

MAXIMIZAÇÃO DO LUCRO EM UMA FÁBRICA DE BLOCOS UTILIZANDO PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA

Carolina Lordes Madeira¹, Deivid Marcelino D'avila², Pedro Henrique Gaigher Altoe³, Wellington Gonçalves⁴

Engenharias

Introdução e Objetivo

A indústria de fabricação de blocos de concreto devido a elevadas variações no comportamento do mercado, tem enfrentado diversos desafios em relação aos planejamentos operacional e estratégico e, à maximização de lucros (SILVA *et al.*, 2022). Com isso, de acordo com Wernke (2021), para sobreviver no concorrido mercado brasileiro, organizações do segmento necessitam elevar sua eficiência em suas operações. Complementarmente, esse autor ainda destaca que, a ausência de identificação de oportunidades de ganhos e crescimento impactam negativamente o desempenho e saúde financeira dessas organizações.

Nesse sentido, Dantzig (2002) aponta a utilização da Programação Linear Inteira como apoio a tomadas de decisão, a qual pode servir como uma abordagem no auxílio à otimização de processos, podendo inclusive direcionar esforços para o alcance de resultados que elevem o lucro das empresas. Essa visão é corroborada por Wernke (2021), ao enfatizar o uso da Programação Linear Inteira como uma ferramenta que permite identificar oportunidades de ganhos e crescimento, como por exemplo - através da análise e otimização de processos, tornando operações mais eficientes e rentáveis. Essas abordagens se justificam devido a necessidade de alternativas de uso intuitivo e parametrizáveis voltadas ao emprego no mercado (SILVA *et al.*, 2022).

Assim, considerando a necessidade e relevância de soluções computacionais que possam auxiliar empresas do segmento, gestores e empreendedores, o objetivo deste trabalho foi utilizar a Programação Linear Inteira em uma fábrica de blocos para auxiliar na busca pela maximização do lucro.

¹ Graduanda em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, carolina.l.madeira@edu.ufes.br;

² Graduando em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, deivid.davila@edu.ufes.br;

³ Graduado em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, pedro.aloe@edu.ufes.br;

⁴ Professor orientador: Doutor em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, wellington.goncalves@ufes.br.

Método e Metodologia

A unidade de pesquisa utilizada foi uma fábrica de blocos de concreto situada no município de Jaguaré (Espírito Santo/ Brasil). A coleta de dados ocorreu entre os dias 02 de junho (visita inicial) e 22 de junho de 2023 (segunda visita) junto ao gestor da fábrica, que foi o intermediador ao acesso a dados e setores da fábrica, por meio do diagnóstico e mapeamento de todo processo produtivo, em que foram realizadas medições e observações de operações, da capacidade produtiva e, também das diversas formas de beneficiamento dos blocos.

Após a coleta dos dados e diagnóstico do processo produtivo, foi realizada uma proposta prévia de mapeamento de pontos críticos desse processo. Em seguida, para aproximar esse mapeamento à realidade vivenciada da fábrica, o mesmo foi apresentado ao gestor, e depois de sua apreciação e ajustes indicados enfatizando a necessidade de maximização da produção de blocos de concreto, se chegou ao modelo de processo (Figura 1), o qual foi inserido no Software de modelagem de otimização para programação linear, não linear e inteira – LINGO 20® versão *trial*. Desta forma, o caso descrito foi tratado no LINGO como um problema de Programação Linear Inteira, utilizado o algoritmo “LINGO Decides”, próprio desse software e, também o método *Global Integer Neighborhood* (algoritmo de soluções inteiras).



Lingo Model - Blocos_Model

```
!Função objetivo;
MAX = c1 * X1 + c2 * X2 + c3 * X3;
!Restrições;
@GIN(X1);
@GIN(X2);
@GIN(X3);
all * X1 + a12 * X2 + a13 * X3 <= b1;
a21 * X1 + a22 * X2 + a23 * X3 <= b2
X1 <= b3;
X2 <= b4;
X3 <= b5;
X1 >= 0;
X2 >= 0;
X3 >= 0;
```

Figura 1 - Modelagem do processo produtivo para maximização do lucro
Fonte: Autores (2023)

Discussão e Resultados

A unidade de pesquisa foi escolhida por oferecer atendimento a uma elevada demanda da população na Região Norte do estado do Espírito Santo. Isso se explica, em parte, à concorrência estabelecida e a necessidade de otimizar processos para minimizar custos, o que suscita em uma busca por soluções que auxiliem empresas do segmento a se manterem competitivas.

Dentro da indústria de fabricação de produtos em concreto, existem diversos tipos que são produzidos utilizando como base uma combinação de cimento, areia e água. Por este motivo, neste trabalho foram utilizados como objetivo de investigação três tipos de blocos (Largura x Altura x Comprimento): A com 09x19x39cm; B com 14x19x39cm e C com 19x19x39cm.

Por ocasião da segunda visita à fábrica, esta contava com o apoio de 3 colaboradores, assim como, com a disponibilidade de 22.400 Kg/dia de areia ao custo de R\$ 0,067/Kg e, 5.000 Kg/dia de cimento ao custo de R\$1,00/Kg. Para fabricação dos blocos havia a seguinte necessidade de matérias-primas: Bloco A → Areia (Kg): 6,987 e Cimento (Kg): 1,326; Bloco B → Areia (Kg): 8,77 e Cimento (Kg): 1,995 e, Bloco C → Areia (Kg): 10,44 e Cimento (Kg): 2,648.

Cabe enfatizar que todos os colaboradores são sócios da fábrica, eliminando a contabilização da mão de obra, pois o lucro é compartilhado. Outro aspecto a se retratar é referente a energia utilizada durante a fabricação, tal qual se encontra na parte de custos fixos da empresa, não variando nas análises. Ademais, é importante ressaltar que, ao calcular os custos dos ingredientes para o beneficiamento dos blocos de concreto, a água não foi incluída devido à sua disponibilidade proveniente de um poço interno da empresa. A compreensão da disponibilidade e dos custos dos recursos, bem como a adoção de práticas de gestão eficiente, são fatores determinantes para o sucesso e a sustentabilidade das empresas de fabricação de blocos de concreto (PEREIRA *et al.*, 2020). Desta forma, de acordo com os dados obtidos foi possível obter o custo e lucro de cada produto (Tabela 1).

Tipo	Preço de venda/Unidade	Custo/Unidade	Lucro/Unidade
Bloco A	R\$ 2,50	R\$ 1,79	R\$ 0,71
Bloco B	R\$ 3,50	R\$ 2,58	R\$ 0,92
Bloco C	R\$ 4,50	R\$ 3,35	R\$ 1,15

Tabela 1 – Síntese do cenário financeiro atual da fábrica

Fonte: Autores (2023).

Para Pereira *et al.* (2020) a gestão eficiente dos custos dos recursos é essencial para a viabilidade econômica e a competitividade das empresas de fabricação de blocos de concreto. Pensando nesse contexto, também foram levantados os limites produtivos diários por tipo de bloco, a fim de se permitir a verificação destes: Bloco A → 3.000 unidades; Bloco B → 1.500 unidades e Bloco C → 1.000 unidades. Ainda compôs a formação do arcabouço do modelo matemático (a seguir), a definição dos seguintes parâmetros: X1 número de unidades a serem produzidas de Bloco A; X2 com relação ao Bloco B e, X3 com relação ao Bloco C:

$$\text{Função objetivo: Máx. } = 0,71 \cdot x_1 + 0,92 \cdot x_2 + 1,15 \cdot x_3$$

Sujeita as restrições:

$$6,987 \cdot x_1 + 8,77 \cdot x_2 + 10,44 \cdot x_3 \leq 22400;$$

$$1,326 \cdot x_1 + 1,995 \cdot x_2 + 2,648 \cdot x_3 \leq 5000;$$

$$x_1 \leq 3000;$$

$$x_2 \leq 1500;$$

$$x_3 \leq 1000;$$

$$x_1, x_2, x_3 \geq 0;$$

Desta forma, considerando que este trabalho visa a maximização do lucro através da utilização completa de recursos disponíveis. Segundo Silva *et al.* (2022), a fábrica deve compreender as tendências de mercado, com destaque para a visão do varejista. Aqui, o modelo de Programação Linear Inteira proposto (Figura 1) resolveu o problema para maximização do lucro em 4 segundos e 23 milésimos, utilizando recursos ótimos e produtividade máxima (Tabela 2).

Tipo	Produção diária (unid.)	Lucro (R\$)
Bloco A	1.399	993,29
Bloco B	249	229,08
Bloco C	1000	1.150
Total	2.648	2.372,37

Tabela 2 - Solução ótima global encontrada

Fonte: Autores (2023).

Com isso, de acordo com as simulações computacionais as quantidades a serem produzidas são de 1.399 unidades (Bloco A); 249 unidades (Bloco B) e 1.000 unidades (Bloco C) e, a partir disso, o lucro diário estimado é de R\$ 2.372,37, que implica em uma economia de 1,5 Kg de areia/dia e 0,17 Kg de cimento/dia, sugerindo a ocorrência de uma otimização dos recursos, em comparação a sua disponibilidade inicial (MORAES *et al.*, 2019). Os resultados mostram que solvers que utilizam o método *Global Integer Neighborhood* é capaz de resolver problemas como o problema de Programação Linear Inteira, em segundos usando o LINGO 20® em um notebook AMD Ryzen 7 6800H com placa Radeon Graphics 3.20 GHz e 16 GB de RAM.

Considerações Finais

Em fabricação de blocos de cimento, a gestão eficiente de recursos é crucial para a sobrevivência. Desse modo, a eficácia na utilização de matérias-primas e no tempo de preparação dos blocos é essencial para melhorar a produtividade, assim como a minimização do custo de aquisição destas matérias. E, isso pode ser corroborado pela literatura (MORAES *et al.*, 2019; PEREIRA *et al.*, 2020; WERNKE, 2021; SILVA *et al.*, 2022).

Os resultados obtidos por meio do uso da Programação Linear Inteira possibilitaram atingir o objetivo deste trabalho, direcionando o planejamento mestre da produção para que se obtivesse

a maximização do lucro. Para tanto, foram avaliados o fluxo de produção, os recursos disponíveis e as demandas requisitadas pelo mercado. Desta maneira, a otimização do fluxo de produção pode permitir uma melhor alocação de recursos, o que reduz desperdícios e aumenta a eficiência dos processos. No entanto, em casos específicos surgem demandas elevadas de um dos tipos de bloco, com preços de vendas diferenciados em função da exclusividade, e a partir disso, a produção volta-se para atender tais demandas – o que por vezes tende a elevar a lucratividade da empresa.

Para além disso, essa pesquisa possibilita a continuidade das investigações na previsão de demanda para esses pedidos, assim como, na avaliação do fluxo de entrega dos blocos e otimização das rotas de entrega. Para futuras pesquisas, este problema também pode ser modelado considerando pessoal heterogêneo (com diferentes habilidades), outros custos como equipamentos de proteção individual e alimentação, além da fidelização de pessoal. Por outro lado, o modelo proposto poderá ser ampliado considerando variáveis binárias, como na contratação e demissão de pessoal. O modelo proposto também pode ter uma prototipação com outros objetivos, como metas de produção. Por fim, os investigadores podem adaptar este trabalho a seus problemas de pesquisa, utilizando regras e condições próprias a cada caso.

Agradecimentos/Apoio Técnico (opcional)

Agradecemos ao Laboratório de Pesquisa Operacional, Logística e Transporte (POLT) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)/Centro Universitário Norte do Espírito Santo (CEUNES) pelo apoio acadêmico e técnico na concepção e desenvolvimento deste trabalho.

Referências

- DANTZIG, G. B. Linear programming. **Operations research**, v. 50, n. 1, p. 42-47, 2002.
- MORAES, D. G.; FERREIRA, C. V.; SILVA, A. Otimização da produção utilizando Programação Linear: estudo de caso em uma indústria de esquadrias de alumínio. **Refas - Revista Fatec Zona Sul**, v. 5, n. 4, p. 26-37, 2019.
- PEREIRA, W. S.; CUNHA S. P. M.; RODRIGUES M. L.; YABARRENA, J. M. S. C.; RUWER, M. O. P. Otimização de mix de produção de artefatos de cimento: uma aplicação da programação linear. **Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, v. 1, n. 1, p. 1-13, 2020.
- SILVA, D. J. C.; AMARAL, L.; SILVA STERTZ, E.; LOPES, L. F. D.; SOUZA RAMSER, C. A.; SANTOS, A. V. Análise da otimização da produção de blocos de concretos, a partir da areia de fundição, utilizando lógica fuzzy. **Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo**, v. 7, n. 2, p. 40-56, 2022.
- WERNKE, R. Vantagens da análise custo/volume/lucro no contexto de pequena fábrica de blocos de concreto. **ABCustos**, v. 16, n. 2, p. 104-132, 2021.