

Desenvolvimento de um modelo matemático para a otimização quantitativa da mão de obra na construção civil: estudo de caso em uma empresa do setor de pré-moldados

Development of a mathematical model for the quantitative optimization of labor in construction: a case study in a company in the precast industry

Recebimento dos originais: 11/06/2019

Aceitação para publicação: 05/07/2019

Yveline Bianca Iunes Santos

Titulação: Doutora em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia pela Universidade do Estado do Pará– UEPA

Instituição que atua: Universidade do Estado do Pará

Endereço: Tv. Enéas Pinheiro, 2626, - Marco, Belém – Pará, Brasil

E-mail: yvelynesantos@gmail.com

Gabriel de Oliveira Gaspar

Titulação: Graduando em Engenharia de Produção pela Universidade do Estado do Pará– UEPA

Instituição que atua: Universidade do Estado do Pará

Endereço: Tv. Enéas Pinheiro, 2626, - Marco, Belém – Pará, Brasil

E-mail: go.gaspar30@gmail.com

Elias Carvalho Batista da Costa

Titulação: Graduando em Engenharia de Produção pela Universidade do Estado do Pará– UEPA

Instituição que atua: Universidade do Estado do Pará

Endereço: Tv. Enéas Pinheiro, 2626, - Marco, Belém – Pará, Brasil

E-mail: eliasbtista@hotmail.com

RESUMO

O presente trabalho foi realizado em uma empresa fabricante de pré- moldados de concreto localizada na região metropolitana de Belém, no Estado do Pará. Este teve como objetivo central, desenvolver um modelo linear de planejamento estratégico para a empresa em estudo com auxílio de ferramentas da Pesquisa Operacional visando à minimização dos custos relacionado são número de funcionários. Para isto, foram utilizados dados como produtividade, demanda, horas trabalhadas, capacidade instalada, entre outros. Como auxílio da ferramenta Solver, do Microsoft Excel, foi possível resolver o modelo matemático proposto para assim obter resultados importantes para norte aras toma das de decisões. Os resultados desse estudo foram considerados satisfatórios e mostraram que os custos com funcionários da empresa podem ser reduzidos em pelo menos 5,5% caso seja feita uma readequação do número de funcionários e da quantidade de horas extras dos funcionários contratados.

Palavras-chave: Pesquisa Operacional, Modelo Linear, Minimização de custos, Pré-moldados

ABSTRACT

This work was carried out in a concrete precast concrete company located in the metropolitan area of Belém, in the State of Pará. The main objective of this work was to develop a linear model of strategic planning for the company under study with the help of Operational Research aimed at

minimizing costs related are number of employees. For this, we used data such as productivity, demand, hours worked, installed capacity, among others. As an aid to the Microsoft Excel Solver tool, it was possible to solve the proposed mathematical model in order to obtain important results for the decision making process. The results of this study were considered satisfactory and showed that costs with company employees can be reduced by at least 5.5% if a re-adaptation of the number of employees and the amount of overtime of the employees hired.

Keywords: Operational Research, Linear Model, Cost Minimization, Precast.

1 INTRODUÇÃO

A existência de um mercado nacional que, a cada dia é mais exigente e dinâmico, pede a apresentação de melhores entrantes e condições para o perfil do consumidor, fazendo com que as empresas sintam-se forçadas a diariamente buscar um aprimoramento de seus produtos e processos, com o intuito de atrair demanda e gerar sua lucratividade.

Com a indústria de pré-moldados de concreto isso não é diferente, no cenário atual este segmento encontra-se em um período de transição tecnológica e empresarial, onde de acordo com os dados fornecidos pela Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto (ABCIC) o ramo de sistemas construtivos que utilizam pré-fabricados de concreto, que até o ano de 2015 sofria com uma forte desaceleração, em decorrência da situação financeira que se instalou no país, a partir de 2016 conseguiu uma leve retomada do crescimento, ganhando espaço em novos vieses, como em construções de obras residenciais. Tendo isto em vista, o mercado está buscando se reinventar, rompendo com o paradigma da mão de obra barata e abundante, para migrar a um sistema mais industrializado, onde projeta-se para o ano de 2018 um aquecimento da economia para este setor.

Considerando o cenário descrito acima, instrumentos de minimização de custos em processos produtivos para o planejamento da produção, como o emprego de técnicas de Pesquisa Operacional, por exemplo, são válidos e pertinentes. Batalha (2008) e Colin (2011) corroboram ao dizer que Pesquisa Operacional tem por função a resolução de problemas complexos a fim de apoiar no processo de tomada de decisões, principalmente no que tange a alocação eficiente de recursos escassos.

Portanto, a utilização da pesquisa operacional acarreta na otimização dos processos em uma empresa, proporcionando ganhos no tempo de processamento, maior qualidade do produto e redução dos custos, o que gera grande diferencial em um mercado competitivo.

O presente artigo tem como objetivo geral a obtenção de um modelo linear de planejamento estratégico para a empresa em estudo mais próximo do ótimo possível, visando à minimização dos custos relacionados ao número de funcionários, tendo em vista os dados fornecidos pela

instituição, como demanda, hora de mão de obra disponível, produtividade individual, entre outros. Nesse contexto, entende-se que a modelagem do sistema produtivo através de equações lineares e com ajuda computacional possa convergir em aperfeiçoar os resultados positivos encontrados ao longo dos anos pela companhia em questão.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 PESQUISA OPERACIONAL

A pesquisa operacional originou-se durante a segunda guerra mundial onde foi utilizada para resolver problemas táticos e estratégicos. No Brasil o primeiro grupo de estudos em pesquisa operacional foi desenvolvido na Petrobrás na década de 60, nessa mesma época foi fundada a Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional (SOBRAPO) responsável pelo desenvolvimento e uso de técnicas de Pesquisa Operacional (LÓSS, 1981).

De acordo com a SOBRAPO, a Pesquisa Operacional é uma ciência aplicada voltada para a resolução de problemas reais. Tendo como foco a tomada de decisões, aplica conceitos e métodos de várias áreas científicas na concepção, planejamento ou operação de sistemas. A Pesquisa Operacional é usada para avaliar linhas de ação alternativas e encontrar as soluções que melhor servem aos objetivos dos indivíduos ou organizações. Esta ciência pode ser utilizada no planejamento de operações públicas e privados, em sistemas de alocação de recursos, arranjo de postos de trabalho, programação matemática, ajuda humanitária, etc, com grande poder de aplicação em problemas práticos e reais (KARSU; MORTON, 2015).

2.2 MODELAGEM MATEMÁTICA

De acordo com Hillier (2013), um modelo é uma representação de um sistema real, que pode já existir ou ser um projeto aguardando execução. No primeiro caso, o modelo pretende reproduzir o funcionamento do sistema, de modo a aumentar sua produtividade. No segundo caso, o modelo é utilizado para definir a estrutura ideal do sistema.

Em um modelo matemático, são incluídos três conjuntos principais de elementos: (1) variáveis de decisão e parâmetros: que são as incógnitas a serem determinadas pela solução do modelo e os valores fixos no problema, respectivamente; (2) restrições: que levam em conta as limitações físicas do sistema e limitam as variáveis de decisão a seus valores possíveis (ou viáveis); (3) função objetivo: que é a função matemática que define a qualidade da solução em função das variáveis de decisão.

2.3 PROGRAMAÇÃO LINEAR

Segundo Moore e Weatherford (2005), a programação linear (PL) tem sido bastante utilizada desde a década de 1940 pelos militares e até hoje, muitas empresas se beneficiam do seu uso. Segundo pesquisa da revista Fortune, 85% das empresas já utilizaram ou utilizam programação linear. Esta programação teve como um de seus inventores George B. Dantzig, que descobriu o algoritmo Simplex, que é o mecanismo matemático utilizado para resolver diversos problemas da área.

De acordo com Colin (2007), o problema geral de programação linear é utilizado para otimizar (maximizar ou minimizar) uma função linear de variáveis, chamada de "função objetivo", sujeita a uma série de equações ou inequações lineares, chamadas restrições. Esta característica de linearidade pode ser interessante no tocante à simplificação da estrutura matemática envolvida, mas prejudicial na representação de fenômenos não lineares (por exemplo, funções de custo tipicamente quadráticas).

2.4 MÉTODO SIMPLEX

Segundo Morton (2015), o Método Simplex é uma técnica utilizada para se determinar, numericamente, a solução ótima de um modelo de Programação Linear. O Método Simplex caminha pelos vértices da região viável até encontrar uma solução que não possua soluções vizinhas melhores que ela. A solução ótima pode não existir em dois casos: quando não há nenhuma solução viável para o problema, devido a restrições incompatíveis; ou quando não há máximo (ou mínimo), isto é, uma ou mais variáveis podem tender a infinito e as restrições continuarem sendo satisfeitas, o que fornece um valor sem limites para a função objetivo.

2.5 FERRAMENTA SOLVER

De acordo com Colin (2007), o *Solver* é uma ferramenta poderosa que permite fazer vários tipos de simulações em planilhas, sendo utilizado principalmente para análise de sensibilidade com mais de uma variável e com restrições de parâmetros. Logo, devemos utilizar o recurso *Solver* para localizar um resultado ideal para uma fórmula em uma célula, chamada de célula de destino, tendo disponíveis as seguintes possibilidades, maximizar ou minimizar valores.

Diversas ferramentas para minimizar valores solução de problemas de otimização, comerciais ou acadêmicos, sejam eles lineares ou não, foram desenvolvidas o *Solver* atua com um grupo de células relacionadas direta ou indiretamente com a fórmula na célula de destino. Ou seja, todas as células que influenciam no resultado da célula destino poderão ser alteradas pelo próprio Excel, desde que sejam fórmulas inter-relacionadas e atinjam a meta desejada, avaliando todas as restrições e atingindo o resultado mais próximo possível.

3 METODOLOGIA

A metodologia desenvolvida no presente trabalho seguiu as etapas explicadas por Hillier e Lieberman (2013), apropriadas para o estudo de otimização de custos com base na utilização de ferramentas de Pesquisa Operacional, nas quais são: definir o problema de interesse e coletar dados, formular um modelo matemático para representar o problema e desenvolver um procedimento computacional a fim de derivar soluções com base no modelo de estudo.

Com o intuito de encontrar a resolução do modelo em análise, foi utilizada a ferramenta *Solver*, do *Microsoft Excel*, visando a definição de uma solução ótima usando a programação linear.

3.1 DADOS DA EMPRESA

Para dar início ao estudo foram coletados os dados necessários internos à empresa que são apresentados a seguir, buscando a viabilidade do desenvolvimento do modelo matemático.

3.1.1 Dados de custos

A tabela 1 abaixo, explicita os custos mensais para os coeficientes das variáveis utilizadas na construção da função objetiva do modelo em estudo.

Tabela 1 – Dados de Custos

Meses	Horas Normais (R\$)	Horas Extras (R\$)	Admissão (R\$)	Demissão (R\$)
Julho	954,00	8,95	1.064,00	1.917,73
Agosto	954,00	8,95	1.064,00	1.917,73
Setembro	954,00	8,95	1.064,00	1.917,73
Outubro	954,00	8,95	1.064,00	1.917,73
Novembro	954,00	8,95	1.064,00	1.917,73
Dezembro	954,00	8,95	1.064,00	1.917,73

Fonte: Autores (2018)

Após entrevistas com os gestores da empresa em análise pode-se constatar que a mesma não admite o uso de horas subcontratadas no processo de fabricação de seus produtos, desta forma, esta variável não será utilizada no estudo em questão.

3.1.2 Dados do processamento

As limitações de produção são ordenadas pelos dados descritos na tabela abaixo, que serviu de orientação para o modelo.

Tabela 2 – Dados do processo produtivo

Horas disponíveis de funcionários no mês	176 horas/mês
Produção individual mensal	750 metros lineares
Capacidade máxima de produção	16.000 metros lineares
Número inicial de empregados em Julho	5 empregados

Fonte: Autores (2018)

3.1.3 Dados de demanda

Os dados de demanda serão também utilizados nas restrições e são listados na Tabela 3.

Tabela 3 – Dados de demanda

Mês	Demanda (metro linear)
Julho	1180
Agosto	2670
Setembro	2120
Outubro	3470
Novembro	2800
Dezembro	3600

Fonte: Autores (2018)

3.2 FUNÇÃO OBJETIVO

A função objetivo do presente trabalho consiste na minimização dos custos da empresa em relação ao número de funcionários necessários para a produção dos seus produtos pré- moldados de concreto, se utilizando de uma relação entre todos os dados que foram expostos anteriormente. A resposta do modelo matemático indicará o número mínimo de funcionários nos meses de Julho/17 a Dezembro/17, atendendo as respectivas demandas.

Deste modo, a função objetivo pode ser descrita como:

$$\text{Min} Z = 954 * (\sum_{t=1}^6 \text{Empt}) + 8,50 * (\sum_{t=1}^6 \text{Hxt}) + 1.064 * (\sum_{t=1}^6 \text{Adt}) + 1.917,73 * (\sum_{t=1}^6 \text{Dit})$$

Onde,

Empt = Número de empregados no mês t

Hxt = Quantidade de horas extras utilizadas no mês t Adt = Empregados admitidos no mês t

Dit = Empregados demitidos no mês t

3.3 RESTRIÇÕES DO MODELO

As restrições do modelo foram desenvolvidas a partir dos dados obtidos conforme segue.

a) Restrição de não negatividade das quantidades a serem produzidas: $P_t \geq 0$, para $t = 1, 2, 3, 4, 5, 6$

Onde,

P_t = Quantidade produzida no mês t .

b) A empresa produz a partir de encomendas, tornando a produção mensal igual à demanda de cada mês;

$P_t = D_t$, para $t = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ Onde,

D_t = Demanda existente no mês t .

c) A quantidade de horas para cada funcionário fabricar um produto multiplicado pela quantidade que deve ser produzida, tem que ser menor ou igual à disponibilidade de mão-de-obra de cada mês;

$h_{put} * P_t \leq C_{dispt}$, para $t = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ Onde,

h_{put} = Horas por funcionário para fabricar um metro quadrado no mês t . C_{dispt} = Carga horária disponível no mês t .

d) A quantidade a ser produzida deve ser menor ou igual à capacidade produtiva da empresa, considerando as limitações de equipamentos e instalações;

$P_t \leq 16.000$, para $t = 1, 2, 3, 4, 5, 6$

e) O número de empregados que a empresa deve possuir no final do mês corrente deve ser igual ao número inicial de empregados do mesmo mês, somado com o número de funcionários admitidos e subtraído dos demitidos no mesmo mês;

$Empt = Emp(t - 1) + Ad_t - Dit$, para $t = 1, 2, 3, 4, 5, 6$

f) A quantidade de horas extras que os funcionários podem executar não deve exceder 20% das horas normais, portanto, esta quantidade deve ser menor ou igual ao valor da porcentagem, multiplicado com o produto entre a carga horária de trabalho e o número de empregados do mês analisado;

$Hxt \leq 0,2 * Crgt * Empt$, para $t = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ Onde,

$Crgt$ = Carga horária de trabalho no mês t .

4 RESULTADOS E ANÁLISE DO MODELO**4.1 CENÁRIO ATUAL DA EMPRESA**

Após a análise da situação real da empresa em que se obteve o estudo, constata-se os valores descritos na tabela a seguir.

Tabela 4 – Cenário atual da empresa

Mês	Número de empregados	Horas extras	Empregados admitidos	Empregados demitidos	Demanda (metro linear)
Julho	5	0	0	0	1180
Agosto	5	0	0	0	2670
Setembro	5	0	0	0	2120
Outubro	5	0	0	0	3470
Novembro	5	0	0	0	2800
Dezembro	5	0	0	0	3600

Fonte: Autores (2018)

Partindo dos dados da tabela 4, pode-se constatar que no período estudado a empresa não fez uso de horas extras para auxiliar na produção, tendo com isso a fabricação voltada somente para o seu quadro de funcionários fixos. Também deve ser lembrado do fato da não utilização de horas subcontratadas, decisão que foi convencionada pelos gestores da organização.

Com relação ao número de funcionários, constatou-se a presença de 5 empregados que auxiliavam a produção neste período, não havendo assim nenhuma admissão ou demissão. Esta quantidade foi capaz de suprir as necessidades demandadas em cada mês, sem a geração de atrasos ou perda de oportunidades, no entanto a taxa média de utilização da carga horária disponível de mão de obra em cada mês apresentou-se em torno de 70%, apresentando grandes períodos de tempo de mão de obra ociosa, tendo os meses de Julho e Setembro como os que mais sofriam com esta situação, acabando por gerar custos desnecessários para a empresa.

Ao ser exposto à modelagem matemática, constatou-se que os custos mínimos entre Julho/17 a Dezembro/17 que a empresa teve com os funcionários para a produção do pré-moldado de concreto foi em torno de R\$ 28.620,00, não levando em consideração no cálculo eventuais contratemplos e adversidades, apresentando dessa forma a necessidade da busca de outros cenários para a otimização do processo em questão, conseguindo menores custos e maior lucro.

4.2 CENÁRIO ÓTIMO

Com o intuito de se obter o resultado ótimo para a empresa, foi utilizado o programa *Solver* do *Microsoft Excel*, no qual conseguiu-se ter o seguinte resultado demonstrado na tabela abaixo.

Tabela 5 – Cenário ótimo

Mês	Número de empregados	Horas extras	Empregados admitidos	Empregados demitidos	Demanda (metro linear)
Julho	4	0	0	1	1180
Agosto	4	0	0	0	2670
Setembro	4	0	0	0	2120
Outubro	4	110,3	0	0	3470
Novembro	4	0	0	0	2800
Dezembro	4	140,8	0	0	3600

Fonte: Autores (2018)

A tabela 5 demonstra que nos meses Julho à Dezembro, foram utilizados 4 funcionários, sendo estes suficientes para atender a demanda, para isto fazendo necessária a demissão de um funcionário no mês inicial de estudo. As horas extras foram utilizadas nos períodos de Outubro e Dezembro, sendo observado um pico de crescimento na demanda quando comparado aos outros meses, tendo uma quantidade de 110,3 e 140,8 horas extras respectivamente. Sendo assim, conseguiu-se a não geração de atrasos e a não perda de oportunidades.

Com a utilização do modelo em que se faz uso de horas extras na produção, pode-se constatar que este seria o mais adequado para se atingir o menor tempo ocioso de mão de obra possível, se aproximando do zero folga, para se obter o menor custo possível. A tabela a seguir mostra os dados da carga horária disponível em relação a carga horária necessária por mês.

Tabela 6 – Hora de mão de obra

Mês	CH necessária	CH disponível
Julho	276,9066667	704
Agosto	626,56	704
Setembro	497,4933333	704
Outubro	814,2933333	814,2933333
Novembro	657,0666667	704
Dezembro	844,8	844,8

Fonte: Autores (2018)

Por meio da tabela 6 deixou-se claro uma maior utilização da mão de obra/hora com relação ao modelo anterior, tendo em conta que este possui uma taxa média de utilização da carga horária disponível de mão de obra em cada mês de aproximadamente 83%, conseguindo desta forma um aumento de 13% em relação a situação atual da empresa, otimizando os processos.

Com relação ao custo com os funcionários pode-se perceber que mesmo com a inserção de horas extras em determinados meses do estudo, o custo total dos 6 meses conseguiu ser menor que do modelo inicial, isso se deve ao fato da diminuição de 1 funcionário na folha de pagamento,

obtendo um somatório de R\$ 27.061,02, uma diminuição de R\$1.558,98 do custo total com mão de obra, como pode ser vista na tabela 7 abaixo.

Tabela 7 – Custo com funcionários

Mês	Custo real (R\$)	Custo ótimo (R\$)	Custo reduzido (R\$)
Julho	4.770	5.733,73	- 963,73
Agosto	4.770	3.816	954,00
Setembro	4.770	3.816	954,00
Outubro	4.770	4.803,13	- 33,13
Novembro	4.770	3.816	954,00
Dezembro	4.770	5.076,16	- 306,16
Total	28.620,00	27.061,02	1.558,98

Fonte: Autores (2018)

Concluiu-se também por meio de análises, a quantidade máxima de demanda mensal que o número de funcionários do cenário ótimo suportaria, visto que essa informação é de grande valia para os planos futuros da empresa. Após os cálculos definiu-se como aproximadamente 3612 metros lineares a sua capacidade máxima suportada, tendo em vista o cálculo da fórmula a seguir:

$$CM = (\text{Prod Indv} * \text{Empt}) + (\text{Max Hxt} \div \text{hput}) \text{ Onde,}$$

CM = capacidade máxima suportada ProdIndv = produtividade individual por mês

Max Hxt= horas extras máximas permitidas por lei

Desta forma, sugere-se que para demandas maiores que o exposto, deva-se fazer um novo estudo quantitativo de funcionários, afim de sempre almejar o caminho ótimo a ser seguido.

5 CONCLUSÃO

O objetivo geral do presente artigo foi alcançado com resultados considerados satisfatórios, caso seja implantada as readequações propostas neste trabalho, a empresa conseguirá reduzir cerca de 5,5% os gastos com a mão de obra, uma diminuição de R\$ 1.558,98 por meio da demissão de um funcionário e na inserção de horas extras, sendo guiada pelo modelo matemático obtido, proporcionando uma lucratividade confiável. Mostramos por meio dos cálculos e tabelas, a redução da ociosidade do processo produtivo convergindo para um aumento de 13% na utilização dos funcionários operacionais da produção, aproximando da “folga zero”, concluímos também a demanda máxima que a empresa irá conseguir atender com o cenário ótimo proposto na qual seria de aproximadamente 3612 metroslineares.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA DO CONCRETO.

Sondagem de

expectativas da indústria de pré-fabricados de concreto, 2014. Disponível em: <http://site.abcic.org.br/pdf/relat_FGV_DadosSetor.pdf>. Acesso em: 26 de março de 2018

BATALHA, Mário Otávio. **Introdução à engenharia de produção**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

COLIN, Emerson C. **Pesquisa Operacional: 170 Aplicações em Estratégia, Finanças, Logística, Produção, Marketing e Vendas**. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

COLIN, E. **Pesquisa operacional**. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

CONCRETO LATINO-AMERICANO. Pré-moldados: Novas tecnologias, 2017. Disponível em: <https://www.construcaolatinoamericana.com/pre-moldados-novas-tecnologias/130752.article>.

Acesso em: 26 de março de 2018

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS. Sondagem da construção, 2016. Disponível em: <<http://portalibre.fgv.br/main.jsp?lumChannelId=4028818B35E961E70135ED299D27280D/>>

. Acesso em: 26 de março de 2018

HILLIER, F.S.; LIEBERMAN, G.J. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 9 ed. São Paulo: AMGH, 2013.

KARSU, Ö.; MORTON, A. Inequity averse optimisation in operational research. **European Journal of Operational Research**, fev. 2015.

LÓSS, Z. E. **O Desenvolvimento da Pesquisa Operacional no Brasil**. Dissertação de mestrado. COPPE/UFRJ, 1981.

MOORE, J.; WEATHERFORD, L. **Tomada de decisão em administração com planilhas eletrônicas**. Porto Alegre: Bookman, 2005