEI-N-1332-12-Lixeiras-publicas.pdf>>. Acesso em 3 de dez de 2016
- SIQUEIRA, M. M.; MORAES, M. S. de. Saúde coletiva, resíduos sólidos urbanos e os catadores de lixo. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 14, n. 6, p. 2115-2122, 2009. Disponível em:
<http://www.mobilizadores.org.br/wp-content/uploads/2014/05/artigo_siqueira_moraes.pdf>. Acesso em 07 de dez. de 2016.

SILVA, E. M.; SILVA, E. M.; GONÇALVES, V.; MUROLO, A. C. Pesquisa Operacional: programação linear. 3 Ed. São Paulo: **Atlas**, 1998.

TAVARES, C.; FREIRE, I. M. "Lugar do lixo é no lixo": estudo de assimilação da informação. 2003.
Disponível em: <<http://ridi.ibict.br/bitstream/123456789/207/1/FREIRECI3222003.pdf>>. Acesso em 07 de dez. de 2016.

VILHA VELHA. Projeto de Lei Nº 001/2015 – Protocolizado em 16/03/2015. Disponível em:<http://ricardochiabai.com/projetosdelei,9178,0012015__protocolizado_em_16032015.html>. Acesso em 3 de dez de 2016.

YIN, R. Estudo de caso: planejamento e métodos. 2ª ed. Porto Alegre: **Bookman**, 2001.

THARA, H. A. Integer programming: theory, applications and computations. **Academic Press**, New York, 220p, 1975.