

PROPOSTA DE MIX ÓTIMO DE PRODUÇÃO DE SOLEIRAS E PEITORIS EM UMA MARMORARIA DE PEQUENO PORTE

Rafael Costa da Silva (IFCE – campus Quixadá)

Dhoy Rodrigues Alves (IFCE – campus Quixadá)

Júlio Cesar Monteiro do Vale (IFCE – campus Quixadá)

Caio Augusto Nunes Marques (IFCE – campus Quixadá)



Os conhecimentos da pesquisa operacional apresentam diversas possibilidades de aplicação em variados contextos empresariais. O presente trabalho buscou através do uso da programação linear, determinar o mix ótimo de produção de soleiras e peitoris em uma marmoraria de pequeno porte, localizada no Sertão Central do Ceará. Metodologicamente, a pesquisa pode ser caracterizada como um estudo de caso, já que a pesquisa se utiliza de dados quantitativos colhidos em situações reais, mostrando não somente os acertos, mas também as falhas em propor uma solução. Primeiramente foi realizada uma visita in loco e entrevista com o proprietário para observação do processo de produção e coleta de dados. Em seguida foi elaborado o modelo matemático com auxílio da programação linear. Depois da elaboração do modelo, a solução ótima foi encontrada com auxílio do software LINDO. Por fim os resultados foram discutidos com o proprietário da marmoraria. A solução ótima do modelo indica uma receita ótima de R\$ 4.800,00 com a produção desses produtos. A análise de sensibilidade do modelo permitiu verificar que pequenas alterações, como o aumento de um m² da disponibilidade da matéria prima, aumentaria R\$ 240,00 a receita ótima da empresa com tais produtos. Como trabalho futuro, sugere-se a determinação de planos de corte para minimização dos desperdícios provenientes da retirada de peças das chapas de mármore e granito.

Palavras-chave: Pesquisa operacional, Programação linear, Mix ótimo, Marmoraria.

1. Introdução

O mercado de rochas ornamentais passou por forte aquecimento no ano de 2021, a Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais – ABIROCHAS (2021), revela que o setor ultrapassou US\$ 1,22 bilhões em exportações no período de janeiro-agosto. Para a ABIROCHAS (2021), a retomada do crescimento econômico, principalmente do setor da construção civil dos EUA, deverá fortalecer cada vez mais essas exportações. Deste modo, esse prognóstico revela o potencial do setor para fortalecimento da economia, criando novas oportunidades de negócio.

Em vista dessa perspectiva, marmorarias que já atuam no mercado, podem buscar alternativas inovadoras, para o aperfeiçoamento dos processos. Para Silva, Paula e Duarte (2021) trazer novos métodos de gestão para o negócio, pode promover maior agilidade na produção dos produtos e maximização das receitas. Um artifício bastante eficiente que auxilia na melhor tomada de decisão, utilizando preceitos matemáticos, está na programação linear (SOBRAPO, 2021). Segundo Nossa (1997), Taha (2008) e Arenales *et al.* (2015) a utilização da programação linear está focada em compreender e elaborar modelos matemáticos para encontrar a melhor solução de um problema, construindo expressões lineares que representam algebricamente o problema em questão. De acordo com Melo (2021) o uso da PO vem se consolidando, sendo aplicada em diversas situações, enveredando em diversos campos do conhecimento. O que reflete positivamente como artifício para tomar decisões estratégicas, seja na maximização dos lucros ou na diminuição de perdas.

Em virtude do potencial da pesquisa operacional (PO), o presente estudo foi realizado em uma marmoraria de pequeno porte, localizada em Quixeramobim, no sertão central do Ceará. O objetivo foi fornecer uma solução ótima para o *mix* de produção, capaz de viabilizar a melhor decisão sobre a forma de produção de soleiras e peitoris. Para isso, construiu-se um modelo matemático que considerou além da produção dos produtos listados, o atendimento à demanda e à limitação da matéria prima. O presente trabalho parte inicialmente de uma revisão bibliográfica sobre os conceitos de PO, em seguida realiza visitas *in loco* à marmoraria, identificação do problema, criação do modelo matemático, solução ótima e análise da sensibilidade do modelo.

2. Referencial teórico

2.1. Breve histórico da pesquisa operacional

De acordo com a ABEPRO (2008) e a SOBRAPO (2021), a PO pode ser compreendida como uma ciência aplicada que busca a resolução de problemas reais e tem como foco a tomada de decisões, subsidiadas por conceitos e métodos de outras áreas científicas, tais como economia, matemática, estatística e informática. A própria semântica do nome pesquisa operacional descreve sendo “pesquisa sobre operações”, portanto, a PO é aplicada a problemas que correspondem a condução e à coordenação das operações em uma organização, para fortalecer as questões táticas e estratégicas, além de fornecer suporte para tomada de decisões (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

A pesquisa operacional tem suas origens na segunda guerra mundial, o trabalho de Hillier e Liberman (2013) apresenta um breve histórico sobre seu surgimento, revelando que seus principais objetivos eram atribuídos às ações militares para atender à necessidade imediata de alocar de forma eficiente os recursos para diversas operações de guerra. Após a guerra, a aplicação de pesquisa operacional ganhou bastante destaque, o *boom* industrial para a reconstrução da Europa influenciou significativamente na sua utilização e seu uso, antes somente para fins militares, passou a ser decisivo na indústria, onde diversos especialistas advindos da guerra passaram a atuar (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

2.2. Aplicações da pesquisa operacional

As aplicações de PO são encontradas em diversas áreas do conhecimento, segundo Zamboni (1997), Leigus, Fenerich e Moraes (2009) e Hillier e Liberman (2013) o uso de PO pode ser aplicado nos transportes, construção civil, telecomunicações, planejamento financeiro, no sistema de saúde entre outros campos. Para a ABEPRO (2008) o uso de PO consegue extrapolar suas barreiras, devido sua forte base matemática e com a inserção dos processos computacionais, as aplicações de PO podem ser inseridas em diversos campos das ciências como: modelagem, simulação e otimização, programação matemática, processos decisórios, processos estocásticos, teoria dos jogos, análise de demanda e inteligência computacional.

2.3. Impactos da pesquisa operacional

A pesquisa operacional tem grande impacto na qualidade da informação para a tomada de decisão, afinal com a aplicação do melhor método de PO, a tomada de decisão tende a ser mais racional, assim melhorando os ganhos da empresa ou diminuindo os custos (TAHA, 2008). No

entanto, coexistem impactos positivos e negativos, como o problema da formulação do modelo, etapa essa que exige mais do raciocínio lógico para a criação de um bom modelo representativo do mundo real para o matemático, logo, em tese a pesquisa operacional só tende a melhorar a situação se a modelagem for correta (ANDRADE *et al.*, 2019).

Segundo Silva, Gonçalves e Murolo (1998) a Programação Linear (PL) é um dos métodos mais utilizados para resolução de problemas na área de PO, baseado em equações lineares, que pode ser programável em computador, o que a torna uma ferramenta de fácil acesso e, larga aplicação nos processos decisórios. A Programação Linear pode ser explicada como o uso de técnicas de modelagem matemática, por meio de equações do primeiro grau, que busca uma forma de otimizar um problema proposto (TAHA, 2008). De acordo com Bazaraa & Jarvis (2005), a programação linear utiliza os modelos matemáticos para buscar a maximização ou minimização de uma função linear. De acordo com Andrade *et al.* (2019), a função objetivo pode ser montada como uma função maximizada ou minimizada conforme as necessidades apresentadas no problema em análise e, os resultados que se espera obter, estão interligados a restrições dos mais variados tipos, podendo ser inequações ou equações lineares, que ajudam na obtenção de uma solução ótima.

3. Metodologia

3.1. Classificação da pesquisa

Para constituir o estudo em questão, fez-se necessário a utilização de métodos científicos que integram as ciências, sendo eles o trajeto, o caminho a ser trilhado para atingir os objetivos estabelecidos pela pesquisa. Por se tratar de uma busca sistemática do fenômeno em estudo, para entender a dimensão do problema, desta forma, a pesquisa pode ser classificada como quantitativa (YIN, 2005; VERGARA, 2010; PRODANOV; FREITAS, 2013).

Quanto à natureza, para Vergara (2010) por se tratar de uma pesquisa que possui aplicações práticas, com preocupações locais, pode-se classificar a pesquisa como aplicada. Já em relação aos objetivos, a pesquisa se enquadra como descritiva, por buscar detalhar a solução aplicada no problema encontrado. Sobre os procedimentos, a pesquisa denota ser um estudo de caso, já que a pesquisa se utiliza de dados quantitativos colhidos em situações reais, mostrando não somente os acertos, mas também as falhas em propor uma solução (PRODANOV; FREITAS, 2013).

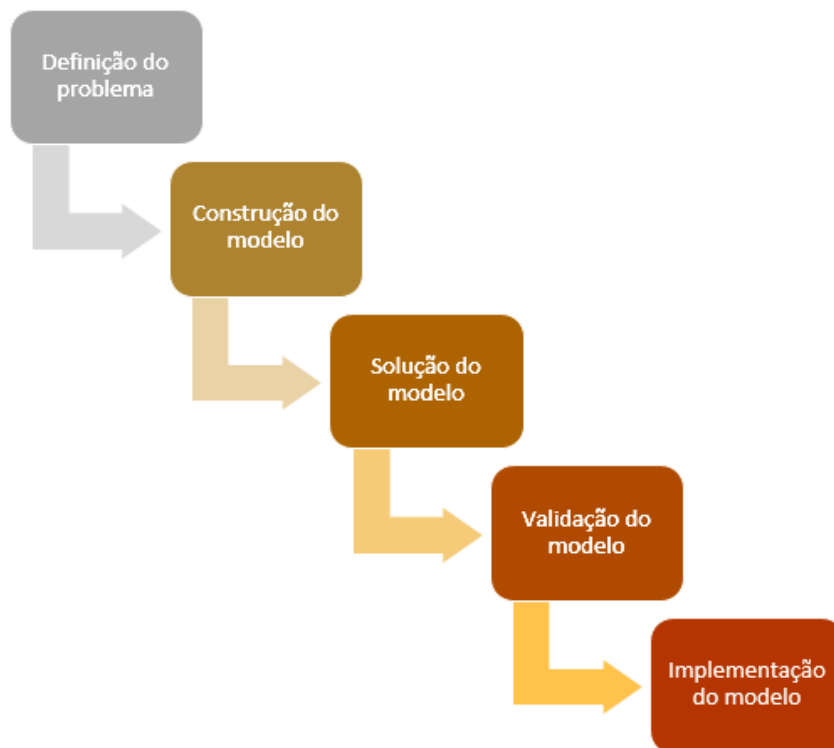
3.2. Descrição do local de estudo

O presente estudo foi realizado em uma marmoraria de pequeno porte localizada na cidade de Quixeramobim, situada na região do Sertão Central do estado do Ceará. Atuando no mercado há três anos, com fornecedores do estado do Espírito Santo, a marmoraria encontra-se em um mercado bastante competitivo, o ramo de mármore e granitos. Possuindo apenas dois colaboradores, o proprietário se divide nas etapas de gestão, logística, venda, produção e entrega dos produtos.

3.3. Etapas da pesquisa

As etapas da pesquisa para a identificação e implementação da solução do problema, estão representadas pela Figura 1.

Figura 1 – Ordem das etapas para solução de problemas com a pesquisa operacional



Fonte: Adaptado de Taha (2008)

Para Taha (2008), Hillier e Lieberman, (2013) a definição do problema, pressupõe que a equipe de PO busque desenvolver um escopo objetivo do problema, que possibilite o esclarecimento do objeto investigado. Determinar os objetivos a serem alcançados, assume papel indispensável

na definição do problema, fornecendo os dados necessários para a formulação do modelo matemático (HILLIER E LIEBERMAN, 2013).

Esta etapa envolveu a coleta de dados, com a realização de uma visita *in loco*, para conhecer e analisar a produção da empresa. Em seguida realizou-se uma entrevista não estruturada com o proprietário, para entender sobre os processos de produção, fornecedores, matérias-primas, demandas e receitas.

Na visita pôde-se perceber diversas aparas de materiais espalhados no ambiente de produção, além da demora no tempo para detalhar o plano de corte, e na variabilidade das soleiras e peitoris que a marmoraria produz. Sendo assim, o presente trabalho propõe construir um *mix* ótimo de produção para maximizar a receita de soleiras e peitoris produzidas pela marmoraria. Segundo Pergher, Rodrigues e Lacerda (2011) o *mix* ótimo de produção pode ser definido como uma condição de otimização dos recursos para aumentar os ganhos. Sendo assim, Peleias *et al.* (2008) e Pergher, Rodrigues e Lacerda (2011) definem que uma combinação ótima de produtos deve explorar ao máximo o gargalo existente, para que possa encontrar a melhor combinação que traga o maior valor possível de ganhos para o negócio.

Diante dos dados colhidos, definiu-se o problema a ser solucionado, passando-se para a construção do modelo matemático, que implica na tradução de um problema real em relações algébricas (TAHA, 2008; ARENALES *et al.*, 2015). A construção do modelo matemático define-se como uma representação dos dados colhidos, a complexidade do modelo dependerá da complexidade do problema (TAHA, 2008). O modelo foi construído no software LINDO® com os quatro componentes de um modelo de PL apresentados por Hillier e Lieberman: parâmetros, variáveis de decisão, função objetivo e restrições.

Para a solução do modelo, utilizou-se o mesmo software para encontrar a solução ótima do problema de mix de produção. Esta fase tem por objetivo apresentar a solução do modelo construído, fazendo o uso de técnicas matemáticas, buscando-se adequar o algoritmo para buscar a solução ótima do modelo (TAHA, 2008). As duas últimas etapas para solução de problemas com PO apresentadas por Taha (2008), validação do modelo e implementação da solução, estiveram fora do escopo deste estudo de caso.

4. Resultados e discussão

4.1. Definição do problema

Para compreender melhor o problema que este trabalho busca solucionar, primeiramente, foram realizadas visitas à marmoraria, com intuito de compreender a dinâmica da empresa. O ramo

de pedras de mármore e granitos, possui uma grande gama de projetos, no entanto, buscou-se analisar e compreender a produção de soleiras e peitoris que a marmoraria produz. Na Tabela 1 pode-se verificar os tipos de soleiras e peitoris que a marmoraria produz, produtos considerados no modelo para solucionar o problema de *mix* de produção, buscando-se a maximização das receitas desses produtos, tendo em vista que a marmoraria produz variados modelos.

Tabela1: Tipos de soleiras e peitoris

| Produto | Tipo |
|---------|-----------------------|
| 1 | Soleira 17cm x 100cm |
| 2 | Soleira 25cm 100cm |
| 3 | Peitoril 17cm x 100cm |
| 4 | Peitoril 25cm x 100cm |
| 5 | Soleira 17cm x 150cm |
| 6 | Soleira 25cm 150cm |
| 7 | Peitoril 17cm x 150cm |
| 8 | Peitoril 25cm x 150cm |

Fonte: Autores (2022)

4.2. Construção do modelo

Os parâmetros de produção e demanda são essenciais para a construção do modelo. Após o levantamento de informações colhidas nas visitas à marmoraria, foram geradas as Tabelas 2 e 3. Essas informações serviram para construção do modelo matemático, que buscará a maximização das receitas.

Tabela 2 – Receitas e áreas das soleiras e peitoris da marmoraria

| ID | Produto | Receita (R\$) | Tamanho (m ²) |
|----|-----------------------|---------------|---------------------------|
| 1 | Soleira 17cm x 100cm | 40,00 | 0,17 |
| 2 | Soleira 25cm 100cm | 60,00 | 0,25 |
| 3 | Peitoril 17cm x 100cm | 35,00 | 0,17 |
| 4 | Peitoril 25cm x 100cm | 50,00 | 0,25 |
| 5 | Soleira 17cm x 150cm | 60,00 | 0,255 |
| 6 | Soleira 25cm 150cm | 90,00 | 0,375 |
| 7 | Peitoril 17cm x 150cm | 50,00 | 0,255 |
| 8 | Peitoril 25cm x 150cm | 75,00 | 0,375 |

Fonte: Autores (2022)

Tabela 3 – Informações das demandas agregada das soleiras e dos peitoris

| Tipo | Demanda mês | Limitação de material (m ²) | Limitação de pessoas |
|----------|-------------|---|----------------------|
| Soleiras | 80 | 20 | 2 |
| Peitoris | 20 | | |

Fonte: Autores (2022)

Com base nas informações colhidas na etapa de definição do problema, apresenta-se o modelo matemático desenvolvido para determinar o *mix* ótimo de produção de soleiras e peitoris da marmoraria.

Variáveis de decisão:

x_1 : quantidade a ser produzida de soleiras de 17x100cm

x_2 : quantidade a ser produzida de soleiras de 25x100cm

x_3 : quantidade a ser produzida de peitoris de 17x100cm

x_4 : quantidade a ser produzida de peitoris de 25x100cm

x_5 : quantidade a ser produzida de soleiras de 17x150cm

x_6 : quantidade a ser produzida de soleiras de 25x150cm

x_7 : quantidade a ser produzida de peitoris de 17x150cm

x_8 : quantidade a ser produzida de peitoris de 25x150cm

Função objetivo:

- Maximizar a receita total obtida com a venda de soleiras e peitoris por mês (z):

$$\text{Maximizar } z = 40x_1 + 60x_2 + 35x_3 + 50x_4 + 60x_5 + 90x_6 + 50x_7 + 75x_8 \quad (1)$$

Restrições:

- Limitação da matéria prima (chapas) por mês:

$$0,17x_1 + 0,25x_2 + 0,17x_3 + 0,25x_4 + 0,255x_5 + 0,375x_6 + 0,255x_7 + 0,375x_8 \leq 20 \quad (2)$$

- Demanda de soleiras por mês:

$$x_1 + x_2 + x_5 + x_6 \leq 80 \quad (3)$$

- Demanda de peitoris por mês:

$$x_3 + x_4 + x_7 + x_8 \leq 20 \quad (4)$$

- Não-negatividade:

$$x_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, 8 \quad (5)$$

4.3 Solução do modelo

4.3.1. Solução ótima

O modelo matemático foi executado utilizando o software LINDO, sendo possível encontrar a

solução ótima que é apresentada na Tabela 4, que retorna um valor ótimo para a função objetivo de R\$ 4.800,00.

Tabela 4 – Solução ótima para o problema

| Variável | Produto | Quantidade |
|----------|-----------------------|------------|
| x_1 | Soleira 17cm x 100cm | 0 |
| x_2 | Soleira 25cm x 100cm | 0 |
| x_3 | Peitoril 17cm x 100cm | 0 |
| x_4 | Peitoril 25cm x 100cm | 0 |
| x_5 | Soleira 17cm x 150cm | 0 |
| x_6 | Soleira 25cm x 150cm | 53,33 |
| x_7 | Peitoril 17cm x 150cm | 0 |
| x_8 | Peitoril 25cm x 150cm | 0 |

Fonte: Autores (2022)

Tendo em vista a solução do modelo, tem-se a quantidade de peitoris e soleiras que a marmoraria deve produzir para obter o maior lucro possível. Percebe-se que as variáveis x_1 , x_2 , x_4 , x_5 , x_7 e x_8 foram definidas com valor zero. Neste sentido, o modelo retorna o valor da função objetivo de R\$ 4.800,00 que a marmoraria consegue obter decidindo-se por produzir 53,33 unidades apenas soleiras de 25x150cm. No entanto existem infinitas soluções que retornam o valor ótimo de R\$ 4.800,00.

Na Tabela 5 são apresentadas as folgas calculadas para cada uma das restrições do modelo matemático. Ao observar os resultados apresentados nota-se que as chapas de mármore e granito são um recurso escasso, afinal todo o material disponível foi consumido para atender à produção das 53,33 unidades das soleiras de 25x150cm.

Tabela 5 – Resultados das folgas/excessos para as restrições do modelo

| Equação | Restrição | Folgas |
|---------|---|--------|
| (2) | $0,17x_1 + 0,25x_2 + 0,17x_3 + 0,25x_4 + 0,255x_5 + 0,375x_6 + 0,255x_7 + 0,375x_8 \leq 20$ | 0 |
| (3) | $x_1 + x_2 + x_5 + x_6 \leq 80$ | 26,66 |
| (4) | $x_3 + x_4 + x_7 + x_8 \leq 20$ | 20 |

Fonte: Autores (2022)

4.3.2. Análise de sensibilidade

Uma análise de sensibilidade pode ser descrita como uma variação na solução ótima produzida por pequenas alterações nos parâmetros do modelo matemático (TAHA, 2008). Essas alterações

retornam valores bastante importantes como: preço dual, aumento admissível e redução admissível. A seguir a Tabela 6 demonstra a análise de sensibilidade do modelo.

Tabela 6 – Análise de sensibilidade para o lado direito das restrições do modelo

| Equação | Restrição | Preço dual | Valor atual | Redução admissível | Aumento admissível |
|---------|---|------------|-------------|--------------------|--------------------|
| (2) | $0,17x_1 + 0,25x_2 + 0,17x_3 + 0,25x_4 + 0,255x_5 + 0,375x_6 + 0,255x_7 + 0,375x_8 \leq 20$ | 240 | 20 | 19,99 | 9,99 |
| (3) | $x_1 + x_2 + x_5 + x_6 \leq 80$ | 0 | 80 | 26,6 | ∞ |
| (4) | $x_3 + x_4 + x_7 + x_8 \leq 20$ | 0 | 20 | 20 | ∞ |

Fonte: Autores (2022)

Pode-se notar, que na equação (2), representado pela demanda de material da marmoraria (m²), apresentou um preço dual de 240, ou seja, para cada m² de material a mais na produção de soleiras e peitoris, aumentará 240 unidades monetárias na solução ótima do modelo matemático. Ainda na equação (2) a demanda de material só pode ser aumentada em 9,99 unidades, ficando a o valor de solução ótimo e sem alterar o preço dual para esta restrição. Na Tabela 7 é demonstrada a análise de sensibilidade, observando alterações nos coeficientes da função objetivo do modelo matemático estudado.

Tabela 7 – Análise de sensibilidade para os coeficientes da função objetivo do modelo

| Variável | Produto | Custo reduzido | Valor atual | Redução admissível | Aumento admissível |
|----------------|-----------------------|----------------|-------------|--------------------|--------------------|
| x ₁ | Soleira 17cm x 100cm | 0,8 | 40 | ∞ | 0,8 |
| x ₂ | Soleira 25cm x 100cm | 0 | 60 | ∞ | 0 |
| x ₃ | Peitoril 17cm x 100cm | 5,8 | 35 | ∞ | 5,8 |
| x ₄ | Peitoril 25cm x 100cm | 10 | 50 | ∞ | 10 |
| x ₅ | Soleira 17cm x 150cm | 1,19 | 60 | ∞ | 1,19 |
| x ₆ | Soleira 25cm x 150cm | 0 | 90 | ∞ | 0 |
| x ₇ | Peitoril 17cm x 150cm | 11,19 | 50 | ∞ | 11,19 |
| x ₈ | Peitoril 25cm x 150cm | 15 | 75 | ∞ | 15 |

Fonte: Autores (2022)

Nota-se que a análise de sensibilidade dos coeficientes da função objetivo, todas as variáveis, exceto x₂ e x₆, possuem margem de aumento admissível, podendo ser aumentado e permanecendo a solução ótima do modelo.

5. Considerações finais

Em virtude da pesquisa exposta, observando o potencial do uso da programação linear na busca de solucionar problemas, nota-se que o modelo elaborado para maximizar as receitas de soleiras e peitoris dentro da marmoraria, teve seu objetivo alcançado. Entretanto, a realidade da empresa e de seu modelo de negócio, não propiciaram a implementação da solução. O proprietário enfatiza que não optará por abdicar de seu *mix* de produção, em detrimento da solução ótima encontrada pelo software LINDO 6.1.

Vale ressaltar que a marmoraria em estudo, trabalha com variados tipos de peitoris e soleiras, para atender os desejos de seus clientes. Essa variedade acontece devido as peças poderem ser customizadas de acordo com o desejo de cada cliente. Na solução ótima do modelo matemático, o resultado propõe, que a marmoraria utilize 100% da matéria prima (20m²), destinadas para a produção de soleiras e peitoris, apenas na produção de soleiras de 25x150 cm, para alcançar as receitas verificada na solução ótima do modelo. Contudo, essa solução não se enquadra como viável para a marmoraria, pois estaria deixando de atender aos clientes que necessitam de outros tipos de peças.

Nesse contexto, este trabalho indica para novas aplicações de PO aplicado nas empresas de marmoraria, um estudo sobre os desperdícios de materiais, tendo em vista que os cortes de chapas de mármores e granitos, geram muitas aparas. Assim, um modelo de programação inteira para determinação de um plano de corte que minimize desperdícios seria uma aplicação com bastante apelo prático. Foi possível observar ainda que empresas de marmorarias possuem variados desafios, seja na parte de desperdícios de materiais, na gestão da qualidade, na ergonomia e na segurança do trabalho, o que amplia as possibilidades de aplicações de novos trabalhos dentro desse tipo de empresa.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem à empresa, em nome do proprietário, por ter disponibilizado seu negócio para o desenvolvimento do estudo de caso, sempre com muita educação e respeito nos encontros para coleta de dados e devolução dos resultados.

REFERÊNCIAS

ABEPRO. **Áreas e Sub-áreas de Engenharia de Produção**: Pesquisa Operacional, 2008. Disponível em: <<http://www.abepro.org.br/interna.asp?p=399&m=424&s=1&c=362>>. Acesso em: 06 maio. 2022.

ABIROCHAS. **Exportações acumuladas de janeiro a novembro ultrapassam US\$ 1,2 bilhão**, 2021.

Disponível em: <<https://abirochas.com.br/exportacoes-acumuladas-de-janeiro-a-novembro-ultrapassam-us-12-bilhao/>>. Acesso em 10 mai. 2021.

ANDRADE, G. P. ; CARVALHO, G. F.; REIS, J. A.; SANTANA, L. M. Aplicação de Programação Linear para maximização de lucros das vendas de uma Associação Atlética Acadêmica. In: ENCONTRO MINEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 15., 2019, Viçosa. **Anais....** Viçosa: EMEPRO, 2019. p. 1-7.

ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, YANASSE, H. **Pesquisa operacional para cursos de engenharia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

BAZARAA, M. S., JARVIS, J. **Linear Programing and Network Flows**. New York, John Wiley & Sons, 2005.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à pesquisa operacional**. McGraw Hill Brasil, 2013.

LEIGUS, A.; FENERICH, A. T.; MORAIS, M. F. Aplicações da Pesquisa Operacional. In: ENCONTRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO AGROINDUSTRIAL, 3., 2009, Campo Mourão. **Anais...** Campo Mourão: UNESPAR, 2009. p. 1-8.

MELO, F. J. C.; AQUINO, J. T.; FAMÁ, C. C. G.; CLAUDINO, C. N. Q.; LEAL, A. A.; JERÔNIMO, T. B. O uso da programação linear para maximização de lucros em uma empresa de serviço de corte e dobra de aço para a construção civil. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 3, p. 1-13, 2021.

NOSSA, Valcemiro; CHAGAS, José Ferreira. **Usando programação linear na contabilidade decisorial**. Vitória: FUCAPE, 1997.

PELEIAS, I.; NOGUEIRA, M.; PARISI, C.; ORNELAS, M. Otimização do mix operacional de um escritório de perícias: uma aplicação de programação linear. **Contab. Vista & Rev.**, v. 19, n. 1, p. 37-60, jan./ mar. 2008.

PERGHER, I.; RODRIGUES, L. H.; LACERDA, D. P. Discussão teórica sobre o conceito de perdas do Sistema Toyota de Produção: inserindo a lógica do ganho da Teoria das Restrições. **Gestão & Produção**, v. 18, n. 4, p. 673-686, 2011.

PRODANOV, C. C; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

SILVA, E. M; GONÇALVES, V.; MUROLO, A. C. **Pesquisa Operacional: para os cursos de Economia**,

Administração e Ciências Contábeis. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1998.

SILVA, R. C.; PAULA, E. V; DUARTE, N. S. Perspectivas do Empreendedorismo na Construção civil no Sertão Central do Ceará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 11., 2021, Ponta Grossa. **Anais...** Ponta Grossa: APREPRO, 2021. p. 1-11.

SOBRAPO. **O que é pesquisa operacional?**, 2021. Disponível em: <<https://www.sobrapo.org.br/o-que-e-pesquisa-operacional>>. Acesso em: 19 nov. 2021.

TAHA, H. A. **Pesquisa operacional:** uma visão geral. 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração.** 12. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

YIN, R. K. **Estudo de caso:** planejamento e métodos.3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 212p.

ZAMBONI, L. V. S. **Técnicas de Roteirização de Veículos aplicadas ao Transporte Escolar.** 1997. Dissertação (Mestrado em Métodos Numéricos em Engenharia/Programação Matemática). Universidade Federal do Paraná, Curitiba.