

**MAXIMIZAÇÃO DA MARGEM DE CONTRIBUIÇÃO DE UMA  
INDÚSTRIA DE  
PRÉ-MOLDADOS: UMA APLICAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR**

**MAXIMIZAR EL MARGEN DE CONTRIBUCIÓN DE UNA INDUSTRIA  
DE  
PREMOLDES: UNA APLICACIÓN DE LA PROGRAMACIÓN LINEAL**

**MAXIMIZING THE CONTRIBUTION MARGIN OF AN INDUSTRY OF  
PREMOLDS: AN APPLICATION OF LINEAR PROGRAMMING**

---

**Resumo**

Propor um modelo de programação linear que permita a maximização da margem de contribuição de uma indústria de pré-moldados. Utilizou-se o método de análise documental, observação direta e entrevista semiestruturada com gestores. Para o problema de definição do *mix* de produção, existem dez restrições que foram analisadas na observação da produção da estaca, sendo; mão de obra, matéria-prima, tempo de equipamento e espaço de estocagem. Com objetivo de encontrar a solução ótima (quantidades dos produtos), aplicou-se a programação linear através da ferramenta *Solver* do *Microsoft Office Excel*. Os resultados demonstraram que a solução ótima, é produzir 916 unidades da estaca do tipo 8x20 e 131 unidades da estaca do tipo 8x30 tendo uma margem de contribuição ótima de R\$429.852,72. Foi realizado um comparativo da solução ótima com um rateio para cada produto sendo identificado que a margem de contribuição será menor e ainda a empresa terá problemas com a falta de mão de obra e de matéria-prima caso opte por não usar a solução ótima. O presente trabalho buscou mostrar como a pesquisa operacional pode contribuir para a busca da otimização das operações que ocorrem dentro de uma empresa

**PALAVRAS CHAVE:** Programação Linear. Pesquisa Operacional. Indústria de pré-moldados. Margem de Contribuição e Custos.

**Resumen**

Proponer un modelo de programación lineal que permita maximizar el margen de contribución de una industria de prefabricados. Se utilizó análisis de documentos, observación directa y entrevistas semiestructuradas a los gerentes. Para el problema de definir la mezcla de producción, existen diez restricciones que se analizaron en la observación de la producción de la pila, siendo; mano de obra, materia prima, tiempo de equipo y espacio de almacenamiento. Para encontrar la solución óptima (cantidades de productos) se aplicó programación lineal a través de la herramienta *Solver* en *Microsoft Office Excel*. Los resultados mostraron que la solución óptima es producir 916 unidades del tipo pila 8x20 y 131 unidades del tipo pila 8x30, teniendo un margen de contribución óptimo de R\$ 429.852,72. Se realizó una comparación de la solución óptima con un prorrateo por cada

produto, identificando que el margen de contribución será menor y la empresa seguirá teniendo problemas de falta de mano de obra y materia prima si opta por no utilizar la solución óptima. El presente trabajo buscó mostrar cómo la investigación operativa puede contribuir a la búsqueda de la optimización de las operaciones que se dan dentro de una empresa.

**PALABRAS CLAVE:** Programación Lineal. Investigación Operativa. Industria de prefabricados. Margen de Contribución y Costes.

### **Abstract**

To propose a linear programming model that allows the maximization of the contribution margin of a precast industry. Document analysis, direct observation and semi-structured interviews with managers were used. For the problem of defining the production mix, there are ten restrictions that were analyzed in the observation of the production of the pile, being; labor, raw material, equipment time and storage space. In order to find the optimal solution (quantities of products), linear programming was applied through the Solver tool in Microsoft Office Excel. The results showed that the optimal solution is to produce 916 units of the 8x20 type pile and 131 units of the 8x30 type pile, having an optimal contribution margin of R\$429,852.72. A comparison of the optimal solution was carried out with an apportionment for each product, identifying that the contribution margin will be lower and the company will still have problems with the lack of labor and raw material if it chooses not to use the optimal solution. The present work sought to show how operational research can contribute to the search for the optimization of operations that occur within a company.

**KEYWORDS:** Linear Programming. Operational Research. Precast industry. Contribution Margin and Costs.

## **1. Introdução**

Com significativo aumento da concorrência entre empresas em virtude da globalização, as organizações buscam utilizar como gestão estratégica a contabilidade de custo. Para algumas empresas essa atitude pode garantir a continuidade da organização. Sendo assim, é preciso buscar de forma contínua ferramentas que possibilitam otimizar resultados (LINS; SILVA, 2010). De acordo com Martins (2003) o crescimento do empreendedorismo, fez com que a contabilidade de custos passasse de mera auxiliar na avaliação de estoques e lucros globais para importante arma de controle e decisões gerenciais, que tange à decisão, pois consiste na alimentação de informações sobre valores relevantes, que interferem diretamente no planejamento em curtos e longos prazos, e tomadas de decisões referentes a preços, opções de compras e demais ações necessárias para obter lucro.

Blocher et al. (2007) alegam que as informações de custos são muito importantes principalmente no momento que precisa decidir o que vai originar mais benefício para empresa produzir, comprar ou até mesmo alugar, dependendo de determinadas situações, e nestes casos é necessário que se recorra a métodos mais sofisticados, como a programação linear, por exemplo, ou outros modelos matemáticos da pesquisa operacional (MARTINS, 2003). A programação linear é uma ferramenta que vem da pesquisa operacional, como o próprio nome indica, que trata de pesquisa sobre operações, ou seja, ela é aplicada em operações que envolvem decisões de como conduzir e

coordenar as atividades em uma organização (HILLIER; LIEBERMANN, 2006). Os seus benefícios são exatamente aqueles problemas procurados por qualquer empresa: diminuição dos custos e aumento dos lucros (GONÇALVES; KOPROWINSKI, 1995). Campos (2013) avaliou que todos os setores empresariais estão envolvidos e sofrem as consequências da globalização. A concorrência preocupa os gestores de empresas, e para se manter no mercado procuram meios de controlar todas as atividades que influenciam o custo final do produto, desta maneira é fundamental encontrar ferramentas que possibilitam a redução de custos e maximize a margem de contribuição.

A área industrial é um dos setores que mais precisou evoluir com as mudanças, e as organizações demonstraram preocupações com fatores que influenciam os negócios, como a margem de contribuição, controle de custos, controle de desperdícios de produção, o custo a ser atribuído a determinado produto, entre outras (GIBBON; RAUPP; BEUREN, 2004).

Costa e Rosa (2013), afirmaram que os gestores tomam decisões sem conhecimento das informações sobre os produtos que mais contribuem para o resultado da empresa por não utilizar as técnicas que orientem as escolhas direcionadas aos produtos e ao aperfeiçoamento dos resultados. De acordo com Sanches et al. (2018) as empresas não utilizam para a tomada de decisão a programação linear, mesmo acreditando que isso poderia trazer bons frutos à organização. Percebe-se que as empresas e principalmente as indústrias precisam de ferramentas que possam auxiliar na maximização da margem de contribuição e nas tomadas de decisões, e com a programação linear é possível resolver este problema e as demais situações que as organizações enfrentam com relação aos custos e margem de contribuição.

Deste modo, a questão do problema que permeia este estudo é: Como determinar a maior margem de contribuição de produtos de uma indústria de pré-moldados quando se utiliza procedimentos e ferramentas da pesquisa operacional? Este estudo tem como objetivo propor um modelo de programação linear advindo de procedimentos da pesquisa operacional que permita a maximização da margem de contribuição de uma indústria de pré-moldados considerando diferentes restrições existentes.

Mores et al. (2006) constataram que as empresas enfrentam dificuldades, sendo assim a utilização da programação linear pode auxiliar os gestores a maximizar resultados com os recursos já existentes, evidenciando quais são as áreas problemáticas dentro da empresa, quais são os gargalos de produção que devem contemplar os novos investimentos e definir melhores recursos para novos investimentos. Este trabalho difere dos demais estudos realizados na área temática, pois os autores citados anteriormente utilizaram a mesma ferramenta, mas com intuítos diferentes de resolver uma problemática. De acordo Ribeiro, Soares e Nagano (2007) a contabilidade de custo se limita as práticas tradicionais para a tomada de decisão, existindo assim uma lacuna no ensino por falta da interdisciplinaridade entre as disciplinas de contabilidade de custos e matemática e a programação linear surge como uma ferramenta que também visa auxiliar na tomada de decisão.

De forma social, o trabalho procura enriquecer o conhecimento de interessados, mesmo que de forma indireta evidenciando a importância de uma das técnicas de pesquisa operacional conhecida como programação linear. O estudo se faz relevante, pois analisam pontos que impactam nas tomadas de decisões, sendo utilizadas ferramentas que os gestores poderão definir quais dos itens vale mais a pena produzir. No âmbito operacional a ferramenta matemática e computacional ligada à pesquisa operacional é bastante eficiente para os gestores tomar decisões precisas, ótimas e sem margens de erros, sendo

assim poderá ser útil para a previsão de minimização dos custos e maximização da margem de contribuição, o qual é importante para as tomadas de decisões rápidas e acertadas. De forma empresarial, este estudo procura demonstrar ferramentas e procedimentos da pesquisa operacional, que pode auxiliar os administradores a tomar as melhores decisões para a organização, como: decidir o melhor *mix* de produtos que atenda às necessidades dos recursos disponíveis e que geram o maior benefício econômico para empresa. Na perspectiva teórica, este estudo contribui no sentido de complementar as pesquisas multidisciplinares pois utiliza a teoria de custos e as ferramentas dos métodos quantitativos (a programação linear da pesquisa operacional) em uma indústria de pré-moldados.

Nas próximas seções será apresentado de modo ordenado o referencial teórico, contextualizando os estudos que abordaram a temática deste trabalho. Em seguida será demonstrado os métodos e procedimentos da pesquisa. Na sequência apresenta-se a análise de dados e análise de resultados. E por fim a conclusão.

## **2. Contabilidade de Custos**

Após a revolução industrial a contabilidade teve que se reformular para a nova realidade das empresas. Com isso houve adaptação ao ciclo operacional das empresas industriais, os custos apurados pelas empresas comerciais passaram a ser custo de indústria, incorporando assim o custo de produção, todos os insumos utilizados para atender o ciclo operacional das indústrias, tais como matéria-prima, mão de obra e custos indiretos de fabricação (SANTOS, 1994). De acordo com Berbel (2003) a contabilidade de custos é utilizada para registrar informações e mensurar todos os gastos gerados na produção de bens e serviços.

A junção de registros contábeis com cálculos se faz necessário para saber o real custo para fabricação de um produto. A contabilidade de custo tem procedimentos específicos para custear a produção de produtos industriais. O diferencial da contabilidade de custos dos demais ramos da contabilidade são os procedimentos praticados na área de produção da empresa industrial, os quais exigem a aplicação de critérios específicos para custear a produção. Para Romão e Pereira (2015) a contabilidade de custos permite conhecer a situação econômica e técnica das organizações, onde contribui no processo de planificação e tomada de decisão do gestor, de outra forma auxilia as organizações alcançarem os objetivos previamente fixados e tomando as necessárias medidas corretivas quando estes não forem atingidos. A contabilidade de custos é um ramo que facilita o desempenho dos administradores, possuindo duas grandes funções relevantes que trata o apoio de controle da organização e o auxílio para às tomadas de decisões (MARTINS, 2003). Para Santos e Almeida (2007) a contabilidade de custos utiliza alguns métodos que auxiliam para a tomada de decisão.

Dentre os métodos, foi abordado o custeio de absorção, o custeio variável e a margem de contribuição. Segundo Megliorini (2012) o método de custeio por absorção se distingue por apropriar custos fixos e variáveis aos produtos, absorvendo todos os custos incorridos de um período nos produtos fabricados e já o método de custeio variável, os custos fixos não são apropriados aos produtos. De acordo com Megliorini (2012) a margem de contribuição é o montante que sobra do preço de vendas, deduzindo os custos e despesas variáveis, o montante que sobrar é para atender os custos fixos e despesas fixas e o lucro, sendo assim as empresas começam a ter lucro quando a margem de contribuição dos produtos vendidos suprir os custos e despesas fixas do exercício. Para realizar a margem

de contribuição é importante definir os custos fixos das variáveis que podem ser classificados como direto ou indireto, pois pode impactar nos resultados e nas tomadas de decisões. Os custos variáveis são aqueles custos dos recursos que relacionam aos dados do volume de produção, vai variar de acordo com a produção e o custo fixo é considerado fixo quando seu valor não se altera com as mudanças, para mais ou para menos, do volume produzido ou vendido dos produtos finais (PADOVEZE, 2020).

Segundo Mores et al. (2006) a contabilidade de custos traz informações que possa auxiliar no processo de decisão e gestão de custos, buscando sempre encontrar melhores resultados, sendo que a otimização do recurso é um dos principais fatores que irá determinar o resultado, desta maneira a programação linear pode ajudar na otimização de recursos. Segundo Santos (1994) a contabilidade de custos juntamente com a programação linear pode gerar informações relevantes na tomada de decisão, podendo contribuir com a administração dos recursos disponíveis a serem consumidos pela empresa. Nesse estudo, a contabilidade de custos foi utilizada como fornecedora de informações, auxiliando no processo decisório das organizações.

### **3. Programação Linear**

Segundo Santos (1994) a programação linear foi desenvolvida durante a Segunda Guerra Mundial, e foi utilizada como um instrumento de administração das estratégias militares e, com o passar do tempo foi conduzida para as organizações como uma ferramenta eficaz para resolver problemas de decisão. De acordo com Crisóstomo et al., (2002) a programação linear é uma técnica de planejamento da pesquisa operacional, que se tornou uma ferramenta utilizada para todos os ramos de atividade, criada em 1946, foi utilizada para alocação de recursos e utilização de matéria-prima, transporte, localização de instalações, composição de carteira de investimentos, encontrar menor custo e maior lucro de produtos. Segundo Ribeiro, Soares e Nagano (2007) os avanços computacionais contribuíram para a utilização da programação linear como ferramenta na gestão empresarial, devido a inclusão do recurso *Solver* no *Microsoft Office Excel* nas planilhas eletrônicas, que resolve o problema de programação linear.

Odorizzi et al. (2013) afirmaram que muitas empresas procuram conhecer os principais aspectos que envolvem o processo de custos, para compreendê-los e aplicá-los na empresa com o objetivo de reduzir o valor do produto fabricado e gerar a maior margem de contribuição. Batalha et al. (2008) comentam que com o uso de programação linear é possível criar um modelo matemático que represente problemas industriais, como: linha de produção de uma empresa, distribuição de produtos, controle de recursos e a maximização de margem de contribuição. Conforme Bandeira e Blanck (2015), o uso da modelagem computacional, no caso a programação linear “método Solver” são comprovadamente ferramentas importantes para a análise da capacidade produtiva e a tomada de decisão, e o estudo de Reis et al. (2018) afirmam que a programação linear gera resultados excelentes para cada tipo de problema. É pertinente a aplicação do estudo utilizando este método, a fim de saber se os gestores podem utilizar como ferramenta para as tomadas de decisões, analisando o *mix* de produto.

Conforme García (1998) a programação linear é a técnica ideal para verificar a melhor combinação dos recursos físicos, matéria-prima e mão de obra que possa maximizar a margem de contribuição e minimizar custo da empresa, e conforme Reis et al., (2018) a programação linear é eficaz no desenvolvimento de aplicações possibilitando integrar e automatizar sistemas inteiros de gerenciamento de empresas e indústrias. Segundo Santos (1994) as informações colhidas da contabilidade de custos a serem aplicadas na

programação linear podem gerar informações importantes para administração dos recursos de uma empresa, contribuindo com a administração nos processos decisórios da organização. De acordo com Hillier e Liebermann (2006), a programação linear é uma técnica de otimização que é muito utilizada na resolução de problemas com intuito de alocar da melhor forma o possível, encontrando a solução ótima dos recursos limitados para as atividades que se compete entre si. Pela sua simplicidade e a possibilidade de aplicação em uma considerável diversidade de problemas, tornou-se um recurso bastante difundido.

Para aplicar a programação linear se faz necessário executar três etapas, a primeira se trata das definições das variáveis de decisão que se deseja determinar, o segundo é o objetivo que se deseja otimizar e terceiro e último são as restrições que devem ser cumpridas pela solução (AZEVEDO et al., 2018). A programação linear consiste na maximização ou minimização de uma função linear, denominada função-objetivo, que se refere ao objetivo que o administrador quer alcançar como resultado sendo diminuir custo ou aumentar a margem de contribuição. Restrição é aquilo que impede um melhor desempenho de um sistema, sendo as limitações de recursos disponíveis, como: mão de obra, matéria-prima, espaço de estocagem, capital, ou outros fatores que afetam atuação da empresa. As restrições delimitam uma região de um plano na qual se insere o conjunto das soluções viáveis. A melhor dessas soluções, ou seja, aquela que maximiza ou minimiza a função-objetivo é chamada solução ótima. A programação linear visa determinar essa solução ótima (CHAGAS; NOSSA, 1998).

## **4. Método e procedimentos da pesquisa**

Nesta seção, são apresentados os aspectos metodológicos adotados para alcançar o objetivo proposto, evidenciando o delineamento da pesquisa demonstrando em sequência o caso estudado, e por fim as técnicas de coleta e análise de dados utilizadas.

### **4.1. Delineamento da pesquisa**

Quanto à abordagem do problema, realizou-se uma pesquisa de natureza quantitativa, quanto aos objetivos da pesquisa se enquadra como exploratória. No que concerne aos procedimentos, esta pesquisa é caracterizada como estudo de caso, pois foram coletados dados reais da indústria para desenvolver a pesquisa.

### **4.2. O caso**

A empresa, objeto de estudo, por ora denominada Beta (nome fictício), é uma indústria de pré-moldado localizada no Alto Vale do Itajaí e iniciou suas atividades em 2002. A empresa conta em média com 350 funcionários. O mercado de atuação contempla o sul do Brasil fornecendo soluções em estruturas pré-fabricadas sendo que os principais produtos são: estacas, lajes alveolares, pilares, vigas, terças e painel. Para viabilizar a realização desta pesquisa a escolha da empresa deu-se em decorrência da possibilidade de acesso aos registros da organização e com a disponibilidade dos gestores em colaborar no fornecimento de dados sobre o processo de fabricação e venda dos produtos.

### **4.3. Procedimentos de coleta de dados**

A pesquisa é realizada por meio de análise documental, observação direta e entrevista semiestruturada. O estudo utiliza um caso para analisar e determinar a maior margem de contribuição de produtos de uma indústria de pré-moldados. Dentre os vários produtos fabricados, as estacas foram escolhidas devido a empresa fornecer informações derivadas a este produto e por contar com 20 tamanhos diferentes. Foi observada a realização da produção de estacas durante três dias no mês de maio de 2021. A Figura 1 demonstra o detalhamento da estaca e a matéria-prima utilizada para a fabricação. Os estribos vão dentro da estaca que servem para dar resistência. A cabeça da estaca leva uma quantidade maior devido a batida que é realizada no momento da cravação e pelo resto do corpo também é distribuído uma certa quantidade. Para a utilização dos estribos nas estacas é preciso passar por um processo de transformação que será mostrada na Figura 2. A matéria-prima utilizada é aço CA60 de 4,2mm, 5mm, 6mm ou 7mm, que depende do tamanho e espessura de cada estaca. São de formato linear e para virar um estribo é preciso dobrar o aço.

Figura 1. Detalhamento da estaca

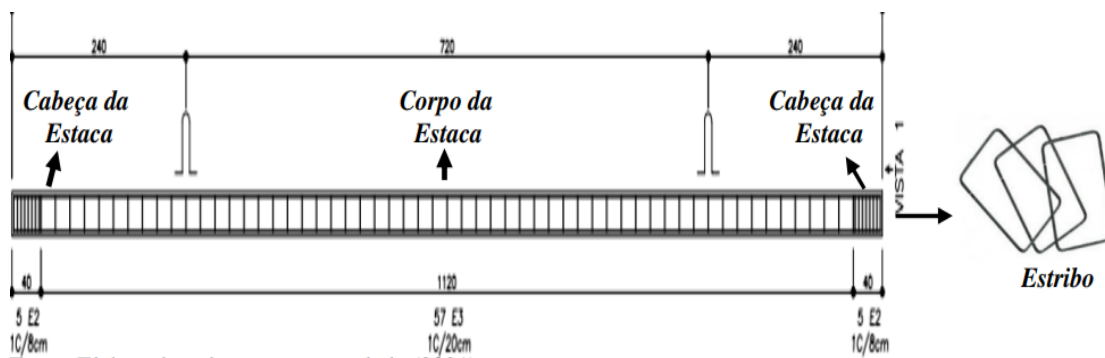


Figura 2. Processo de produção do estribo



Para o desenvolvimento da entrevista, foi elaborado um constructo a fim de apresentar as perguntas que foram efetuadas com os gestores no intuito de compreender o processo da produção das estacas e analisar os produtos utilizados como matéria-prima e despesas. As questões apresentadas nos constructos envolveram o processo de produção das estacas, buscando identificar os custos e despesas para aplicar na programação linear, conforme expõe o Quadro 1.

Quadro 1. Questões e autores

| Questões utilizadas                                     | Autores                                                         |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Quais são as matéria-prima utilizadas para a produção?  | Blocher et al. (2007); Lins e Silva (2010); Mores et al. (2006) |
| Quantidade de matéria-prima?                            | Lins e Silva (2010); Megliorini (2012)                          |
| Quais e quantas Máquinas e equipamentos são utilizadas? | Megliorini (2012)                                               |
| Qual é o tempo de produção?                             | Bandeira e Blanck (2015); Bertó e Beulke (2006)                 |
| Qual é a hora-máquina utilizada?                        | Mores et al. (2006)                                             |
| Quanto tempo utilizado de mão de obra "hora-homem"      | Megliorini (2012); Mores et al. (2006)                          |
| Quantidade disponível existente?                        | Mores et al. (2006); Reis et al. (2020)                         |
| Espaço estocagem?                                       | Bertó e Beulke (2006); Megliorini (2012)                        |

Foi realizada entrevista e conversa informal com um dos gestores que participa do processo de gerenciamento das atividades e de produção, as quais duraram aproximadamente 20 horas, sendo distribuído este tempo em dois meses iniciando em maio de 2021 e terminando em julho de 2021. As conversas ocorreram na residência do entrevistado e dúvidas no decorrer do trabalho ocorreram por via *WhatsApp*, *e-mail* e ligações telefônicas. O objetivo desta entrevista foi compreender o processo de produção das estacas. A pesquisa foi realizada como não participante. De posse das informações coletadas, foi proposto um modelo de gestão que possibilite a empresa administrar seus recursos e otimizar os resultados do negócio, alcançando um *mix* de produção que maximize a margem de contribuição.

A primeira fase do estudo da pesquisa operacional é a definição do problema, que se refere as escolhas das variáveis, função objetivo e restrição. Neste estudo foram consideradas para o modelo os produtos fabricados na indústria “Beta”, as estacas. Foi informado pela empresa o preço de venda e os custos de mão de obra, matéria-prima, custos indiretos, que gerou a margem de contribuição os quais podem ser observados no Quadro 2.

Quadro 2. Variáveis e margem de contribuição unitária

| Grupo do Produto | Produto         | Variável | Margem de Contribuição Unitária |
|------------------|-----------------|----------|---------------------------------|
| Estaca 6m        | Estaca 6X18X18  | S18      | R\$ 200,35                      |
|                  | Estaca 6X20X20  | S20      | R\$ 271,96                      |
|                  | Estaca 6X23X23  | S23      | R\$ 246,70                      |
|                  | Estaca 6X26X26  | S26      | R\$ 299,80                      |
|                  | Estaca 6X30X30  | S30      | R\$ 400,46                      |
| Estaca 8m        | Estaca 8X18X18  | Y18      | R\$ 242,51                      |
|                  | Estaca 8X20X20  | Y20      | R\$ 389,22                      |
|                  | Estaca 8X23X23  | Y23      | R\$ 336,18                      |
|                  | Estaca 8X26X26  | Y26      | R\$ 427,24                      |
|                  | Estaca 8X30X30  | Y30      | R\$ 560,73                      |
| Estaca 10m       | Estaca 10X18X18 | D18      | R\$ 304,38                      |
|                  | Estaca 10X20X20 | D20      | R\$ 392,45                      |
|                  | Estaca 10X23X23 | D23      | R\$ 344,23                      |
|                  | Estaca 10X26X26 | D26      | R\$ 376,95                      |
|                  | Estaca 10X30X30 | D30      | R\$ 295,86                      |
|                  | Estaca 12X18X18 | X18      | R\$ 367,21                      |

|            |                 |     |     |        |
|------------|-----------------|-----|-----|--------|
| Estaca 12m | Estaca 12X20X20 | X20 | R\$ | 475,68 |
|            | Estaca 12X23X23 | X23 | R\$ | 310,21 |
|            | Estaca 12X26X26 | X26 | R\$ | 383,95 |
|            | Estaca 12X30X30 | X30 | R\$ | 372,02 |

O somatório entre as variáveis e suas respectivas margem de contribuição formaram a equação da função objetivo, realizando assim a segunda fase da pesquisa operacional que se refere a construção do modelo da função:

$$\text{Max } Z = 200,35_{S18} + 271,96_{S20} + 246,70_{S23} + 299,80_{S26} + 400,46_{S30} + 242,51_{Y18} + 389,22_{Y20} + 336,18_{Y23} + 427,24_{Y26} + 560,73_{Y30} + 304,38_{D18} + 392,45_{D20} + 344,23_{D23} + 376,95_{D26} + 295,86_{D30} + 367,21_{X18} + 475,68_{X20} + 310,21_{X23} + 383,95_{X26} + 372,02_{X30}$$

Para o problema de definição do *mix*, existem dez restrições que foram analisadas na observação da produção das estacas, uma das restrições identificadas foi a mão de obra. A empresa informou a quantidade de tempo utilizada para cada produto e a capacidade máxima de produção mensal, tendo como base o mês de março de 2021. A segunda restrição identificada foi a limitação de espaço físico disponível para armazenamento. Foi realizado o cálculo do espaço que a estaca ocupa considerando que podem ser empilhadas até 5 unidades e seu limite de espaçamento foi considerado a área disponível para estocagem da empresa. Outra restrição que foi considerada é um dos equipamentos, chamado ponte rolante, ele é utilizado para outros processos que não envolve as estacas e tem um tempo limite que pode usar neste processo. A quantidade de tempo utilizado para cada produto e o tempo disponível deste equipamento para estacas foi informado pela empresa estudada. Estas três restrições com a quantidades informadas e as capacidades calculadas, são apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3. Restrições: mão de obra, espaço de estocagem e equipamento

| Produto | MOD- minutos | Espaço de estocagem m <sup>2</sup> | Equipamento- minutos |
|---------|--------------|------------------------------------|----------------------|
| S18     | 31,93        | 0,25                               | 2,17                 |
| S20     | 39,53        | 0,27                               | 2,6                  |
| S23     | 52,37        | 0,31                               | 2,6                  |
| S26     | 67,23        | 0,43                               | 3,25                 |
| S30     | 89,7         | 0,49                               | 4,33                 |
| Y18     | 42,57        | 0,32                               | 2,89                 |
| Y20     | 52,71        | 0,35                               | 3,47                 |
| Y23     | 69,94        | 0,4                                | 3,47                 |
| Y26     | 89,53        | 0,56                               | 4,33                 |
| Y30     | 119,6        | 0,64                               | 5,78                 |
| D18     | 53,21        | 0,39                               | 2,71                 |
| D20     | 65,88        | 0,43                               | 3,25                 |
| D23     | 87,51        | 0,49                               | 3,25                 |
| D26     | 112          | 0,69                               | 4,06                 |
| D30     | 149,5        | 0,79                               | 5,42                 |
| X18     | 63,86        | 0,46                               | 4,33                 |
| X20     | 79,06        | 0,51                               | 5,2                  |

|               |               |              |              |
|---------------|---------------|--------------|--------------|
| X23           | 104,91        | 0,58         | 5,2          |
| X26           | 134,3         | 0,82         | 6,5          |
| X30           | 179,4         | 0,94         | 8,67         |
| <b>Limite</b> | <b>66.000</b> | <b>2.710</b> | <b>8.400</b> |

Outras sete restrições que foram consideradas são as quantidades de matérias-primas que são utilizadas para a fabricação dos produtos. Para essas restrições foi preciso conhecer quanto é usado de cada matéria-prima em cada produto e desse modo foi realizada a conversão de todos os produtos em Quilogramas para a aplicação no *Solver*. Essas conversões podem ser visualizadas no Quadro 4.

Quadro 4. Restrições: matéria-prima

| Produto       | Cimento           | Press mix  | Areia      | Fio de protensão | Brita nº 1 | Aço CA60        | Brita nº 0 |
|---------------|-------------------|------------|------------|------------------|------------|-----------------|------------|
| S18           | 56,7              | 0,14       | 0,16       | 4,0              | 0,08       | 2,85            | 0,13       |
| S20           | 70,2              | 0,18       | 0,17       | 5,77             | 0,11       | 2,92            | 0,16       |
| S23           | 93,0              | 0,23       | 0,18       | 5,77             | 0,14       | 3,46            | 0,21       |
| S26           | 127,36            | 0,32       | 0,19       | 5,77             | 0,18       | 3,31            | 0,27       |
| S30           | 159,3             | 0,4        | 0,22       | 5,77             | 0,24       | 4,49            | 0,35       |
| Y18           | 75,6              | 0,19       | 0,21       | 7,55             | 0,11       | 3,59            | 0,17       |
| Y20           | 93,6              | 0,23       | 0,22       | 7,55             | 0,14       | 2,91            | 0,21       |
| Y23           | 124,2             | 0,31       | 0,24       | 7,55             | 0,19       | 3,95            | 0,28       |
| Y26           | 159               | 0,4        | 0,26       | 7,33             | 0,24       | 4,57            | 0,35       |
| Y30           | 212,4             | 0,53       | 0,29       | 7,55             | 0,32       | 6,16            | 0,47       |
| D18           | 94,5              | 0,24       | 0,27       | 9,32             | 0,14       | 4,49            | 0,21       |
| D20           | 117               | 0,29       | 0,28       | 9,32             | 0,18       | 4,35            | 0,26       |
| D23           | 155,4             | 0,39       | 0,30       | 9,32             | 0,23       | 4,80            | 0,34       |
| D26           | 198,9             | 0,5        | 0,33       | 12,68            | 0,30       | 5,55            | 0,44       |
| D30           | 265,5             | 0,66       | 0,36       | 12,68            | 0,40       | 7,82            | 0,59       |
| X18           | 113,4             | 0,28       | 0,32       | 11,1             | 0,17       | 5,29            | 0,25       |
| X20           | 140,4             | 0,35       | 0,33       | 11,1             | 0,21       | 5,07            | 0,31       |
| X23           | 186,3             | 0,47       | 0,36       | 15,1             | 0,28       | 8,02            | 0,41       |
| X26           | 238,5             | 0,6        | 0,39       | 15,1             | 0,36       | 6,98            | 0,53       |
| X30           | 318,6             | 0,8        | 0,44       | 15,1             | 0,48       | 9,49            | 0,71       |
| <b>Limite</b> | <b>115.000,00</b> | <b>300</b> | <b>250</b> | <b>7.900,00</b>  | <b>170</b> | <b>3.600,00</b> | <b>260</b> |

Com isso, completa-se a segunda fase da pesquisa operacional que se refere a construção do modelo das restrições, formuladas as seguintes restrições:

1. Restrição, mão de obra:

$$31,93_{S18} + 39,53_{S20} + 52,37_{S23} + 67,23_{S26} + 89,70_{S30} + 42,57_{Y18} + 52,71_{Y20} + 69,94_{Y23} + 89,53_{Y26} + 119,60_{Y30} + 53,21_{D18} + 65,88_{D20} + 87,51_{D23} + 112,00_{D26} + 149,50_{D30} + 63,86_{X18} + 79,06_{X20} + 104,91_{X23} + 134,30_{X26} + 179,40_{X30} \geq 66.000$$

2. Restrição, espaço estoque:

$$0,25_{S18} + 0,27_{S20} + 0,31_{S23} + 0,43_{S26} + 0,49_{S30} + 0,32_{Y18} + 0,35_{Y20} + 0,40_{Y23} + 0,56_{Y26} + 0,64_{Y30} + 0,39_{D18} + 0,43_{D20} + 0,49_{D23} + 0,69_{D26} + 0,79_{D30} + 0,46_{X18} + 0,51_{X20} + 0,58_{X23} + 0,82_{X26} + 0,94_{X30} \geq 2.710$$

3. Restrição, equipamento:

$$2,17_{S18} + 2,60_{S20} + 2,60_{S23} + 3,25_{S26} + 4,33_{S30} + 2,89_{Y18} + 3,47_{Y20} + 3,47_{Y23} + 4,33_{Y26} + 5,78_{Y30} + 2,71_{D18} + 3,25_{D20} + 3,25_{D23} + 4,06_{D26} + 5,42_{D30} + 4,33_{X18} + 5,20_{X20} + 5,20_{X23} + 6,50_{X26} + 8,67_{X30} \geq 8.400$$

4. Restrição, Matéria-prima, Cimento:

$$56,70_{S18} + 70,20_{S20} + 93,00_{S23} + 127,36_{S26} + 159,30_{S30} + 75,60_{Y18} + 93,60_{Y20} + 124,20_{Y23} + 159,00_{Y26} + 212,40_{Y30} + 94,50_{D18} + 117,00_{D20} + 155,40_{D23} + 198,90_{D26} + 265,50_{D30} + 113,40_{X18} + 140,40_{X20} + 186,30_{X23} + 238,50_{X26} + 318,60_{X30} \geq 115.000,00$$

5. Restrição, Matéria-prima, Press mix:

$$0,14_{S18} + 0,18_{S20} + 0,23_{S23} + 0,32_{S26} + 0,40_{S30} + 0,19_{Y18} + 0,23_{Y20} + 0,31_{Y23} + 0,40_{Y26} + 0,53_{Y30} + 0,24_{D18} + 0,29_{D20} + 0,39_{D23} + 0,50_{D26} + 0,66_{D30} + 0,28_{X18} + 0,35_{X20} + 0,47_{X23} + 0,60_{X26} + 0,80_{X30} \geq 300,00$$

6. Restrição, Matéria-prima, Areia:

$$0,16_{S18} + 0,17_{S20} + 0,18_{S23} + 0,19_{S26} + 0,22_{S30} + 0,21_{Y18} + 0,22_{Y20} + 0,24_{Y23} + 0,26_{Y26} + 0,29_{Y30} + 0,27_{D18} + 0,28_{D20} + 0,30_{D23} + 0,33_{D26} + 0,36_{D30} + 0,32_{X18} + 0,33_{X20} + 0,36_{X23} + 0,39_{X26} + 0,44_{X30} \geq 250,00$$

7. Restrição, Matéria-prima, Fio de protensão:

$$4,00_{S18} + 5,77_{S20} + 5,77_{S23} + 5,77_{S26} + 5,77_{S30} + 7,55_{Y18} + 7,55_{Y20} + 7,55_{Y23} + 7,33_{Y26} + 7,55_{Y30} + 9,32_{D18} + 9,32_{D20} + 9,32_{D23} + 12,68_{D26} + 12,68_{D30} + 11,10_{X18} + 11,10_{X20} + 15,10_{X23} + 15,10_{X26} + 15,10_{X30} \geq 7900$$

8. Restrição, Matéria-prima, Brita nº 1:

$$0,08_{S18} + 0,11_{S20} + 0,14_{S23} + 0,18_{S26} + 0,24_{S30} + 0,11_{Y18} + 0,14_{Y20} + 0,19_{Y23} + 0,24_{Y26} + 0,32_{Y30} + 0,14_{D18} + 0,18_{D20} + 0,23_{D23} + 0,30_{D26} + 0,40_{D30} + 0,17_{X18} + 0,21_{X20} + 0,28_{X23} + 0,36_{X26} + 0,48_{X30} \geq 170$$

9. Restrição, Matéria-prima, Aço CA60:

$$2,85_{S18} + 2,92_{S20} + 3,46_{S23} + 3,31_{S26} + 4,49_{S30} + 3,59_{Y18} + 2,91_{Y20} + 3,95_{Y23} + 4,57_{Y26} + 6,16_{Y30} + 4,49_{D18} + 4,35_{D20} + 4,80_{D23} + 5,55_{D26} + 7,82_{D30} + 5,29_{X18} + 5,07_{X20} + 8,02_{X23} + 6,98_{X26} + 9,49_{X30} \geq 3.600,00$$

10. Restrição, Matéria-prima, Brita nº 0:

$$0,13_{S18} + 0,16_{S20} + 0,21_{S23} + 0,27_{S26} + 0,35_{S30} + 0,17_{Y18} + 0,21_{Y20} + 0,28_{Y23} + 0,35_{Y26} + 0,47_{Y30} + 0,21_{D18} + 0,26_{D20} + 0,34_{D23} + 0,44_{D26} + 0,59_{D30} + 0,25_{X18} + 0,31_{X20} + 0,41_{X23} + 0,53_{X26} + 0,71_{X30} \geq 260,00$$

## 5. Análise dos dados

Por meio da otimização foi possível obter o *mix* ideal de produção, ou seja, o que a empresa deveria produzir para obter a margem de contribuição máxima. Nesse sentido, a solução ótima é produzir 916 unidades da estaca 8X20 e 131 unidades da estaca 8X30 tendo, portanto, uma margem de contribuição ótima de R\$429.852,72. Salienta-se que esse *mix* seria o melhor a se fazer considerando as restrições que a empresa enfrenta em termos de mão de obra, matéria-prima, espaço físico, máquinas, etc.

Os resultados são convergentes com o estudo de Mores et al. (2006) que utilizaram a programação linear por meio da ferramenta *Solver* e constataram que a empresa tem condições de aumentar o faturamento em 15,07% e o resultado em 24,71%, somente com a otimização dos recursos da empresa. Esse aumento é possível ajustando o *mix* de produção, sem alterar a capacidade de produção e os recursos já utilizados pela empresa.

Observa-se no relatório de resposta que as matéria-prima (fio de protensão e brita 01) foram utilizadas na sua totalidade, visto que o limite disponível de quantidade era de 7900kg e 170kg, respectivamente. Como não houve sobras, se a empresa tivesse condições de adquirir mais desses dois produtos poderia produzir mais estacas. Pode-se verificar que nas outras restrições houve sobras, sendo: mão de obra que tem disponível 2066 minutos, espaço de estocagem que pode caber mais 2300m<sup>2</sup>, equipamento que tem folga de 4468 minutos e as matérias-primas que sobrou 1462 kg de cimento, 15kg de press mix “aditivo”, 7kg de areia, 128kg de aço e 8 kg de brita 0.

Pelo relatório de sensibilidade constata-se que a solução ótima não vai se alterar se a empresa mudar a margem de contribuição do produto Y20 que é de R\$389,00, ou seja, ela pode variar entre R\$359,00 a R\$560,00 e a solução ótima se manterá. Por outro lado, a margem do produto Y30 que é de R\$560,00 pode variar entre R\$528,00 a R\$882,00, sem que se altere a solução ótima.

Analisando-se o preço sombra, obteve-se como resultado que se a empresa conseguir adquirir uma unidade a mais de brita 01 ela terá um aumento de R\$964,19 (preço sombra) na sua margem de contribuição total. Além dos 170 quilos de Brita 01 que a empresa dispõe, ela pode adquirir no máximo 2,18 quilos a mais de Brita 01 para aumentar a sua margem de contribuição. Esse é o máximo que ela pode adquirir porque além dessa quantidade a margem não irá mais aumentar e a brita 01 vai sobrar.

Se a empresa dispuser adquirir 1 unidade a mais de fio de protensão, ela terá um aumento de R\$33,64 (preço sombra) na sua margem de contribuição total. Além dos 7900 quilos de fio de protensão que a empresa tem disponível, ela pode adquirir 336 quilos a mais do fio de protensão para aumentar a sua margem de contribuição, passando dessa quantidade o produto vai sobrar e sua margem de contribuição não vai se alterar. Adquirindo uma unidade dos produtos de brita 01 e fio de protensão a sua margem de

contribuição total, ficaria em R\$430.850,56 (429.852,72+33,64+964,20).

Os resultados são convergentes com o estudo de Azevedo et al., (2018) que realizou um modelo de otimização para encontrar um *mix* ótimo de produção em uma indústria de tintas e revestimentos e foi possível identificar por meio da análise de sensibilidade, verificando o preço sombra, um aumento de 7% nos lucros totais e em 12% na média de vendas mensais.

E se a empresa insistir em produzir um determinado produto que não esteja na solução ótima, o que acontece com a margem de contribuição total?

É possível fazer essa análise observando o valor do Custo Reduzido, por exemplo, o produto S18 não foi incluído na solução ótima do problema. No entanto, é sabido que muitas vezes se faz necessário produzir para atender a demanda e cumprir contratos, mesmo sabendo que a margem de contribuição não será a melhor. Dessa forma, caso a empresa decida produzir 1 unidade do produto S18, ela incorrerá em um decréscimo na margem de contribuição ótima em R\$16,29 (custo reduzido de -16,29). Analogamente, se produzir 1 unidade do produto X26 terá um decréscimo na margem de contribuição total de R\$468,00 (custo reduzido -468).

Para demonstrar como a programação linear pode auxiliar nas tomadas de decisões foi realizado um comparativo utilizando a quantidade total do resultado obtido com o solver, e com este total foi realizado um rateio para cada produto. No Quadro 5 demonstra-se a quantidade de produção de cada produto.

Quadro 5. Quantidade rateado do total do resultado obtido com solver

| <b>Produto</b> | <b>Variável</b> | <b>Margem de contribuição</b> | <b>Quantidade de produção em unidade</b> |
|----------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------------------|
| Estaca 6X18    | S18             | 200,35                        | 52                                       |
| Estaca 6X20    | S20             | 271,96                        | 52                                       |
| Estaca 6X23    | S23             | 246,70                        | 52                                       |
| Estaca 6X26    | S26             | 299,80                        | 52                                       |
| Estaca 6X30    | S30             | 400,46                        | 52                                       |
| Estaca 8X18    | Y18             | 242,51                        | 52                                       |
| Estaca 8X20    | Y20             | 389,22                        | 52                                       |
| Estaca 8X23    | Y23             | 336,18                        | 52                                       |
| Estaca 8X26    | Y26             | 427,24                        | 52                                       |
| Estaca 8X30    | Y30             | 560,73                        | 52                                       |
| Estaca 10X18   | D18             | 304,38                        | 52                                       |
| Estaca 10X20   | D20             | 392,45                        | 52                                       |
| Estaca 10X23   | D23             | 344,23                        | 52                                       |
| Estaca 10X26   | D26             | 376,95                        | 53                                       |
| Estaca 10X30   | D30             | 295,86                        | 53                                       |
| Estaca 12X18   | X18             | 367,21                        | 53                                       |
| Estaca 12X20   | X20             | 475,68                        | 53                                       |
| Estaca 12X23   | X23             | 310,21                        | 53                                       |
| Estaca 12X26   | X26             | 383,95                        | 53                                       |
| Estaca 12X30   | X30             | 372,02                        | 53                                       |
| <b>Total</b>   |                 | <b>R\$ 366.482,73</b>         | <b>1.047</b>                             |

Foi elaborado o demonstrativo de resultado de antes e depois da aplicação da programação linear e, após aplicação foi feito um comparativo das quantidades de matéria-prima utilizada, espaço de estocagem, tempo de mão de obra e de equipamento para demonstrar como pode afetar a capacidade produtiva. Pode-se verificar no demonstrativo de resultado pelo método de custeio variável (Tabela 1) como fica a margem de contribuição, se fosse produzir a mesma quantidade para cada produto, antes e depois da aplicação da programação linear:

Tabela 1. Demonstrativo de resultado antes e depois da aplicação da programação linear

| DEMONSTRATIVO DE RESULTADO |                |                |
|----------------------------|----------------|----------------|
|                            | ANTES          | DEPOIS         |
| Receita bruta de vendas    | R\$ 707.428,00 | R\$ 612.008,00 |
| (-) Custos variáveis       | R\$ 338.317,46 | R\$ 180.127,52 |
| (-) Despesas Variáveis     | R\$ 2.627,81   | R\$ 2.027,76   |
| Margem de Contribuição =   | R\$ 366.482,73 | R\$ 429.852,72 |

Em sequência demonstra-se a quantidade consumida de matéria-prima e o tempo utilizado para produzir todas as estacas, com média de 52 estacas cada produto, conforme demonstrado no Quadro 6.

Quadro 6. Quantidade utilizada antes da aplicação do solver

| Descrição            | Unidade/medida | Limite Disponível | Tempo e quantidade |
|----------------------|----------------|-------------------|--------------------|
| Mão de Obra          | Tempo- Minutos | 66.000,00         | 88.430,03          |
| Espaço de Estocagem  | m <sup>2</sup> | 2.710,00          | 529,57             |
| Equipamento          | Tempo- Minutos | 8.400,00          | 4.379,86           |
| Cimento              | Quantidade- Kg | 115.000,00        | 157.454,32         |
| Press mix- "Aditivo" | Quantidade- Kg | 300,00            | 394,18             |
| Areia                | Quantidade- Kg | 250,00            | 289,75             |
| Fio de Protensão     | Quantidade- Kg | 7.900,00          | 9.736,27           |
| Brita nº 1           | Quantidade- Kg | 170,00            | 235,25             |
| Aço CA60             | Quantidade- Kg | 3.600,00          | 5.251,77           |
| Brita nº 0           | Quantidade- Kg | 260,00            | 348,41             |

Verifica-se que foi produzido 1.047 unidades, sendo 52 unidades para cada produto, o tempo utilizado para a mão de obra e a quantidade de matéria-prima, ultrapassará o limite disponível, ou seja, a empresa terá problemas com a falta de mão de obra e de matéria-prima. No Quadro 7 está demonstrado a quantidade ideal obtido com a aplicação do solver.

Quadro 7. Quantidade ideal obtida com o solver

| Produto     | Variável | Margem de contribuição | Quantidade (uni) |
|-------------|----------|------------------------|------------------|
| Estaca 6X18 | S18      | 200,35                 | 0                |
| Estaca 6X20 | S20      | 271,96                 | 0                |

|              |     |                |             |
|--------------|-----|----------------|-------------|
| Estaca 6X23  | S23 | 246,70         | 0           |
| Estaca 6X26  | S26 | 299,80         | 0           |
| Estaca 6X30  | S30 | 400,46         | 0           |
| Estaca 8X18  | Y18 | 242,51         | 0           |
| Estaca 8X20  | Y20 | 389,22         | 915,5495999 |
| Estaca 8X23  | Y23 | 336,18         | 0           |
| Estaca 8X26  | Y26 | 427,24         | 0           |
| Estaca 8X30  | Y30 | 560,73         | 131,0852703 |
| Estaca 10X18 | D18 | 304,38         | 0           |
| Estaca 10X20 | D20 | 392,45         | 0           |
| Estaca 10X23 | D23 | 344,23         | 0           |
| Estaca 10X26 | D26 | 376,95         | 0           |
| Estaca 10X30 | D30 | 295,86         | 0           |
| Estaca 12X18 | X18 | 367,21         | 0           |
| Estaca 12X20 | X20 | 475,68         | 0           |
| Estaca 12X23 | X23 | 310,21         | 0           |
| Estaca 12X26 | X26 | 383,95         | 0           |
| Estaca 12X30 | X30 | 372,02         | 0           |
| Total        |     | R\$ 429.852,72 | 1.047       |

Na sequência demonstra-se a quantidade consumida de matéria-prima e o tempo utilizado para produzir as estacas que a programação linear apresentou como solução ótima (Quadro 8).

Quadro 8. Quantidade utilizada após a aplicação do solver

| Descrição            | Unidade/medida | Limite Disponível | Tempo e quantidade |
|----------------------|----------------|-------------------|--------------------|
| Mão de Obra          | Tempo- Minutos | 66.000,00         | 63.933,64          |
| Espaço de estocagem  | m <sup>2</sup> | 2.710,00          | 404,01             |
| Equipamento          | Tempo- Minutos | 8.400,00          | 3.931,29           |
| Cimento              | Quantidade- Kg | 115.000,00        | 113.537,95         |
| Press mix- "Aditivo" | Quantidade- Kg | 300,00            | 284,22             |
| Areia                | Quantidade- Kg | 250,00            | 242,48             |
| Fio de protensão     | Quantidade- Kg | 7.900,00          | 7.900,00           |
| Brita nº 1           | Quantidade- Kg | 170,00            | 170,00             |
| Aço CA60             | Quantidade- Kg | 3.600,00          | 3.471,73           |
| Brita nº 0           | Quantidade- Kg | 260,00            | 251,86             |

Verifica-se que com a aplicação da programação linear e com auxílio da ferramenta *Solver* pode-se encontrar o melhor *mix* de produção. Fazendo o comparativo, analisa-se que a empresa consegue produzir a mesma quantidade de 1047 unidades, mas sem que haja problemas com falta de matéria-prima, tempo de mão de obra, tempo de equipamento, espaço de estocagem, além de apresentar 17% a mais na margem de contribuição. Se verificarmos no demonstrativo de resultado do antes e depois da aplicação a receita bruta anterior, é quase R\$100.000,00 a mais, mas analisando a sua margem de contribuição que é o que sobra para pagar as despesas fixas e obter sua margem de contribuição, a posterior é maior.

Avalia-se também que o *mix* ótimo de produção, apresentou apenas dois produtos para produzir, sendo estaca 8X20 com 916 unidades e estaca 8X30 com 131 unidades, havendo assim pouca diversidade dos produtos, pois as informações foram analisadas sem considerar as demandas dos clientes, contratos comerciais que devem ser cumpridos, situação macroeconômica dentre outros. É sabido que muitas vezes se faz necessário produzir outros tipos de estaca, mesmo não estando na solução ótima. Pensando nessa situação foi feita uma simulação supondo que existem três produtos que são necessários serem fabricados. Os produtos e as quantidades que supostamente devem entrar na solução ótima podem ser considerados como restrição conforme demonstra-se no Quadro 9.

Quadro 9. Restrição, necessidade do cliente

| Produto      | Variável | Margem de contribuição | Pedido |
|--------------|----------|------------------------|--------|
| Estaca 10X26 | D26      | R\$ 376,95             | 90     |
| Estaca 12X23 | X23      | R\$ 310,21             | 110    |
| Estaca 12X26 | X26      | R\$ 383,95             | 80     |

Então considerando a restrição da demanda (90 unidades do D26, 110 unidades do X23 e 80 unidades do X26) e as demais restrições (matéria-prima, mão de obra, equipamento e estocagem) tem-se que a solução ótima é produzir mais 465 unidades do Y20 e 49 unidades do Y30, total de 794 unidades, sendo que a margem de contribuição ficaria em R\$307.799,36.

## 6. Considerações finais

O objetivo do estudo foi demonstrar procedimentos e ferramentas da pesquisa operacional e realizar a aplicação em uma indústria para determinar o melhor *mix* de produtos que indique a maior margem de contribuição. A função objetivo foi maximizar a margem de contribuição e para isso foram coletadas as informações dos valores de preço de venda e os custos e despesas variáveis para identificar a margem de contribuição unitária, utilizando como variáveis 20 (vinte) tipos de estacas. Em relação as restrições foram coletadas as informações na entrevista referente ao tempo utilizado de mão de obra e equipamento, as matérias-primas utilizadas e a quantidade equivalente para cada produto e por fim o espaço de estocagem que foi realizado o cálculo de acordo o tamanho de cada item.

Quanto aos resultados obtidos, chegou-se que a produção ideal (ótima) é produzir 916 unidades da estaca do tipo 8X20 e 131 unidades da estaca do tipo 8X30 para ter o máximo de margem de contribuição, sendo de R\$ 429.852,72. Adicionalmente foi analisado, por meio dos comparativos dos demonstrativos de resultado, que sem aplicação da programação linear, as empresas podem ter problemas com a falta de insumos, mão de obra, espaço de estocagem, entre outros. Este estudo procurou demonstrar diante da pesquisa operacional, que a programação linear é uma ferramenta que pode auxiliar os gestores nas tomadas de decisões juntamente com a contabilidade de custos, possibilitando agilizar processos e gerar relatórios com as informações fundamentais dos interessados bem como a geração de possíveis cenários. Desta forma buscou-se mostrar como a pesquisa operacional pode contribuir para a busca da otimização das operações que ocorrem dentro de uma empresa, principalmente nas indústrias, e demonstrando ferramentas que possibilitam auxiliar no processo decisório, como escolher um *mix* de produto, encontrar o menor custo dos produtos que são fabricados, e desse modo gerar a maior margem de contribuição, que é o objetivo de todas as empresas.

Recomenda-se a elaboração de mais estudos, com a aplicação da programação linear, em outros setores industriais ou em outras áreas, como de prestação de serviço e comércio, também sugere-se a realização a aplicação de um novo modelo de decisão que contemple outras variáveis da organização, afim de comparar os resultados e analisar o uso da programação linear para fins econômicos de cada tipo de empresa.

## Referências

AZEVEDO, A. S.; MARTINS, C. L.; NETO, J. B. S. dos S.; RODRIGUES, K. T.; YOSHIURA, L. J. M. Otimização do mix de produção em uma indústria de tintas e revestimentos. In. XXXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUCAO. **Anais...** Maceió, 2018.

BANDEIRA, D. L.; BLANCK, M. Análise da capacidade operacional de um centro cirúrgico: modelagem matemática aplicada ao dimensionamento e alocação de recursos. **REGE**, v. 22, n. 4, p. 565-583, 2015.

BATALHA, Mario Otavio et al. **Introdução a Engenharia de Produção**. Rio de Janeiro, 2008.

BERBEL J. D. S. **Introdução à Contabilidade e Análise de Custos**: simples & prático. 1 ed. Editora STS, 2003.

BERTÓ, D. J.; BEULKE, R. **Gestão de Custos**. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2006.

BLOCHER, E. J.; COKINS, G.; CHEN, K. H.; LIN, T. W. **Gestão Estratégica de Custos**. 3. ed. Norte-americana. São Paulo: McGraw-Hill, 2007.

CAMPOS, G. R.; Gestão de custos industriais: a prática das empresas agroindustriais da região noroeste do estado do Paraná. **Revista Ciência Empresa**, v. 14, n. 2, p. 315-328, 2013.

CHAGAS, J. F.; NOSSA, V. Usando Programação Linear na Contabilidade Decisorial. **Revista Brasileira de Contabilidade**, 1998.

COSTA, D. F.; ROSA, L. C. Programação e planejamento da produção baseados na margem de contribuição para otimização do resultado. **Revista Mineira de Contabilidade**, v. 13, n. 51, p. 24-34, 2013.

CRISÓSTOMO, V. L.; FREIRE, F. S.; SILVA, R. N.; MACEDO, C. H. Tecnologia da Informação no Ensino de Contabilidade. **Revista Brasileira de Informática na Educação**, v. 10, Brasil, 2002.

GARCÍA, N; **Contabilidade de gestão**, Argentina: Editora da Universidade de Córdoba. 1998.

GIBBON, A. R. de O.; RAUPP, F. M.; BEUREN, I. M. O uso da programação dinâmica pela contabilidade de custos na otimização de recursos escassos. **Contabilidade Vista & Revista Belo Horizonte**, v. 15, n. 1, p. 73-89, 2004.

GONÇALVES, A.; KOPROWINSKI, S. O. **Pequena Empresa no Brasil**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1995.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução a Pesquisa Operacional**. 8. Ed. São Paulo: McGraw- Hill, 2006.

LINS, L. D. S.; SILVA, R. N. S. **Gestão de Custos: contabilidade, controle e análise**. São Paulo: Atlas, 2010.

MARTINS, E. **Contabilidade de Custos**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MEGLIORINI, E. **Custos: análise e gestão**. 3. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2012.

MORES, C. J.; SCALABRIN, I.; OLIVEIRA, J. A. de.; BODANESE, R. E. Programação Linear: estudo de caso com utilização do solver da microsoft excel. **Revista Universo Contábil**, v. 2, n. 2, p. 54-66, 2006.

ODORIZZI, D; LUNELLI, M; SILVEIRA, M. M; EYERKAUFER, M. L; JAHN, T. Análise de custos industriais: um estudo em uma indústria de máquinas de Ibirama/SC. **Revista Eletrônica do Alto Vale do Itajaí**, v. 2, n. 1, 2013.

PADOVEZE, C. L. Contabilidade de Custos: teoria, prática, integração com sistemas de informações (ERP). São Paulo: Cengage Learning, 2013. In. XL ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. **Anais...** Paraná, 2020.

REIS, J. V. A.; FALCÃO, M. M.; BONFATI, M. F.; ALVES, P. M.; OLIVEIRA, V. S. Aplicabilidade de um Problema de Mix Ótimo de Produção na Área de Vendas em uma Associação Estudantil. In: XL Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2020, Online. **Anais do XL Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2020. v. 1. p. 1-10.

RIBEIRO, E. M. S.; SOARES, M. A.; NAGANO, M. S. Utilização da programação linear no ensino da contabilidade de custos: uma comparação com as práticas tradicionais. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS. João Pessoa. **Anais ...** Paraíba, 2007.

ROMÃO, A. L.; PEREIRA, A. L. A implementação do sistema de contabilidade de custos nos municípios portugueses. **Revista Contemporânea de Contabilidade**, v. 12, n. 27, p. 165-186, 2015.

SANCHES, B. K. R.; LOPES, E. L.; PINOCHET, L. H. C.; BUENO, R. L. P. Fatores antecedentes do uso de pesquisa operacional como ferramenta estratégica nas organizações. **Revista Administração em Dialogo**, v. 20, n. 2, p. 94-122, 2018.

SANTOS, J, J. **Formação do preço e do lucro: custos marginais para formação de preços referenciais**. São Paulo: Atlas, 1994.

SANTOS, A. R; ALMEIDA L. B.; Práticas de Contabilidade de Custos: Uma Investigação nas Indústrias Paranaense. **Sociedade, Contabilidade e Gestão**, v. 2, n. 1, 2007.