

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA – UFPB

Centro de Ciências Sociais Aplicadas – CCSA

Curso de Administração – CADM

**APLICAÇÃO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR ATRAVÉS DO SOLVER
EM UMA MICROEMPRESA DE SERVIÇOS DE BELEZA**

MARINA FONSECA MARTINS DE MELO

João Pessoa
Novembro 2020

MARINA FONSECA MARTINS DE MELO

**APLICAÇÃO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR ATRAVÉS DO SOLVER
EM UMA MICROEMPRESA DE SERVIÇOS DE BELEZA**

Trabalho de Curso apresentado como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Bacharel em Administração, pelo Centro de Ciências Sociais Aplicadas, da Universidade Federal da Paraíba / UFPB.

Professora Orientadora: Pâmela Adelino Ramos Albertins

João Pessoa
Novembro 2020

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

M528a Melo, Marina Fonseca Martins de.

Aplicação de programação linear através do Solver em
uma microempresa de serviços de beleza / Marina Fonseca
Martins de Melo. - João Pessoa, 2020.

58 f. : il.

Orientação: Pâmela Adelino Ramos Albertins.

TCC (Graduação) - UFPB/CCSA.

1. Administração - Trabalho de Conclusão de Curso. 2.
Pesquisa operacional. 3. Programação linear. 4.
Microempresas. I. Albertins, Pâmela Adelino Ramos. II.
Título.

UFPB/CCSA

CDU 005

Folha de aprovação

Trabalho apresentado à banca examinadora como requisito parcial para a Conclusão de Curso do Bacharelado em Administração

Aluno: Marina Fonseca Martins de Melo

Trabalho: Aplicação de programação linear através do solver em uma microempresa de serviços de beleza

Área de pesquisa: pesquisa operacional

Data de aprovação: 02/12/2020

Banca examinadora



Orientador


Profª Helen Silva Gonçalves
Profª do Curso de Administração
CCSA/UFPB

MAT. SIAPE 1420356
Membro 1

read with

Dedico este trabalho aos meus queridos pais, ao meu amado esposo e, sobretudo, à Deus, razão de minha vida.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal da Paraíba, por oferecer toda uma estrutura de ensino que possibilitou minha formação no curso de administração.

À Prof.^a Dr.^a Pâmela Adelino Ramos Albertins, que aceitou me orientar neste trabalho, dedicando tanto tempo e esforço, sempre me incentivando. Obrigada pela confiança, pela compreensão e todo ensinamento.

À empresária Kénnelly Turéck Viana da Matta, que, generosamente, disponibilizou tempo e informações essenciais para a elaboração deste trabalho em seu estabelecimento de beleza.

RESUMO

A pesquisa operacional (PO) é utilizada para orientar a tomada de decisão e a resolução de problemas. Ela traz resultados benéficos para organizações independente do seu tamanho. De modo que, seria bastante relevante que gestores de organizações de pequeno e médio porte passassem a incorporá-la em seus negócios. O presente trabalho objetivou utilizar PO para montar uma formulação matemática que possibilitasse a maximização de lucros e melhoria da tomada de decisão em uma microempresa de serviços de beleza através da aplicação de programação linear. No processo decisório os gestores podem escolher entre decidir usando apenas a intuição ou “realizar um processo de modelagem da situação [...] de maneira a estudar mais profundamente o problema” (LACHTERMACHER, 2018, p. 3). Nesse caso, aplicam-se estudos de PO, cujas fases incluem a formulação e modelagem do problema e sucessivos testes do modelo. Esta pesquisa classifica-se como aplicada, exploratória e quantitativa, e consiste em um estudo de caso. A coleta dos dados foi realizada através de entrevista. Para a formulação do problema e modelagem, foram identificadas as variáveis de decisão, a função objetivo e as restrições do sistema. O modelo foi inserido em planilha do programa Microsoft Excel e a resolução foi por meio do Solver. Foram descritos os serviços ofertados, bem como, o preço, a margem de lucro e o tempo médio de execução de cada um. Também foi apresentada a situação atual da empresa incluindo informações sobre horário de funcionamento, preços promocionais, clientela fiel, demandas máximas, ociosidade, mão de obra e finanças. As variáveis de decisão foram definidas como a quantidade de cada um dos diferentes serviços a ser realizada. A função objetivo foi de maximização dos lucros. As restrições identificadas dizem respeito a horário de funcionamento, horário inicial, atendimento da clientela fiel, limitação da mão de obra e demandas máximas de cada serviço. Após a primeira simulação foi necessário incluir uma restrição de valores inteiros para as variáveis. Segundo a solução ótima, devem ser realizados 7 cortes masculinos com máquina, 2 cortes masculinos com máquina e tesoura, 4 manutenções de sobrancelha e 3 aplicações de coloração. O lucro diário esperado será de R\$190,82. Percebeu-se que os recursos das restrições R1, R6, R10 e R12 são escassos. A simulação com preços promocionais demonstrou uma redução do lucro. Já, na simulação com dois colaboradores, o resultado aumentaria. A solução ótima mostrou que a receita mensal da empresa pode aumentar em 206%, mais que suficiente para pagar as despesas fixas e o pró-labore desejado. Recomenda-se manter ou aumentar as demandas máximas dos serviços cujas restrições não têm folga, conseguir demanda para o horário ocioso e reavaliar o preço dos

serviços das variáveis não básicas. O objetivo do estudo foi alcançado, pois a modelagem e resolução do problema permitiu estimar as expectativas de lucro e os impactos de diferentes decisões. A pesquisa buscou também mostrar a relevância da aplicação de PO em micro e pequenas empresas, demonstrando o impacto financeiro que podem produzir. Espera-se que este trabalho venha a contribuir para novos estudos nesta área.

Palavras-chave: Pesquisa operacional. Programação linear. Microempresas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Etapas da pesquisa	32
Figura 2 - Planilha com o modelo do problema	38
Figura 3 - Modelo com a solução ótima encontrada.....	39
Figura 4 - Nova solução ótima	40
Figura 5 - Solução para preços promocionais	46
Figura 6 - Solução para duas pessoas trabalhando na empresa	47

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação do porte dos estabelecimentos	29
Quadro 2 - Serviços do salão.....	33
Quadro 3 - Demanda máxima diária por serviço	34
Quadro 4 - Variáveis de decisão	35
Quadro 5 - Valores, folgas e preço sombra das restrições	41
Quadro 6 - Custo reduzido das variáveis	42
Quadro 7 - Recomendações.....	49

LISTA DE SIGLAS

LHS	<i>Left Hand Side</i>
MEI	Micro Empreendedor Individual
MPEs	Micro e Pequenas Empresas
PL	Programação Linear
PO	Pesquisa Operacional
RHS	<i>Right Hand Side</i>
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Contextualização	13
1.2 Problematização	15
1.3 Objetivos.....	15
1.3.1 Objetivo Geral.....	15
1.3.2 Objetivos Específicos	16
1.4 Justificativa	16
1.5 Apresentação	17
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1 A Pesquisa Operacional na Tomada de Decisão	18
2.2 Fases do Estudo em Pesquisa Operacional.....	19
2.3 Aplicação do Solver.....	23
3 METODOLOGIA	27
3.1 Classificação da pesquisa	27
3.2 Universo e amostra.....	28
3.3 Técnica e instrumento de pesquisa	30
3.4 Coleta de dados	30
3.5 Processamento e análise de dados.....	31
4 RESULTADOS	33
4.1 Análise Descritiva.....	33
4.2 Análise Exploratória	34
4.2.1 Modelagem do problema	34
4.2.2 Simulação inicial.....	38
4.2.3 Simulação com valores inteiros	40
4.2.4 Simulação com preços promocionais	45
4.2.5 Simulação com adição de mão de obra	46
4.2.6 Recomendações.....	47
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	50
REFERÊNCIAS.....	53
APÊNDICE A – RELATÓRIO DE RESPOSTAS 1.....	55
APÊNDICE B – RELATÓRIO DE SENSIBILIDADE 1.....	56
APÊNDICE C – RELATÓRIO DE LIMITES 1.....	57

APÊNDICE D – RELATÓRIO DE RESPOSTAS 2	58
--	-----------

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

Desde que surgiu, a pesquisa operacional (PO) é utilizada para orientar a tomada de decisão e a resolução de problemas. Na sua origem, esses problemas eram de natureza militar, conforme mencionado por Silva *et al.* (2017, p. 1), “a Pesquisa Operacional como a conhecemos surgiu durante a Segunda Guerra Mundial, resultado de estudos realizados por equipes interdisciplinares de cientistas contratados para resolver problemas militares de ordem estratégica e tática”. Logo em seguida, esse conhecimento foi empregado na realidade das organizações e passou a contribuir de modo formidável para o crescimento das mesmas. “Problemas enfrentados na guerra eram em boa medida similares aos encontrados em empresas, e não tardou muito para que houvesse uma rápida aceitação de métodos de PO. O impacto financeiro [...] fez com que a disciplina florescesse enormemente”. (COLIN, 2019, p. xi).

Quanto à definição de PO, Silva *et al.* (2017, p. 1) afirma que “[...] é um método científico de tomada de decisões. Em linhas gerais, consiste na descrição de um sistema organizado com o auxílio de um modelo, e através da experimentação com o modelo, na descoberta da melhor maneira de operar o sistema”. Colin (2019, p. xi) diz que três características devem estar presentes na definição de PO: “uso de métodos matemáticos para resolver problemas, desejo constante por otimização e orientação a aplicações”.

A programação linear (PL) é parte integrante da pesquisa operacional. Segundo Silva *et al.* (2017, p. 4), “Uma das técnicas mais utilizadas na abordagem de problemas em Pesquisa Operacional é a programação linear”. Hillier e Lieberman (2013, p. 69) afirmam que:

A programação linear é uma técnica poderosa para lidar com o problema de alocação de recursos limitados entre atividades que competem entre si, bem como outros problemas com formulação matemática similar. Ela se tornou uma ferramenta-padrão de grande importância para inúmeras organizações comerciais e industriais. Além disso, praticamente todas as organizações sociais estão preocupadas com a alocação de recursos em algum contexto, e há um reconhecimento crescente da enorme aplicabilidade dessa técnica.

Silva *et al.* (2017, p. xi) diz ainda que “A Programação Linear tem o mérito de envolver conhecimentos matemáticos relativamente simples, e ser de larga aplicação no campo da administração”. Sobre a importância da pesquisa operacional, Colin (2019, p. xiii)

trata da sua ampla aplicabilidade afirmando que “provavelmente não há outras disciplinas com tantos exemplos distintos, em tantas áreas, em tantos segmentos industriais e com resultados tão contundentes”. Isso pode ser confirmado pelo que foi dito por Hillier e Lieberman (2013, p. 2), “PO tem sido amplamente aplicada em áreas tão distintas como manufatura, transportes, construção, telecomunicações, planejamento financeiro, assistência médica, militar e serviços públicos, [...] a gama de aplicações é excepcionalmente grande”.

Conforme dito por Hillier e Lieberman (2013, p.3), “a pesquisa operacional teve impacto impressionante para melhorar a eficiência de inúmeras organizações pelo mundo”. Grandes organizações investem em pesquisa operacional, isso porque “à medida que aumentam a complexidade e a especialização, torna-se cada vez mais difícil alocar os recursos disponíveis para as diversas atividades da maneira mais eficiente para toda a organização”. (HILLIER; LIEBERMAN, 2013, p. 1). O retorno financeiro que essas empresas obtêm chega a dimensão de milhões ou bilhões de dólares. Fica evidente que a utilização de PO proporciona a essas empresas grande vantagem competitiva.

Porém, é importante ressaltar que a pesquisa operacional traz resultados benéficos para as organizações independente do seu tamanho. Colin (2019, p. xii) relata: “Eu, que já fiz dezenas de projetos relacionados com administração geral, com executivos de diferentes empresas e níveis, conheço bem a importância dada a uma ferramenta tão ‘redonda’ e que funciona tão bem”. O mesmo autor afirma que,

Além dos casos de grandes economias, há uma outra infinidade de casos em que as aplicações geram economias menos substanciais, mas facilitam sobremaneira a vida do administrador. Quando um problema é resolvido com programação linear, há uma garantia grande (considerando que a modelagem e a solução sejam adequadas) de que não haverá uma solução melhor. (COLIN, 2019, p. 1).

Considerando todos os benefícios mencionados, seria bastante relevante que gestores de organizações de pequeno e médio porte passassem a incorporar a pesquisa operacional em seus negócios.

No Brasil, existe uma classificação para as empresas de acordo com o seu porte. As micro e pequenas empresas (MPEs) são definidas pela Lei Complementar nº 123/2006.

Art. 3º Para os efeitos desta Lei Complementar, consideram-se microempresas ou empresas de pequeno porte, a sociedade empresária, a sociedade simples, a empresa individual de responsabilidade limitada e o empresário a que se refere o art. 966 da Lei no 10.406, de 10 de janeiro de 2002 (Código Civil), devidamente registrados no Registro de Empresas Mercantis ou no Registro Civil de Pessoas Jurídicas, conforme o caso, desde que:

- I - no caso da microempresa, aufera, em cada ano-calendário, receita bruta igual ou inferior a R\$ 360.000,00 (trezentos e sessenta mil reais); e
- II - no caso de empresa de pequeno porte, aufera, em cada ano-calendário, receita bruta superior a R\$ 360.000,00 (trezentos e sessenta mil reais) e igual ou inferior a R\$ 4.800.000,00 (quatro milhões e oitocentos mil reais). (BRASIL, 2006).

Posteriormente, a Lei Complementar nº 128/2008, alterando a lei antes mencionada, criou a figura jurídica do microempreendedor individual (MEI). No cenário atual, há poucos estudos de pesquisa operacional direcionados à realidade das MPEs, inclusive de MEIs. Pesquisas que apliquem esse conhecimento em negócios de pequeno porte podem contribuir muito para a sobrevivência e crescimento desses empreendimentos. Para muitas dessas empresas PO é um assunto desconhecido.

O La Curitibana Salão e Barbearia é administrado por uma microempreendedora individual. Está localizado na cidade de João Pessoa, Paraíba, e atua atendendo clientes que procuram serviços como corte e tintura de cabelo, manicure, pedicure, fazer barba, entre outros. O presente trabalho visou realizar um estudo de caso nesta empresa, no qual as técnicas e ferramentas de pesquisa operacional puderam ser aplicadas considerando as características próprias do negócio, de maneira a contribuir com a maximização do lucro e auxiliar a gestora no processo de tomada de decisão em questões importantes de sua organização.

1.2 Problematização

Como utilizar a pesquisa operacional na realidade de uma empresa MEI para resolver o problema de maximização de lucros e tomada de decisão?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Utilizar a pesquisa operacional em uma MEI, por meio de uma formulação matemática que possibilite a maximização de lucros e melhoria da tomada de decisão através da aplicação de programação linear.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Coletar as informações necessárias sobre a empresa estudada;
- Identificar problemas em que a pesquisa possa ser aplicada;
- Construir o modelo matemático do problema e resolvê-lo com o auxílio de recursos computacionais;
- Analisar os resultados dos relatórios gerados;
- Apontar quais as são decisões operacionais mais indicadas pelo estudo e o impacto financeiro esperado.

1.4 Justificativa

Gestores não podem tomar decisões baseadas em “achismos”, eles necessitam embasar suas decisões em dados e informações confiáveis. Além disso, precisam de tratar e analisar os dados de forma eficiente, para que a realidade de suas empresas seja devidamente representada e alcancem os objetivos almejados.

A pesquisa operacional permite analisar situações da realidade, identificando quais são as variáveis de decisão e restrições do sistema e, ainda, quais os objetivos que se deseja alcançar. Ela apresenta técnicas e ferramentas úteis que possibilitam a criação de modelos matemáticos, que representam o sistema, e a otimização das variáveis de decisão, bem como proporciona a análise de diversos parâmetros que integram o sistema. Desse modo, pode contribuir muito para a tomada de decisão dentro das organizações, uma vez que fornece informações importantes, baseadas em dados obtidos da realidade, que puderam passar por diversos tipos de testes e análises.

A utilização de PO é bastante difundida em organizações de grande porte, porém para microempreendedores individuais, pequenas e médias empresas ela é pouco empregada e muitas vezes desconhecida.

Este trabalho se propôs a colaborar com o La Curitibana Salão e Barbearia, construindo um modelo eficaz do sistema de serviços da empresa, que pudesse ser submetido à testagem utilizando técnicas e ferramentas de PO e gerando relatórios com informações relevantes para que a gestora possa tomar decisões que favoreçam a maximização dos lucros e beneficie seu negócio. A partir do estudo de caso, este trabalho espera contribuir para a disseminação do uso de PO em empresas do tipo MEI e MPes, assim como incentivar mais estudos na área.

1.5 Apresentação

Os capítulos deste estudo foram organizados da maneira que se segue. Primeiramente, na fundamentação teórica, são abordados o papel da pesquisa operacional para a tomada de decisões, as fases do estudo em PO e, também, sobre a ferramenta Solver utilizada. Em seguida, o capítulo sobre a metodologia descreve como foi realizada a coleta dos dados e modelagem do problema, além disso, trata sobre como o modelo foi inserido e processado no *software* e como se deu a análise dos relatórios gerados. Depois, nos resultados, a análise descritiva apresenta os dados obtidos sobre a empresa, e a análise exploratória traz a modelagem do problema, as simulações realizadas e recomendações que orientam a tomada de decisão. Por fim, nas considerações finais é discutida a relevância deste estudo para a empresa e para a área de estudo em PO.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 A Pesquisa Operacional na Tomada de Decisão

O processo de tomada de decisão é parte constante no dia a dia daqueles que administram organizações. Frequentemente gestores devem avaliar situações diversas, encontrar e ponderar sobre as alternativas de ação e optar por alguma dentre elas. Conforme dito por Lachtermacher (2018, p. 3), “podemos entender a tomada de decisão como o processo de identificação de um problema ou de uma oportunidade e a seleção de uma linha de ação para resolvê-lo”. Em relação à diferença entre problemas e oportunidades, o mesmo autor afirma: “um problema ocorre quando o estado atual de uma situação é diferente do desejado. Já uma oportunidade ocorre quando as circunstâncias oferecem a chance de um indivíduo ou de uma organização ultrapassar ou alterar seus objetivos ou metas” (LACHTERMACHER, 2018, p. 3).

Todavia, nem todas as decisões têm a mesma importância, o processo decisório precisa levar em consideração os impactos que serão gerados a partir das escolhas feitas. Sendo assim, mecanismos que auxiliem os gestores na tomada de decisão podem desempenhar um papel fundamental para facilitar esse processo e propiciar o alcance dos resultados almejados.

Segundo Lachtermacher,

Quando os gerentes se veem diante de uma situação na qual uma decisão deve ser tomada entre uma série de alternativas conflitantes e concorrentes, duas opções básicas se apresentam: (1) usar apenas a intuição gerencial; e (2) realizar um processo de modelagem da situação e exaustivas simulações dos mais diversos cenários de maneira a estudar mais profundamente o problema. (LACHTERMACHER, 2018, p. 3).

A intuição gerencial desenvolvida pelos gestores, em geral, advém da própria experiência administrativa, fruto de situações anteriormente vivenciadas ou conhecidas. Muitos são os gerentes, sobretudo aqueles que administram pequenos negócios, cujas decisões são ainda baseadas unicamente na intuição, essas empresas ficam à mercê de que as percepções dos administradores estejam corretas. Sobre isso, Lachtermacher (2018, p. 3) conta que “até recentemente, a primeira opção se constituía na única alternativa viável, visto que não existiam nem dados, nem informações sobre os problemas, nem poder computacional para resolvê-los”.

Contudo, os avanços tecnológicos propiciaram que as organizações pudessem obter e armazenar dados com maior facilidade e em grandes proporções, bem como, com o surgimento de novas ferramentas computacionais, que esses dados pudessem ser organizados e processados de modo eficiente. É importante dizer que essas tecnologias estão cada vez mais acessíveis, em relação tanto à facilidade de utilização quanto aos custos associados. Com isso, “um número cada vez maior de empresas e tomadores de decisão passou a optar pela segunda alternativa, isto é, pela elaboração de modelos para auxiliar esse processo”. (LACHTERMACHER, 2018, p. 3).

Entretanto, cabe ressaltar que a intuição do gestor não deve ser desconsiderada, e sim complementada por um suporte de base de dados e ferramentas computacionais que auxiliem em tomadas de decisão mais assertivas e com maior profundidade de análise. Lachtermacher (2018, p.3) fala que “a intuição do tomador de decisão deve ajudá-lo na seleção das informações relevantes, nos possíveis cenários a serem estudados, na validação do modelo e na análise de seus resultados”.

A modelagem de problemas no processo decisório acarreta em muitas vantagens para a organização. Lachtermacher (2018) elenca as seguintes vantagens: Os modelos forçam os decisores a tornarem explícitos seus objetivos; a identificar e armazenar as diferentes decisões que influenciam os objetivos, bem como, os relacionamentos entre as decisões; a identificação também das variáveis a serem incluídas e em que termos elas serão quantificáveis; forçam o reconhecimento de limitações e permitem a comunicação de suas ideias e seu entendimento para facilitar o trabalho de grupo.

Nesse contexto, é a utilização da pesquisa operacional que consegue criar modelos matemáticos que retratam as diferentes situações em questão nas empresas, bem como possui as técnicas de resolução desses modelos que são utilizadas pelas ferramentas computacionais. Dessa forma, a PO apresenta aos gestores as melhores alternativas de decisão e os resultados esperados a partir do modelo utilizado.

2.2 Fases do Estudo em Pesquisa Operacional

Para que seja possível desenvolver, em uma organização, um estudo que utilize pesquisa operacional, é necessário seguir por certas etapas, procedendo de modo adequado, a fim de alcançar os resultados almejados pelo estudo. Segundo Silva *et al.* (2017, p.1) as fases de um estudo em pesquisa operacional são seis: “formulação do problema; construção do modelo do sistema; cálculo da solução através do modelo; teste do modelo e da solução;

estabelecimento de controles da solução; implantação e acompanhamento”. De modo muito semelhante, Hillier e Lieberman (2013, p. 7) apresentam as principais fases de um típico estudo em PO:

1. definir o problema de interesse e coletar dados;
2. formular um modelo matemático para representar o problema;
3. desenvolver um procedimento computacional a fim de derivar soluções para o problema com base no modelo;
4. testar o modelo e aprimorá-lo conforme necessário;
5. preparar-se para a aplicação contínua do modelo conforme prescrito pela gerência;
6. implementá-lo.

Sendo assim, a pesquisa inicia por compreender quais são os fatores relacionados ao problema que será tratado no estudo. Hillier e Lieberman (2013, p. 7) discorrem que “a maioria dos problemas práticos enfrentados pelas equipes de PO é inicialmente descrita de forma vaga e imprecisa. Consequentemente, a primeira ordem do dia é estudar o sistema relevante e desenvolver um enunciado bem definido do problema a ser considerado”. Logo, em relação à formulação do problema, faz-se necessário proceder conforme dito por Silva *et al.* (2017, p. 1), “Nesta fase, o administrador do sistema e o responsável pelo estudo em PO deverão discutir, no sentido de colocar o problema de maneira clara e coerente, definindo os objetivos a alcançar e quais os possíveis caminhos alternativos para que isso ocorra”.

Hillier e Lieberman (2013, p. 7) ressaltam que a definição do problema de interesse envolve determinar “os objetivos apropriados, restrições sobre o que pode ser feito, relação entre a área a ser estudada e outras áreas da organização, possíveis caminhos alternativos, limites de tempo para tomada de decisão e assim por diante”. Da mesma forma, Silva *et al.* (2017, p.1) afirma que “serão levantadas as limitações técnicas do sistema e as relações desse sistema com outros da empresa ou do ambiente externo, com a finalidade de criticar a validade de possíveis soluções em face destes obstáculos”. A partir dessas colocações, fica evidente como esta primeira fase do estudo é determinante na construção do modelo matemático que representará a realidade da empresa. “Esse processo de definição de problema é crucial, pois afeta muito a relevância das conclusões do estudo. É difícil obter uma resposta ‘correta’ para um problema ‘incorreto!’” (HILLIER; LIEBERMAN, 2013, p. 7).

A segunda fase do estudo consiste na modelagem do problema. “Modelo é uma representação simplificada da realidade expressa por equações matemáticas que serve para simulá-la”. (COLIN, 2019, p. 6). Hillier e Lieberman (2013, p. 10) falam sobre as vantagens dos modelos matemáticos em relação à simples descrição verbal do problema: “Uma das

vantagens é descrever um problema de forma muito mais concisa, o que tende a tornar mais compreensível a estrutura geral do problema e ajuda a revelar importantes relacionamentos de causa-efeito”. Outra vantagem mencionada pelos autores é que “um modelo matemático forma uma ponte para o emprego de técnicas matemáticas e computadores potentes para analisar o problema” (HILLIER; LIEBERMAN, 2013, p. 10).

Contudo, Colin (2019, p. 10) destaca que “mesmo com um gigantesco arcabouço teórico existente, na prática, modelagem e identificação do problema acontecem de forma empírica e pessoal. [...] não há um algoritmo que nos ajude a transformar um problema do mundo real num modelo”. Assim sendo, é fundamental saber que “modelos quantitativos são representações aproximadas do mundo real”. (COLIN, 2019, p. 77).

No processo de modelagem de um problema, deve-se ter em mente que “um bom modelo não é necessariamente aquele que representa com mais exatidão e detalhes o mundo real, mas sim aquele que consegue capturar de forma eficiente a essência e as principais decisões envolvidas no problema real”. (COLIN, 2019, p. 77). Silva *et al.* (2017, p. 2) ainda coloca que “um bom modelo é aquele que tem desempenho suficientemente próximo do desempenho da realidade e é de fácil experimentação”. De acordo com Colin (2019, p. 6), “a experiência indica que um modelo simples (mais facilmente implementável) com 95% de precisão é preferível a outro mais sofisticado com precisão maior. Em geral essa ‘precisão’ está associada ao nível de tomada de decisões ao qual o modelo está associado”.

“O modelo matemático de programação linear é composto de uma função objetivo linear, e de restrições técnicas representadas por um grupo de inequações também lineares”. (SILVA *et al.*, 2017, p. 4). Portanto, para desenvolver o modelo do problema, Colin (2019, p. 10) afirma que “o primeiro passo da modelagem é a escolha das variáveis de decisão. [...] O segundo passo refere-se à criação da função-objetivo e restrições”.

A fim de identificar quais são as variáveis de decisão do problema, deve-se saber que “variáveis controladas ou de decisão – são variáveis cujo valor está sob controle do administrador. Decidir, neste caso, é atribuir um particular valor a cada uma dessas variáveis”. (SILVA *et al.*, 2017, p. 1). A partir disso, observar de que forma cada uma delas influencia no objetivo desejado e sua relação com as limitações do sistema.

Segundo Colin (2019, p. 6), a função objetivo “é uma função matemática que representa o principal objetivo do tomador de decisão. Ela é de dois tipos: minimização (de custos, erros, chance de perda, desvio do objetivo etc.) ou maximização (de lucro, receita, utilidade, bem-estar, riqueza, chance de sobrevivência etc.)”. Silva *et al.* (2017, p. 4) diz ainda que “a função objetivo ou função de eficiência mede o desempenho do sistema [...] para cada

solução apresentada. [...] As restrições garantem que essas soluções estão de acordo com as limitações técnicas impostas pelo sistema”.

Terminada a modelagem do problema, Hillier e Lieberman (2013, p. 2) delineiam o seguinte, “parte-se, então, da hipótese de que esse modelo é uma representação suficientemente precisa das características essenciais da situação e de que as conclusões (soluções) obtidas do modelo também são válidas para o problema real”. Com isso, pode-se escolher e utilizar uma ferramenta computacional, que seja adequada para a resolução de problemas de PO, para inserir o modelo desenvolvido. Essa é a terceira fase do estudo.

Ao iniciar a experimentação do modelo, é importante estar ciente do que afirmam Hillier e Lieberman (2013, p. 14): “a primeira versão de um modelo matemático de grandes dimensões contém muitas falhas. Alguns fatores ou inter-relacionamentos relevantes, sem dúvida, não foram incorporados ao modelo e alguns parâmetros indubitavelmente ainda não foram estimados corretamente”. Isso decorre da “dificuldade de comunicação e de compreensão de todos os aspectos e sutilezas de um problema operacional complexo, bem como em razão da dificuldade de coletar dados confiáveis”. (HILLIER; LIEBERMAN, 2013, p. 14).

Portanto, em relação a esta etapa de experimentação, quarta fase do estudo, Hillier e Lieberman (2013, p. 14) discorrem que “antes de utilizar o modelo, ele deve ser amplamente testado para tentar identificar e corrigir o maior número possível de falhas. Finalmente, após longa sucessão de aperfeiçoamentos do modelo, a equipe de PO conclui que ele agora está apresentando resultados válidos”. Proceder dessa forma é importante para tornar o modelo confiável. “Esse processo de teste e aperfeiçoamento de um modelo para aumentar sua validade é comumente referido como validação de modelos”. (HILLIER; LIEBERMAN, 2013, p. 14). Os mesmos autores complementam que “pode-se obter *insight* adicional sobre a validade do modelo variando-se os valores dos parâmetros ou as variáveis de decisão e verificando-se se a saída gerada pelo modelo se comporta de forma plausível” (HILLIER, LIEBERMAN, 2013, p. 14).

As fases seguintes, preparação para aplicação do modelo e implementação, não serão abordadas aqui, uma vez que, o presente trabalho tratará neste momento apenas das quatro fases iniciais do estudo, podendo ser um trabalho a ser desenvolvido no futuro. Já que essas etapas (aplicação do modelo e implementação) dependem das decisões e ações incorporadas à empresa pela gestora, a partir dos resultados e conclusões obtidos desta pesquisa.

2.3 Aplicação do Solver

Segundo Colin (2019, p. 6), “a programação linear trata do problema de alocação ótima de recursos escassos para a realização de atividades. Por ótimo entendemos que não haja outra solução que seja melhor do que a oferecida (pode haver outras tão boas quanto)”. O autor complementa que “uma solução ótima é aquela que além de ser viável, gera um valor de função-objetivo extremo: maior valor dentre todos os existentes no caso da maximização, e menor valor na minimização” (COLIN, 2019, p. 7).

Compete recordar que “após a formulação de um modelo matemático para o problema em questão, a próxima fase em um estudo de PO é desenvolver um procedimento (normalmente com base em computador) para derivar soluções para o problema desse modelo” (HILLIER, LIEBERMAN, 2013, p. 12). Sendo assim, a fim de derivar a solução (ou soluções) ótima para o problema estudado no presente trabalho, segue-se um detalhamento sobre a ferramenta computacional que será utilizada.

Colin (2019, p. xii) afirma que “a pesquisa operacional oferece ferramentas concretas: a partir de um modelo que representa um problema do mundo real, um software é usado, e a melhor solução possível referente ao modelo é encontrada”. Ao tratar sobre o crescimento do campo da pesquisa operacional, Hillier e Lieberman (2013, p. 2) falam sobre as consequências da revolução computacional:

O desenvolvimento de computadores eletrônicos digitais, com capacidade de realizar cálculos matemáticos milhões de vezes mais rapidamente que o ser humano, impulsionou muito a PO. Outro estímulo surgiu nos anos 1980, com a criação de computadores pessoais cada vez mais poderosos, munidos de excelentes pacotes de software para a PO. Assim, a PO ficou ao alcance de um número muito maior de pessoas e esse progresso acelerou-se mais na década de 1990 e no século XXI. Hoje, milhões de pessoas têm pronto acesso a softwares de PO.

De modo semelhante, Lachtermacher (2018, p. 2) apresenta o impacto da tecnologia em estudos de PO e o papel delas no processo decisório das empresas:

Com as facilidades dos microcomputadores, cada vez mais rápidos, um grande número de sistemas de apoio à decisão tem sido implementado pelos próprios tomadores de decisão, sem o auxílio de nenhum especialista da área de informática, em planilhas eletrônicas, que, nas últimas décadas, têm constituído um importante fator na melhoria do processo de tomada de decisão por meio de recursos crescentes para a implementação de modelos computacionais efetivos e por sua facilidade de utilização.

Lachtermacher (2018, p. 48) aponta que “dentre as ferramentas que vêm ganhando cada vez mais adeptos, as planilhas eletrônicas são as preferidas, pois, além da facilidade de utilização, estão presentes em praticamente todas as empresas modernas”. Hillier e Lieberman (2013, p.5) mencionam um dos programas de planilha que pode ser utilizado na resolução de problemas de PO, quando afirmam “hoje, uma abordagem muito conhecida é o uso do programa de planilhas mais utilizado do momento, o Microsoft Excel, para formular pequenos modelos de PO no formato de planilha”. Eles falam também sobre a ferramenta Solver que é um suplemento do programa, “o Excel inclui uma ferramenta chamada Solver que usa o método simplex para encontrar uma solução ótima” (HILLIER, LIEBERMAN, 2013, p. 80).

Sobre a capacidade das planilhas de Excel junto com o Solver em lidar com problemas de PO, Hillier e Lieberman (2013, p. 77) discorrem o seguinte,

Pacotes de software de planilhas, como o Excel, constituem uma ferramenta muito utilizada para analisar e resolver pequenos problemas de programação linear. As principais características desse modelo, incluindo todos os seus parâmetros, podem facilmente ser incluídos em uma planilha. [...] Se incluirmos algumas informações adicionais, a planilha pode ser usada para analisar rapidamente soluções em potencial. [...] Grande parte do poder das planilhas reside em sua habilidade de revelar imediatamente os resultados de quaisquer alterações feitas na solução. Além disso, o Excel Solver pode aplicar rapidamente o método simplex para encontrar uma solução ótima para o modelo.

Entretanto, é importante estar ciente de que “uma solução ótima para o modelo original pode estar longe do ideal para o problema real, de modo que se faz necessária uma análise adicional” (HILLIER, LIEBERMAN, 2013, p. 13). Trata-se da análise de pós-otimalidade, que de acordo com Hillier e Lieberman (2013, p. 13) consiste em uma “análise feita após encontrar-se uma solução ótima”. Os autores afirmam ainda:

O advento de poderosos softwares de planilha frequentemente tem dado às planilhas um papel central na condução da análise de pós-otimalidade. Um dos pontos mais fortes das planilhas é a facilidade com que elas podem ser usadas interativamente por qualquer pessoa, inclusive pelos gerentes, para observar o desenrolar dos fatos em relação à solução ótima quando são realizadas mudanças no modelo. “Esse processo de experimentação também pode ser muito útil para se compreender seu comportamento e aumentar a confiança em sua validade”. (HILLIER, LIEBERMAN, 2013, p. 13).

A análise pós-otimalidade permite uma análise mais diversa, conforme é colocado por Colin (2019, p. 77), “após um modelo ter sido formulado e resolvido, podemos estar interessados em qual seria o seu comportamento caso variáveis, objetivos, restrições ou parâmetros mudem”. A possibilidade de realizar essa análise é relevante, uma vez que, “como os valores externos de um modelo são normalmente dinâmicos, é muito útil saber em que

intervalos eles podem variar sem que seja necessária a procura de nova solução” (SILVA *et al.*, 2017, p. 110). Some-se a isso que “coletar dados precisos normalmente é difícil. Portanto, o valor atribuído a um parâmetro de modo geral é, forçosamente, apenas uma estimativa grosseira”. (HILLIER, LIEBERMAN, 2013, p. 10). Sendo assim, Hillier e Lieberman (2013, p. 10) salientam que “em razão da incerteza sobre o valor real do parâmetro, é importante analisar como a solução derivada do modelo finalmente modificaria se o valor atribuído ao parâmetro fosse modificado para outros valores plausíveis”.

As informações para análise pós-otimalidade podem ser encontradas nos relatórios gerados pela ferramenta Solver que integra as planilhas de Excel. O Solver produz até três tipos de relatório diferentes: relatório de respostas, relatório de limites e relatório de sensibilidade. Lachtermacher (2018) fala detalhadamente sobre cada um deles.

Segundo o autor, o relatório de respostas indica os valores iniciais e finais das variáveis de decisão e da função objetivo, antes e depois da otimização. Apresenta ainda os valores do lado esquerdo (*left hand side* – LHS) de cada uma das restrições após a otimização. “A coluna *status* pode apresentar dois valores: Associação ou Não associação. Quando o valor dessa coluna relativo a uma restrição apresentar o valor Associação, significa que o LHS tem obrigatoriamente o mesmo valor do RHS (right hand side)” (LACHTERMACHER, 2018, p. 95). “Quando o valor Não associação for mostrado para uma restrição, geralmente isso significará que o LHS é diferente do RHS. Podem acontecer casos em que o LHS é igual ao RHS e o valor apresentado é Não associação” (LACHTERMACHER, 2018, p. 95). Sobre essa possibilidade, Lachtermacher (2018, p. 95) assinala que “isso pode indicar a existência de soluções múltiplas para o problema. A coluna Margem de atraso indica a diferença entre o LHS e o RHS de cada uma das restrições” (LACHTERMACHER, 2018, p. 95). A partir dessa diferença, será possível dizer se há folga de recursos no modelo analisado.

Sobre o relatório de limites, Lachtermacher (2018) detalha que ele apresenta, além dos valores das variáveis de decisão na solução ótima, as variações possíveis dos valores dessas variáveis e também da função objetivo. “Os limites inferiores [...] significam os menores valores que essas variáveis de decisão podem assumir (mantidas constantes todas as outras variáveis) sem que nenhuma restrição deixe de ser satisfeita” (LACHTERMACHER, 2018, p. 96). Analogamente, os limites superiores significam os maiores valores possíveis para as variáveis.

No relatório de sensibilidade, além dos valores das variáveis de decisão e do LHS das restrições após a otimização, Lachtermacher (2018) diz que o relatório apresenta as possíveis mudanças nos coeficientes das variáveis de decisão da função objetivo e as

alterações que as constantes das restrições podem sofrer. Colin (2019, p.8) afirma que “a análise de sensibilidade tenta identificar como a solução ótima muda quando acontecem alterações nos parâmetros”. “Ela é fundamental quando o tomador de decisão está interessado em avaliar como mudanças no modelo (e no mundo real que ele representa) podem afetar a solução” (COLIN, 2019, p. 77).

O relatório de sensibilidade apresenta ainda os valores de preço-sombra e custo reduzido. Segundo Lachtermacher (2018, p. 96), preço-sombra significa “a quantidade pela qual a função-objetivo é alterada, dado um incremento de uma unidade na constante da restrição, supondo que todos os outros coeficientes e constantes permaneçam inalterados”. Colin (2019, p. 71) ressalta que “os preços-sombras oferecem informações importantes acerca de recursos (como quão lucrativo poderia ser o aumento ou a diminuição deles) relacionados com a elaboração das atividades”.

O valor do preço-sombra pode aparecer positivo, zero ou negativo. “Se o preço-sombra for positivo, um incremento de uma unidade na constante da restrição resultará em aumento do valor da função-objetivo. Se o preço-sombra for negativo, [...] resultará na diminuição do valor da função-objetivo”. (LACHTERMACHER, 2018, p. 96). Lachtermacher (2018, p. 96) complementa que “o valor do preço-sombra permanecerá constante desde que o valor da constante permaneça no intervalo descrito pelas colunas de permitido aumento e permitido reduzir”.

A definição de custo reduzido é dada por Colin (2019, p. 78) da seguinte forma: “para uma variável não básica (cujo valor é zero), o custo reduzido é a menor alteração no coeficiente da função-objetivo que faz com que a variável passe a ser básica (tem um valor diferente de zero) na solução ótima”. Considerando que apenas um dos coeficientes se altere, “como os valores do custo reduzido estão ligados aos coeficientes da função-objetivo [...], as colunas permitido aumentar e permitido reduzir dos coeficientes formam um intervalo no qual podem sofrer alterações [...] sem que a solução ótima seja alterada”. (LACHTERMACHER, 2018, p. 99).

3 METODOLOGIA

Nesta seção está descrita a forma como o presente estudo foi conduzido, os procedimentos metodológicos que foram empregados e demais características da pesquisa. Conforme dito por Gil (2018, p. 1), “pode-se definir pesquisa como o procedimento racional e sistemático que tem como objetivo fornecer respostas aos problemas que são propostos”. Para Marconi e Lakatos (2019, p. 169), a pesquisa é “um procedimento formal, com método de pensamento reflexivo, que requer tratamento científico e se constitui no caminho para conhecer a realidade ou para descobrir verdades parciais”.

Segundo Marconi e Lakatos (2019), quando se trata de documentação direta, a obtenção dos dados pode ocorrer por meio das pesquisas de campo ou de laboratório. A pesquisa de campo “consiste na observação de fatos e fenômenos tal como ocorrem espontaneamente, na coleta de dados a eles referentes e no registro de variáveis que se presume relevantes para analisá-los” (MARCONI; LAKATOS, 2019, p. 203). Portanto, cabe enfatizar que “a pesquisa é desenvolvida mediante o concurso dos conhecimentos disponíveis e a utilização cuidadosa de métodos e técnicas de investigação científica” (GIL, 2018, p. 1).

3.1 Classificação da pesquisa

“Como as pesquisas se referem aos mais diversos objetos e perseguem objetivos muito diferentes, é natural que se busque classificá-las” (GIL, 2018, p. 24). A seguir, são definidas as classificações deste trabalho de acordo com cada aspecto da pesquisa.

Quanto à natureza, o presente estudo é considerado como pesquisa aplicada, pois busca oferecer soluções práticas a uma situação real. Conforme dito por Gil (2018, p. 25), a pesquisa aplicada “abrange estudos elaborados com a finalidade de resolver problemas identificados no âmbito das sociedades em que os pesquisadores vivem”.

Quanto aos objetivos, Gil (2018, p. 26) afirma que “as pesquisas exploratórias têm como propósito proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses. [...] interessa considerar os mais variados aspectos relativos ao fato ou fenômeno estudado”. Desse modo, essa pesquisa é classificada como sendo exploratória, uma vez que procura investigar como a aplicação da pesquisa operacional pode contribuir na melhoria do processo decisório de uma microempresa e identificar a relação entre as decisões tomadas e os resultados esperados.

Ao tratar sobre a origem de sistemas que classificam as pesquisas segundo a natureza dos dados, ou seja, se a pesquisa é quantitativa ou qualitativa, Gil (2018, p. 27) diz o seguinte: “para que se possa avaliar a qualidade dos resultados de uma pesquisa, é necessário saber como os dados foram obtidos, bem como os procedimentos adotados em sua análise e interpretação”. Sendo assim, quanto à abordagem, a pesquisa é considerada quantitativa, pois os dados necessários ao desenvolvimento do estudo são de natureza quantitativa, bem como o tratamento que será aplicado.

Quanto ao procedimento, caracteriza-se como um estudo de caso, pois a pesquisa será desenvolvida na realidade de uma empresa específica. Segundo Gil (2018, p. 33), “o estudo de caso é uma modalidade de pesquisa amplamente utilizada nas ciências sociais. Consiste no estudo profundo e exaustivo de um ou poucos casos, de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento”. Yin (2015, p. 4) comenta que “um estudo de caso permite que os investigadores foquem um ‘caso’ e retenham uma perspectiva holística e do mundo real”. É importante saber que “o estudo de caso, como o experimento, não representa uma ‘amostragem’ e ao realizar o estudo de caso, sua meta será expandir e generalizar teorias (generalização analítica) e não inferir probabilidades (generalização estatística)” (YIN, 2015, p. 22).

3.2 Universo e amostra

Segundo Marconi e Lakatos (2019, p. 234), “universo ou população é o conjunto de seres animados ou inanimados que apresentam pelo menos uma característica em comum”. Marconi e Lakatos (2019, p. 234) diz ainda que “a delimitação do universo consiste em explicitar que pessoas ou coisas, fenômenos etc. serão pesquisados, enumerando suas características comuns”. Desse modo, o universo deste estudo é constituído por todas as micro e pequenas empresas nas quais seja possível a aplicação de pesquisa operacional.

Não há unanimidade sobre a delimitação do segmento das micro e pequenas empresas. Observa-se, na prática, uma variedade de critérios para a sua definição tanto por parte da legislação específica, como por parte de instituições financeiras oficiais e órgãos representativos do setor, ora baseando-se no valor do faturamento, ora no número de pessoas ocupadas, ora em ambos. A utilização de conceitos heterogêneos decorre do fato de que a finalidade e os objetivos das instituições que promovem seu enquadramento são distintos (regulamentação, crédito, estudos, etc.). (IBGE, 2003, p. 17).

O critério adotado pelo Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas – SEBRAE – para a classificação do porte dos estabelecimentos “é definido em função do número de pessoas ocupadas e depende do setor de atividade econômica investigado” (SEBRAE, 2013, p. 17).

Quadro 1 - Classificação do porte dos estabelecimentos

Porte	Setores	
	Indústria ⁽¹⁾	Comércio e Serviços ⁽²⁾
Microempresa	até 19 pessoas ocupadas	até 9 pessoas ocupadas
Pequena empresa	de 20 a 99 pessoas ocupadas	de 10 a 49 pessoas ocupadas
Média empresa	de 100 a 499 pessoas ocupadas	de 50 a 99 pessoas ocupadas
Grande empresa	500 pessoas ocupadas ou mais	100 pessoas ocupadas ou mais

Nota: (1) As mesmas delimitações de porte foram utilizadas para o setor da construção
(2) O setor serviços não inclui administração pública e serviço doméstico

Fonte: SEBRAE (2013, p. 17).

A Lei Complementar nº 123/2006 utiliza como critério para definição das MPEs a receita bruta, de modo que microempresas são aquelas que possuem faturamento anual de até R\$360 mil e empresas de pequeno porte têm faturamento anual entre R\$ 360 mil e R\$ 4,8 milhões. No Art. 18-A, a referida lei utiliza o mesmo critério para definir a figura do microempreendedor individual:

§ 1º Para os efeitos desta Lei Complementar, considera-se MEI o empresário individual que se enquadre na definição do art. 966 da Lei nº 10.406, de 10 de janeiro de 2002 - Código Civil, ou o empreendedor que exerça as atividades de industrialização, comercialização e prestação de serviços no âmbito rural, que tenha auferido receita bruta, no ano-calendário anterior, de até R\$ 81.000,00 (oitenta e um mil reais), que seja optante pelo Simples Nacional e que não esteja impedido de optar pela sistemática prevista neste artigo. (BRASIL, 2006).

“O conceito de amostra é ser uma porção ou parcela, convenientemente selecionada do universo (população); é um subconjunto do universo” (MARCONI; LAKATOS, 2019, p. 243). Como o presente trabalho trata-se de um estudo de caso, a amostra está reduzida a uma única unidade de estudo, que foi escolhida devido à facilidade de acesso às informações que seriam necessárias para o desenvolvimento da pesquisa.

A unidade de estudo desta pesquisa é o La Curitibana Salão e Barbearia, localizado na rua Comerciante Edilson Paiva de Araújo, nº1022, bairro Cidade Jardim Universitária, município de João Pessoa, Paraíba. Segundo a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE), a empresa está enquadrada na categoria de atividades de serviços pessoais, compreendida na subclasse CNAE 9602-5/01, que diz respeito a serviços

de cabeleireiro, manicure e pedicure. A forma jurídica da empresa é definida como Microempreendedor Individual.

3.3 Técnica e instrumento de pesquisa

Conforme dito por Marconi e Lakatos (2019, p. 203), “antes que se realize a coleta de dados, é preciso estabelecer tanto as técnicas de registro desses dados, como as técnicas que serão utilizadas em sua análise posterior”.

A técnica de pesquisa empregada para a coleta dos dados foi a entrevista. Marconi e Lakatos (2019, p. 213) afirma que “A entrevista é um encontro entre duas pessoas, a fim de que uma delas, mediante conversação, obtenha informações a respeito de determinado assunto”. O autor ainda diz que “O objetivo principal de uma entrevista é a obtenção de informações do entrevistado, sobre determinado assunto ou problema” (MARCONI; LAKATOS, 2019, p. 214).

A entrevista foi do tipo semi-estruturada e um roteiro de entrevista foi utilizado como instrumento de pesquisa. “As entrevistas semi-estruturadas combinam perguntas abertas e fechadas, onde o informante tem a possibilidade de discorrer sobre o tema proposto” (BONI; QUARESMA, 2005, p. 75). Devido a essa característica, fez-se a opção por esse tipo de entrevista, que garante a obtenção das informações necessárias, uma vez que segue um roteiro pré-definido, mas ainda permite certa flexibilidade no momento da entrevista, já que o pesquisador pode realizar outros questionamentos conforme perceba necessário. “O entrevistador deve ficar atento para dirigir, no momento que achar oportuno, a discussão para o assunto que o interessa fazendo perguntas adicionais para elucidar questões que não ficaram claras” (BONI; QUARESMA, 2005, p. 75).

3.4 Coleta de dados

“A coleta de dados é a etapa da pesquisa em que se inicia a aplicação dos instrumentos elaborados e das técnicas selecionadas, a fim de efetuar a coleta dos dados previstos” (MARCONI; LAKATOS, 2019, p. 180).

A entrevista foi realizada com a gestora da organização, visto que somente ela possui as informações necessárias sobre o negócio. Tais informações dizem respeito sobre os serviços prestados pela empresa, o valor de cada um desses serviços, os custos associados, o tempo de execução dos serviços, as limitações em relação à disponibilidade de matéria-prima

e recursos financeiros, a capacidade produtiva, informações sobre a demanda, entre outras. Os dados obtidos foram registrados simultaneamente por meio de anotações. Em razão da pandemia do Coronavírus, a entrevista foi realizada remotamente e teve duração de 2 horas.

3.5 Processamento e análise de dados

Considerando o que diz Marconi e Lakatos (2019, p. 182), “a importância dos dados está não em si mesmos, mas em proporcionarem respostas às investigações”. A seguir, é apresentada a maneira pela qual os dados obtidos foram processados e analisados.

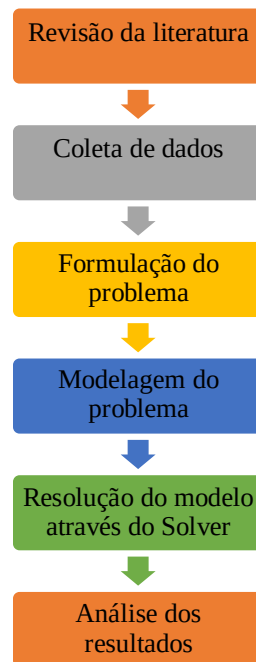
Após a coleta de dados, as informações foram organizadas para a devida formulação do problema e modelagem. Nessa etapa, foram identificadas as variáveis de decisão e formuladas a equação da função objetivo e as inequações referentes às restrições encontradas no sistema, de modo a construir um modelo na forma padrão de um problema de programação linear, e que este representasse de maneira eficaz a realidade da empresa.

O modelo de Programação Linear é construído com variáveis (variáveis de decisão e do objetivo) e constantes, com as quais são montadas as restrições e a equação do objetivo. Essas variáveis e constantes, além das equações correspondentes, devem estar disponíveis em células da Planilha visando a transferência para a caixa do Solver (SILVA *et al.*, 2017, p. 155).

O modelo foi inserido em planilha do programa Microsoft Excel e a resolução das simulações foi realizada por meio da ferramenta Solver. “Antes de o Solver poder iniciar seu trabalho, ele precisa saber exatamente onde cada componente do modelo se localiza na planilha. A caixa de diálogo do Solver é utilizada para se introduzir essas informações” (HILLIER; LIEBERMAN, 2013, p. 59). “Após resolver o modelo, o Solver substitui os valores nas células variáveis pelos valores ótimos [...] A planilha também indica o valor correspondente na célula de destino”. (HILLIER; LIEBERMAN, 2013, p. 62). A partir das soluções ótimas encontradas nas diversas simulações realizadas e, também, das informações disponíveis nos relatórios gerados pelo Solver, foi realizada a análise dos resultados, incluindo as recomendações para a organização.

As etapas da pesquisa encontram-se resumidas no esquema da Figura 1:

Figura 1 - Etapas da pesquisa



Fonte: Elaborado pela autora.

4 RESULTADOS

4.1 Análise Descritiva

A presente pesquisa foi realizada em uma microempresa de serviços de beleza, inaugurada em 08 de dezembro de 2019. A gestora deu início a esse empreendimento após 16 anos de experiência de atuação no ramo, tornando-se uma microempreendedora individual.

O salão funciona de segunda à sexta-feira, no horário das 14h00 às 19h00. Os serviços ofertados, bem como, o preço, a margem de lucro e o tempo médio de execução de cada um, encontram-se listados no Quadro 2.

Quadro 2 - Serviços do salão

	SERVIÇO	PREÇO	LUCRO	TEMPO MÉDIO
01	Corte masculino com máquina	R\$ 12,00	R\$ 10,31	15 min
02	Corte masculino com máquina e tesoura	R\$ 15,00	R\$ 13,31	25 min
03	Corte masculino com tesoura	R\$ 20,00	R\$ 18,32	35 min
04	Corte feminino com lavagem	R\$ 25,00	R\$ 21,16	45 min
05	Manutenção de sobrancelhas	R\$ 10,00	R\$ 9,74	12 min
06	Design de sobrancelhas	R\$ 13,00	R\$12,74	20 min
07	Barba	R\$ 15,00	R\$ 10,90	30 min
08	Aplicação de coloração	R\$ 20,00	R\$ 17,69	30 min
09	Manicure masculina	R\$ 10,00	R\$ 9,39	30 min
10	Pedicure masculina	R\$ 15,00	R\$ 14,39	40 min
11	Podologia	R\$ 25,00	R\$ 22,52	70 min

Fonte: Elaborado pela autora. Dados fornecidos pela empresa (2020).

Ocasionalmente, o salão oferece preços promocionais para o público masculino: R\$10,00, R\$13,00 e R\$18,00 para os cortes com máquina, com máquina e tesoura e apenas com tesoura respectivamente.

Os serviços mais procurados pelos clientes são os cortes masculinos e os serviços de manicure e pedicure. Existe também uma clientela fidelizada. Esses clientes fiéis demandam mensalmente 55 cortes masculinos e 15 manutenções de sobrancelhas. No Quadro 3 está expressa a procura diária máxima de cada um dos serviços oferecidos pela empresa. Esses valores se referem à observação e experiência da empresária no dia a dia do salão desde a inauguração do mesmo.

Quadro 3 - Demanda máxima diária por serviço

SERVIÇO	DEMANDA MÁXIMA
Corte masculino com máquina	7
Corte masculino com máquina e tesoura	5
Corte masculino com tesoura	2
Corte feminino com lavagem	3
Design e manutenção de sobrancelhas	4
Barba	3
Aplicação de coloração	3
Manicure masculina	3
Pedicure masculina	3
Podologia	2

Fonte: Elaborado pela autora. Dados fornecidos pela empresa (2020).

No horário das 14h00 às 15h30, a procura por serviços é menor. De modo que todos os dias há um certo tempo de ociosidade no salão, mas a partir das 16h00 o movimento aumenta. Em razão disso, os serviços de manicure, pedicure e podologia são, preferencialmente, realizados no horário inicial, isto é, antes das 16h00, pois esses serviços demoram e, caso fossem executados, não seria possível atender a demanda após esse horário. Frequentemente, são tantos os clientes que chegam no salão que é necessário estender o horário de trabalho para conseguir atender a todos.

Atualmente, a mão de obra está restrita a uma única pessoa, que é a própria gestora. Há também uma limitação de trabalho referente aos serviços de corte, somente é possível a realização de até 17 cortes por dia, mais do que isso seria exaustivo.

No momento, a receita média mensal da empresa é de aproximadamente R\$1.400,00. As despesas fixas do negócio costumam ser em torno de R\$ 370,00 por mês. A proprietária disse que gostaria de receber pelo seu trabalho um pró-labore mensal de R\$3.000,00.

4.2 Análise Exploratória

4.2.1 Modelagem do problema

Para realizar a modelagem do problema, o primeiro passo consiste em determinar quais são as variáveis de decisão e qual a função objetivo. As variáveis do problema são cada

um dos serviços prestados no salão. Desse modo, as variáveis x_i foram definidas conforme o Quadro 4:

Quadro 4 - Variáveis de decisão

VARIÁVEL	DEFINIÇÃO
x_1	Quantidade de cortes masculinos com máquina realizados
x_2	Quantidade de cortes masculinos com máquina e tesoura realizados
x_3	Quantidade de cortes masculinos com tesoura realizados
x_4	Quantidade de cortes femininos com lavagem realizados
x_5	Quantidade de manutenções de sobrancelhas realizadas
x_6	Quantidade de designs de sobrancelhas realizados
x_7	Quantidade de barbas feitas
x_8	Quantidade de aplicações de coloração
x_9	Quantidade de procedimentos de manicure masculina realizados
x_{10}	Quantidade de procedimentos de pedicure masculina realizados
x_{11}	Quantidade de procedimentos podologia realizados

Fonte: Elaborado pela autora.

O objetivo do problema consiste em maximizar os lucros da empresa. Sendo assim, a função objetivo será obtida a partir do somatório dos produtos das variáveis de decisão pelos respectivos lucros de cada serviço. Dessa forma, segue a função objetiva criada para o modelo, em que L representa o lucro total e l_i o lucro de cada serviço.

$$\text{Max } L = \sum_{i=1}^{11} x_i l_i$$

A modelagem do problema depende também que sejam identificadas e incluídas as restrições do sistema. A primeira restrição observada considera o horário de funcionamento do La Curitibana Salão e Barbearia, que inicia às 14h00 e encerra às 19h00. Portanto, o salão fica aberto 5 horas por dia. Esse é o tempo disponível para a realização dos serviços. Logo, a restrição R1 (horário de funcionamento) determina que o somatório dos produtos das variáveis de decisão pelos respectivos tempos médios t_i de execução de cada serviço não pode ser superior ao tempo T que o salão permanece aberto.

$$\text{R1: } \sum_{i=1}^{11} x_i t_i \leq T$$

A segunda restrição diz respeito ao tempo disponível para os serviços de manicure, pedicure e podologia. A empresa prefere que estes serviços sejam realizados apenas nas 2 horas iniciais do expediente, quando a demanda de clientes é menor. Assim, a restrição R2 (horário inicial) estabelece que a soma do produto das variáveis x_9 , x_{10} e x_{11} pelos seus respectivos tempos médios de execução não pode ser maior que o tempo disponível no horário inicial HI.

$$R2: x_9t_9 + x_{10}t_{10} + x_{11}t_{11} \leq HI$$

Há uma clientela fiel ao qual o salão deve continuar atendendo. Portanto, é necessário garantir que pelo menos os serviços demandados por estes clientes continuem a ser executados. Deste modo, as restrições R3 e R4 expressam a quantidade de serviços mínima para atendimento da clientela fiel, sendo R3 (cortes masculinos fidelizados) a restrição dos clientes que procuram pelos cortes masculinos C_{cm} e R4 (manutenção de sobrancelha fidelizada) dos clientes que buscam a manutenção de sobrancelhas C_{ms} .

$$R3: x_1 + x_2 + x_3 \geq C_{cm}$$

$$R4: x_5 \geq C_{ms}$$

A restrição R5 (limite de cortes) considera a limitação da mão de obra em relação ao número máximo de cortes que é possível realizar num dia, garantindo a integridade física de quem trabalha. O número total de cortes realizados não pode ser superior a esse limite LC.

$$R5: x_1 + x_2 + x_3 + x_4 \leq LC$$

As restrições R6, R7, R8, R9, R10, R11, R12, R13, R14 e R15 estão relacionadas às demandas máximas diárias identificadas pela proprietária do salão. É sempre importante que o administrador de uma organização conheça e considere a demanda pelos bens e serviços que oferece, a fim de acertar no planejamento do negócio, evitar prejuízos e garantir que os clientes que procuram pelos seus produtos sejam satisfeitos. Da mesma forma, se a empresária se programasse para prestar determinado serviço que lhe proporciona maior lucro e, no entanto, não houvesse demanda suficiente, a sua receita ficaria prejudicada. Sendo assim, faz-se necessário considerar os limites da demanda e trabalhar com a realidade atual da organização.

As restrições de demanda máxima estabelecem que a quantidade de vezes que determinado serviço é realizado deve ser menor ou igual a sua demanda máxima D_i . A demanda máxima diária por serviços de sobancelha foi observada independente de ser design ou manutenção, assim refere-se a soma dos dois serviços.

$$R6: x_1 \leq D_1$$

$$R7: x_2 \leq D_2$$

$$R8: x_3 \leq D_3$$

$$R9: x_4 \leq D_4$$

$$R10: x_5 + x_6 \leq D_{5e6}$$

$$R11: x_7 \leq D_7$$

$$R12: x_8 \leq D_8$$

$$R13: x_9 \leq D_9$$

$$R14: x_{10} \leq D_{10}$$

$$R15: x_{11} \leq D_{11}$$

Uma vez definidas as variáveis de decisão, a função objetivo e as restrições do sistema, o modelo foi, então, inserido em planilha de Excel, conforme a Figura 2.

Os dados foram inseridos objetivando a maximização do lucro diário. Para o cálculo foi considerado um mês com 20 dias úteis, dessa forma, foram realizadas as devidas conversões: 55 e 15 clientes por mês é igual a 2,75 e 0,75 clientes por dia, respectivamente. As informações em horas foram convertidas para minutos: 5h é o mesmo que 300min e 2h são 120min.

Figura 2 - Planilha com o modelo do problema

Serviço	Variável	Quantidade	Lucro (R\$)	Tempo médio (min)
Corte masculino com máquina	x_1		10,31	15
Corte masculino com máquina e tesoura	x_2		13,31	25
Corte masculino com tesoura	x_3		18,32	35
Corte feminino com lavagem	x_4		21,16	45
Manutenção de sobrancelha	x_5		9,74	12
Design de sobrancelha	x_6		12,74	20
Barba	x_7		10,90	30
Aplicação de coloração	x_8		17,69	30
Manicure masculina	x_9		9,39	30
Pedicure masculina	x_{10}		14,39	40
Podologia	x_{11}		22,52	70

Max L (lucro diário)	R\$ 0,00
Lucro Mensal	R\$ 0,00

	Restrição	Resultado	Valor limite
Horário de funcionamento (min)	R1	0	300
Horário inicial (min)	R2	0	120
Cortes masculinos fidelizados	R3	0	2,75
Manutenção de sobrancelha fidelizada	R4	0	0,75
Limite de cortes	R5	0	17
Demanda máxima de x_1	R6	0	7
Demanda máxima de x_2	R7	0	5
Demanda máxima de x_3	R8	0	2
Demanda máxima de x_4	R9	0	3
Demanda máxima de x_5 e x_6	R10	0	4
Demanda máxima de x_7	R11	0	3
Demanda máxima de x_8	R12	0	3
Demanda máxima de x_9	R13	0	3
Demanda máxima de x_{10}	R14	0	3
Demanda máxima de x_{11}	R15	0	2

Fonte: Elaborado pela autora.

4.2.2 Simulação inicial

O modelo foi resolvido pelo suplemento Solver, que encontrou a solução ótima apresentada na Figura 3:

Figura 3 - Modelo com a solução ótima encontrada

Serviço	Variável	Quantidade	Lucro (R\$)	Tempo médio (min)
Corte masculino com máquina	x_1	7	10,31	15
Corte masculino com máquina e tesoura	x_2	2,28	13,31	25
Corte masculino com tesoura	x_3	0	18,32	35
Corte feminino com lavagem	x_4	0	21,16	45
Manutenção de sobrancelha	x_5	4	9,74	12
Design de sobrancelha	x_6	0	12,74	20
Barba	x_7	0	10,90	30
Aplicação de coloração	x_8	3	17,69	30
Manicure masculina	x_9	0	9,39	30
Pedicure masculina	x_{10}	0	14,39	40
Podologia	x_{11}	0	22,52	70

Max L (lucro diário)	R\$ 194,55
Lucro Mensal	R\$ 3.890,94

	Restrição	Resultado	Valor limite
Horário de funcionamento (min)	R1	300	300
Horário inicial (min)	R2	0	120
Cortes masculinos fidelizados	R3	9,28	2,75
Manutenção de sobrancelha fidelizada	R4	4	0,75
Limite de cortes	R5	9,28	17
Demanda máxima de x_1	R6	7	7
Demanda máxima de x_2	R7	2,28	5
Demanda máxima de x_3	R8	0	2
Demanda máxima de x_4	R9	0	3
Demanda máxima de x_5 e x_6	R10	4	4
Demanda máxima de x_7	R11	0	3
Demanda máxima de x_8	R12	3	3
Demanda máxima de x_9	R13	0	3
Demanda máxima de x_{10}	R14	0	3
Demanda máxima de x_{11}	R15	0	2

Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com a solução ótima obtida, caso fossem realizados, em um dia de trabalho, 7 cortes masculinos com máquina, 2,28 cortes masculinos com máquina e tesoura, 4 manutenções de sobrancelha e 3 aplicações de coloração, o lucro diário obtido seria de R\$194,55, que multiplicado por 20 dias de trabalho, resultaria em um lucro mensal de R\$3.890,94.

Contudo, na realidade não existem 2,28 cortes, portanto, foi necessário resolver o problema novamente acrescentando uma nova restrição no Solver, determinando que os valores das variáveis devem ser números inteiros.

4.2.3 Simulação com valores inteiros

Assim, foi realizada uma segunda simulação e obteve-se uma nova solução ótima, conforme mostra a Figura 4:

Figura 4 - Nova solução ótima

Serviço	Variável	Quantidade	Lucro (R\$)	Tempo médio (min)
Corte masculino com máquina	x_1	7	10,31	15
Corte masculino com máquina e tesoura	x_2	2	13,31	25
Corte masculino com tesoura	x_3	0	18,32	35
Corte feminino com lavagem	x_4	0	21,16	45
Manutenção de sobrancelha	x_5	4	9,74	12
Design de sobrancelha	x_6	0	12,74	20
Barba	x_7	0	10,90	30
Aplicação de coloração	x_8	3	17,69	30
Manicure masculina	x_9	0	9,39	30
Pedicure masculina	x_{10}	0	14,39	40
Podologia	x_{11}	0	22,52	70

MaxL (lucro diário)	R\$ 190,82
Lucro Mensal	R\$ 3.816,40

	Restrição	Resultado	Valor limite
Horário de funcionamento (min)	R1	293	300
Horário inicial (min)	R2	0	120
Cortes masculinos fidelizados	R3	9	2,75
Manutenção de sobrancelha fidelizada	R4	4	0,75
Limite de cortes	R5	9	17
Demanda máxima de x_1	R6	7	7
Demanda máxima de x_2	R7	2	5
Demanda máxima de x_3	R8	0	2
Demanda máxima de x_4	R9	0	3
Demanda máxima de x_5 e x_6	R10	4	4
Demanda máxima de x_7	R11	0	3
Demanda máxima de x_8	R12	3	3
Demanda máxima de x_9	R13	0	3
Demanda máxima de x_{10}	R14	0	3
Demanda máxima de x_{11}	R15	0	2

Fonte: Elaborado pela autora.

Nesta segunda simulação, a nova solução ótima é bastante semelhante à primeira. O número de cortes masculinos com máquina e tesoura foi reduzido para 2, conseqüentemente, os lucros diário e mensal passaram a ser de R\$190,82 e R\$3.816,40, respectivamente.

O Solver, além de apresentar a solução ótima do modelo, fornece informações adicionais importantes para a realização da análise de sensibilidade. Esses dados são encontrados nos relatórios gerados pelo programa. Assim, na primeira simulação foram produzidos três relatórios: Relatório de Respostas 1, Relatório de Sensibilidade 1 e Relatório de Limites 1. Na segunda simulação, com o acréscimo da restrição de variáveis com valores inteiros, só foi possível gerar o Relatório de Respostas 2. Os relatórios completos encontram-se no Apêndice deste trabalho.

Para facilitar a observação e análise das informações, os dados foram organizados em dois quadros, sendo o Quadro 5 referente às informações sobre as restrições e o Quadro 6 sobre as variáveis. Os valores das restrições e as folgas para a solução ótima encontrada foram obtidos a partir dos dois relatórios de respostas. Por sua vez, o Relatório de Sensibilidade 1 forneceu o preço sombra das restrições e o custo reduzido das variáveis.

Quadro 5 - Valores, folgas e preço sombra das restrições

RESTRIÇÃO	VALOR 1	VALOR 2	FOLGA 1	FOLGA 2	PREÇO SOMBRA
R1	300	293	0	7	0,5324
R2	0	0	120	120	0
R3	9,28	9	6,53	6,25	0
R4	4	4	3,25	3,25	0
R5	9,28	9	7,72	8	0
R6	7	7	0	0	2,324
R7	2,28	2	2,72	3	0
R8	0	0	2	2	0
R9	0	0	3	3	0
R10	4	4	0	0	3,3512
R11	0	0	3	3	0
R12	3	3	0	0	1,718
R13	0	0	3	3	0
R14	0	0	3	3	0
R15	0	0	2	2	0

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 6 - Custo reduzido das variáveis

VARIÁVEL	CUSTO REDUZIDO
X ₁	0
X ₂	0
X ₃	-0,314
X ₄	-2,798
X ₅	0
X ₆	-1,2592
X ₇	-5,072
X ₈	0
X ₉	-6,582
X ₁₀	-6,906
X ₁₁	-14,748

Fonte: Elaborado pela autora.

Como se pode observar, as restrições R6, R10 e R12 não têm folga, o que quer dizer que são recursos escassos. Todas referem-se à demanda máxima de um determinado serviço. Portanto, a solução ótima está considerando atender toda a procura diária por serviços de corte masculino com máquina, manutenção e design de sobrancelhas e aplicação de coloração.

Quando não há folga, o aumento ou diminuição de uma unidade do recurso representa uma alteração no valor do objetivo. Essa alteração é constante quando as variáveis podem assumir valores contínuos e é chamada de preço sombra. Se as variáveis são inteiras essa alteração não é constante, logo, não há um valor de preço sombra. No entanto, permanece a regra de que o aumento de recursos escassos, em certa medida, levará ao acréscimo de valor no resultado do objetivo, e a diminuição provocará uma redução no resultado.

É possível obter a variação do objetivo alterando o valor do parâmetro no modelo e processando-o no Solver novamente. Dessa forma, foram realizadas mais seis simulações, sempre acrescentando ou diminuindo a demanda de uma única restrição em uma unidade, para medir a variação do lucro. Assim, na restrição R6, se a demanda por cortes masculinos com máquina aumenta de 7 para 8 em um dia, o lucro será de R\$192,83, ou seja, um aumento de R\$2,01. Porém, se a demanda diminui para 6, o lucro diário será reduzido em R\$0,29. Pode-se observar que esses valores diferem entre si e do preço sombra encontrado para esta restrição na primeira solução, que foi de R\$2,32.

Para a restrição R10, o aumento na procura por serviços de sobrancelha vai gerar um acréscimo de R\$5,36, já a diminuição provoca uma redução de R\$1,73. Quanto à restrição

R12, as alterações de uma unidade na demanda por aplicação de coloração provocam uma diferença de R\$4,38 e R\$0,63 no resultado.

A restrição R1 (horário de funcionamento) no Relatório de Respostas 1 não apresentou folga, todavia, no relatório da nova solução ótima há uma sobra de 7 minutos. Isso ocorreu porque, quando as variáveis podiam assumir valores fracionados, o tempo disponível para realização de serviços foi totalmente utilizado. Porém, ao forçar que as variáveis fossem inteiras, a soma dos tempos individuais de todos os serviços da solução ótima foi de 293 minutos e essa folga de 7 minutos não é suficiente para a realização de qualquer dos serviços. No entanto, na prática, este continua sendo um recurso escasso pois essa restrição limita diretamente a quantidade de serviços que podem ser realizados em um dia. Foi possível verificar isso ao realizar três novas simulações alterando esse parâmetro. De modo que o aumento de 1 minuto, provocou um acréscimo de R\$3,00 no resultado, mas diminuir 1 minuto não provocou alteração no lucro. O resultado só mudou quando se reduziu 8 minutos do tempo total, ou seja, 1 minuto a mais que a folga existente, resultando num lucro diário R\$4,31 menor.

Todas as demais restrições apresentaram folga, sendo os seus recursos, portanto, não escassos. Os recursos das restrições R5 e R7 foram parcialmente utilizados. Na restrição R5 (limite de cortes), a mão de obra tem disposição para atender até 17 cortes por dia, no entanto, na solução ótima encontrada ela executa apenas 9 cortes. Desse modo, não faria diferença aumentar o limite de cortes. Essa restrição só teria impacto no lucro se, por alguma razão, ela somente conseguisse atender um número inferior a 9 cortes. Na restrição R7, a demanda máxima por cortes com máquina e tesoura é de 5 por dia e apenas 2 cortes deveriam ser realizados segundo a solução ótima. Assim, aumentar essa demanda não influencia o lucro, apenas se a procura pelo serviço for inferior a 2 é que o resultado será impactado.

Em R3 e R4 temos as demandas dos clientes fiéis, que são de 55 cortes masculinos e 15 manutenções de sobrancelhas por mês. Na restrição R3, segundo a solução ótima encontrada, devem ser realizados 9 cortes masculinos por dia, que resultam em 180 cortes em um mês com 20 dias úteis. Assim, seriam atendidos os 55 cortes da demanda fiel e mais 125 cortes de outros clientes. O número 125 dividido por 20 (dias úteis do mês) é igual a 6,25 que é o valor da folga encontrada no Relatório de Respostas 2. Ou seja, a folga nesse caso é o número diário de cortes a mais do necessário para atender a clientela fiel. Da mesma forma, em R4 são realizadas 80 manutenções de sobrancelha mensalmente, 65 a mais que o necessário, sendo, portanto, o valor da folga de 3,25. Diminuir o número de clientes fiéis para estes serviços não estará influenciando o lucro da empresa. Haveria alteração no lucro apenas

se essa demanda fosse maior que 180 cortes masculinos ou 80 manutenções de sobrancelha por mês.

É relevante observar que nas restrições R2, R8, R9, R11, R13, R14 e R15 nada do recurso foi utilizado, como se pode observar pelo resultado do valor da restrição igual a 0, e também porque as folgas foram iguais à totalidade do recurso disponível. Assim sendo, na restrição R2 (horário inicial), não faz diferença dar preferência à realização de serviços de manicure, pedicure e podologia no horário inicial de atendimento, uma vez que, conforme a solução ótima encontrada, o melhor é que esse tempo seja utilizado para outros serviços. Também não faz diferença a demanda por serviços de corte masculino com tesoura (R8), corte feminino com lavagem (R9), barba (R11), manicure (R13), pedicure (R14) e podologia (R15). Essas demandas podem tanto serem reduzidas a zero, como aumentarem indefinidamente, que não irão afetar o lucro.

A solução ótima encontrada determina que apenas os serviços de corte masculino com máquina (x_1), corte masculino com máquina e tesoura (x_2), manutenção de sobrancelha (x_5) e aplicação de coloração (x_8) devem ser realizados. Portanto, x_1 , x_2 , x_5 e x_8 são as variáveis básicas. Os outros serviços obtiveram valor igual a zero na solução, ou seja, as demais variáveis são não básicas. Sendo assim, a realização de qualquer desses serviços implica na alteração do resultado. Executar um procedimento de podologia, por exemplo, implica em consumir o recurso tempo disponível, tempo este que seria utilizado por outros serviços especificados na solução. Desse modo, decidir por realizar um desses serviços provocará uma redução no lucro diário, a não ser que o lucro deste serviço seja devidamente aumentado.

O valor do custo reduzido no Relatório de Sensibilidade 1 aponta de quanto será a diminuição no objetivo caso um serviço de uma variável não básica seja executado. Significa, também, quanto maior deveria ser o lucro deste serviço para que ele fosse incluído na solução. Desse modo, se a empresa resolver continuar oferecendo esses serviços, deve considerar fazer um ajuste dos preços, a fim de manter a maximização do lucro encontrada na solução.

Contudo, é importante dizer que, devido à inclusão da restrição de valor inteiro nas variáveis, os custos reduzidos do problema não são constantes como no relatório da primeira solução. Eles somente podem ser encontrados cada vez que forçamos o Solver a recalcular o valor da função objetivo com a adição de uma restrição que torne uma variável não básica igual a 1, mantendo todas as demais restrições e parâmetros iguais.

Para exemplificar, foram realizadas mais duas simulações. Sabe-se que manicure (x_9) e pedicure (x_{10}) estão entre os serviços mais procurados do salão. Porém, estas variáveis

não estão na solução ótima, assim, foram simuladas a inclusão das mesmas, uma por vez. Ao adicionar uma restrição para tornar x_9 uma variável básica, o resultado da função objetivo passou a ser de R\$186,90, que difere R\$3,92 do lucro obtido na solução ótima (R\$190,82). Assim, realizar um procedimento de manicure reduzirá o lucro diário em R\$3,92, a não ser que o preço deste serviço seja reajustado de R\$10,00 para R\$13,92. Da mesma forma, incluir um procedimento de pedicure na solução resultará na redução do lucro para R\$184,59, uma diferença de R\$6,23, salvo se o preço for modificado de R\$15,00 para R\$21,23.

4.2.4 Simulação com preços promocionais

Os valores dos lucros das variáveis básicas também podem ser alterados, dentro de certos limites, sem que essas variáveis deixem de estar na solução ótima. Quando as variáveis podem assumir valores contínuos, esses limites podem ser verificados no relatório de sensibilidade em permitido aumentar e permitido reduzir referentes ao coeficiente das variáveis na função objetivo, mas não é este o caso. De forma que, se a empresa desejar ofertar preços promocionais, poderá alterar quais são as variáveis básicas e não básicas da solução dependendo de quanto vai ser reduzido do lucro de cada serviço.

Assim foi realizada uma nova simulação, na qual os lucros das variáveis x_1 , x_2 e x_3 foram alterados conforme a promoção que o salão costuma realizar. O resultado encontrado pelo Solver pode ser observado na Figura 5.

Foi possível verificar que as variáveis x_4 e x_6 tornaram-se básicas, enquanto que x_2 passou a ser não básica. Houve alteração também no valor de x_5 . Essas variações ocorreram porque o coeficiente de mais de uma variável sofreu alteração e, também, porque pelo menos uma das alterações foi além do limite permitido. Durante o período que esta promoção for ofertada, o lucro diário máximo do salão será de R\$174,36, R\$16,46 menor que na solução ótima dos preços habituais.

Figura 5 - Solução para preços promocionais

Serviço	Variável	Quantidade	Lucro (R\$)	Tempo médio (min)
Corte masculino com máquina	x_1	7	8,31	15
Corte masculino com máquina e tesoura	x_2	0	11,31	25
Corte masculino com tesoura	x_3	0	16,32	35
Corte feminino com lavagem	x_4	1	21,16	45
Manutenção de sobrancelha	x_5	3	9,74	12
Design de sobrancelha	x_6	1	12,74	20
Barba	x_7	0	10,90	30
Aplicação de coloração	x_8	3	17,69	30
Manicure masculina	x_9	0	9,39	30
Pedicure masculina	x_{10}	0	14,39	40
Podologia	x_{11}	0	22,52	70

Max L (lucro diário)	R\$ 174,36
Lucro Mensal	R\$ 3.487,20

	Restrição	Resultado	Valor limite
Horário de funcionamento (min)	R1	296	300
Horário inicial (min)	R2	0	120
Cortes masculinos fidelizados	R3	7	2,75
Manutenção de sobrancelha fidelizada	R4	3	0,75
Limite de cortes	R5	8	17
Demanda máxima de x_1	R6	7	7
Demanda máxima de x_2	R7	0	5
Demanda máxima de x_3	R8	0	2
Demanda máxima de x_4	R9	1	3
Demanda máxima de x_5 e x_6	R10	4	4
Demanda máxima de x_7	R11	0	3
Demanda máxima de x_8	R12	3	3
Demanda máxima de x_9	R13	0	3
Demanda máxima de x_{10}	R14	0	3
Demanda máxima de x_{11}	R15	0	2

Fonte: Elaborado pela autora.

4.2.5 Simulação com adição de mão de obra

Foi realizada, ainda, uma última simulação, supondo que mais uma pessoa trabalhasse na empresa. Como consequência, nas restrições de tempo R1 (horário de funcionamento) e R2 (horário inicial) e, também, na restrição de mão de obra R5 (limite de cortes), os recursos disponíveis dobram em quantidade. O resultado encontrado pode ser visualizado na Figura 6.

Figura 6 - Solução para duas pessoas trabalhando na empresa

Serviço	Variável	Quantidade	Lucro (R\$)	Tempo médio (min)
Corte masculino com máquina	x_1	7	10,31	15
Corte masculino com máquina e tesoura	x_2	5	13,31	25
Corte masculino com tesoura	x_3	2	18,32	35
Corte feminino com lavagem	x_4	3	21,16	45
Manutenção de sobrancelha	x_5	1	9,74	12
Design de sobrancelha	x_6	3	12,74	20
Barba	x_7	0	10,90	30
Aplicação de coloração	x_8	3	17,69	30
Manicure masculina	x_9	0	9,39	30
Pedicure masculina	x_{10}	0	14,39	40
Podologia	x_{11}	0	22,52	70

Max L (lucro diário)	R\$ 339,87
Lucro Mensal	R\$ 6.797,40

	Restrição	Resultado	Valor limite
Horário de funcionamento (min)	R1	597	600
Horário inicial (min)	R2	0	240
Cortes masculinos fidelizados	R3	14	2,75
Manutenção de sobrancelha fidelizada	R4	1	0,75
Limite de cortes	R5	17	34
Demanda máxima de x_1	R6	7	7
Demanda máxima de x_2	R7	5	5
Demanda máxima de x_3	R8	2	2
Demanda máxima de x_4	R9	3	3
Demanda máxima de x_5 e x_6	R10	4	4
Demanda máxima de x_7	R11	0	3
Demanda máxima de x_8	R12	3	3
Demanda máxima de x_9	R13	0	3
Demanda máxima de x_{10}	R14	0	3
Demanda máxima de x_{11}	R15	0	2

Fonte: Elaborado pela autora.

Neste cenário, todos os serviços de cortes (x_1 , x_2 , x_3 e x_4) seriam executados segundo a demanda máxima de cada um, os serviços de sobrancelha (x_5 e x_6) e a aplicação de coloração (x_8), também. Os demais serviços, assim como na solução ótima original, não seriam realizados. O resultado do lucro diário seria aumentado em R\$149,05, de modo que, o acréscimo no lucro mensal seria de R\$2.981,00.

4.2.6 Recomendações

Conforme mencionado anteriormente, a receita média mensal atual do salão é de R\$1.400,00. Considerando a solução ótima obtida, multiplicando o valor de cada variável

básica pelo preço do serviço e somando os resultados, tem-se que a receita mensal passaria a ser de R\$4.280,00. Uma diferença de R\$2.880,00, que representaria um aumento de aproximadamente 206%. Essa diferença é bastante significativa, sobretudo considerando as dificuldades e limitações de crescimento enfrentadas pelas microempresas.

Uma vez que, o lucro mensal obtido na solução ótima foi de R\$3.816,40 e as despesas fixas são de aproximadamente R\$370,00 por mês, restam R\$3.446,40, valor suficiente para que a empresária ganhe o pró-labore desejado e ainda com sobra, que pode ser utilizada para reinvestir na empresa.

Com base nisso, é aconselhável que a empresa busque aproximar ao máximo o trabalho executado no salão da solução ótima obtida através do modelo, a fim de obter o melhor resultado possível para o negócio. Para tanto, seguem algumas recomendações.

O salão deve tentar manter ou aumentar as demandas máximas dos serviços cujas restrições não têm folga. Caso decida realizar alguma ação de marketing, por exemplo, deve priorizar atrair clientes para estes serviços. Garantir essas demandas é certamente a ação mais efetiva para que a empresa tenha seu lucro maximizado.

Em relação ao tempo de funcionamento do salão, ampliá-lo resultaria em um aumento do lucro, isso se houver demanda para o horário adicionado. A empresária afirmou que, por vezes, estende o horário de trabalho para dar conta da demanda do dia, assim há indícios de que exista essa procura no horário posterior ao atual. Sobre a ociosidade no horário inicial do expediente, faz-se necessário conseguir demanda para este período, a fim de que o recurso tempo, que é escasso, não seja desperdiçado. Uma forma de fazer isso seria oferecer preços promocionais exclusivos para esse horário.

Continuar ofertando os serviços das variáveis não básicas apenas faz sentido se as demandas máximas referentes às variáveis básicas não forem atingidas, pois haveria uma sobra de tempo. A empresa pode também reavaliar o preço desses serviços para que a realização dos mesmos compense mais.

A respeito dos preços promocionais, cada dia de promoção causa uma diminuição de R\$16,46 no resultado diário. Caso a promoção permanecesse por um mês, o lucro deste período seria reduzido em R\$329,20. Portanto, é necessário que o salão compare essas perdas com o retorno que a promoção oferece, para avaliar se esta ação está compensando. Observa-se também que na solução dos preços promocionais, a quantidade de serviços de x_1 e x_3 continuam as mesmas da solução ótima, 7 e 0, respectivamente. E a quantidade de x_2 , que era 2, reduziu para 0. Ora, se o objetivo da promoção é atrair mais clientes pelo preço, a fim de que mais pessoas conheçam a empresa e os serviços, é esperado que a demanda por esses

serviços promocionais (x_1 , x_2 e x_3) aumente. Assim, na prática, o resultado durante a promoção será ainda menor que o calculado pelo Solver, pois estes serviços serão realizados em maior quantidade que a prevista na solução.

A simulação que acrescenta um colaborador na empresa, aumentou os lucros diário e mensal em R\$149,05 e R\$2.981,00, respectivamente. Esses valores representam um crescimento de 78% em relação ao resultado da solução ótima original. Considerando o salário mínimo vigente de R\$1.045,00 e os encargos trabalhistas, contratar um funcionário implicaria numa despesa a mais de no mínimo R\$1.159,95. Ainda assim, essa mudança compensaria, pois, o acréscimo do lucro mensal seria de R\$1.821,05, que consiste num crescimento de aproximadamente 48%. Contudo, é recomendável que a empresa contrate um funcionário apenas: se observar que é capaz de manter ou aumentar as demandas das variáveis básicas da simulação correspondente; se o colaborador souber realizar pelo menos os serviços da solução encontrada nesta simulação. Outra opção seria fazer uma parceria, na qual a outra pessoa utilizaria o espaço do salão repassando à empresa um percentual dos serviços que realizar.

O resumo das recomendações, formuladas a partir das análises das diferentes simulações, encontra-se a seguir, no Quadro 7:

Quadro 7 - Recomendações

RECOMENDAÇÃO	DESCRIÇÃO
Demanda por serviços	Manter ou aumentar as demandas máximas dos serviços de corte masculino com máquina, manutenção de sobancelha e aplicação de coloração.
Horário de funcionamento	Aumentar a procura por serviços no período de ociosidade e, se houver demanda, estender o horário de funcionamento atual.
Serviços das variáveis não básicas	Deixar de ofertar ou ajustar os preços dos serviços das variáveis não básicas.
Preços promocionais	Avaliar se a promoção tem um retorno satisfatório, considerando as perdas no resultado do lucro.
Contratação de funcionário	Contratar um funcionário, caso a empresa perceba que é capaz de manter ou aumentar as demandas máximas dos serviços das variáveis básicas.

Fonte: Elaborado pela autora.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho buscou utilizar conhecimentos e ferramentas de pesquisa operacional, criando uma formulação matemática e aplicando programação linear, a fim de possibilitar a maximização dos lucros de uma empresa de serviços de beleza e orientar na melhoria da tomada de decisão. Nesse sentido, pode-se afirmar que o objetivo foi alcançado, uma vez que, a modelagem e resolução do problema permitiu estimar as expectativas de lucro em cada simulação realizada, bem como os impactos de diferentes decisões nos resultados esperados.

Verificou-se que a possibilidade de ampliar os lucros da empresa é bastante considerável. Comparando a receita atual da empresa com a receita proveniente da solução ótima do modelo, há uma diferença significativa. De modo que, os fatores mais importantes são as demandas pelos serviços das variáveis básicas e a utilização do tempo disponível para execução dos serviços do salão. Enquanto houver ociosidade durante o horário de funcionamento e, sempre que, as demandas máximas dos serviços de corte masculino com máquina, manutenção de sobrancelha e aplicação de coloração não forem atingidas, o resultado do lucro permanecerá distante do que foi estimado pelo modelo.

Assim, os resultados da pesquisa orientam quais são os principais aspectos que a organização estudada deve considerar na tomada de decisão, a fim de maximizar o lucro real da empresa. As demandas máximas observadas não correspondem necessariamente à procura pelos serviços no dia a dia da empresa, portanto, ciente de quais são os serviços que geram um maior lucro, cabe a organização adotar medidas para atrair mais clientes interessados nesses serviços. O salão deve criar estratégias, também, para contornar o problema dos horários ociosos, como algum benefício que o cliente ganhe por comparecer num determinado período.

Outras decisões relevantes são a respeito dos serviços das variáveis não básicas. Considerando as limitações da realidade e sabendo que tais serviços contribuem menos para a formação do lucro, a empresa deve ponderar se realmente compensa continuar ofertando esses serviços e, se sim, quais os ajustes possíveis nos preços dos mesmos de modo que ainda sejam competitivos no mercado.

Uma vez que a organização consiga manter consideravelmente as demandas dos serviços indicados e contornar a questão da ociosidade, a mesma pode considerar a contratação de mais um colaborador como forma de crescer e ampliar os lucros da empresa.

Todos esses resultados foram obtidos a partir das informações fornecidas pela empresa. Uma das limitações da aplicação desse estudo foi que os dados são decorrentes das

percepções da empresária, daquilo que ela conseguiu constatar e medir no cotidiano do funcionamento do seu negócio. Porém, essa é uma característica comum em pesquisas envolvendo programação linear, conforme dito por Hillier e Lieberman (2013, p. 12), “simplesmente há muitos fatores imponderáveis e incertezas associadas aos problemas práticos. Porém, se o modelo for bem-formulado e testado, as soluções resultantes tendem a ser uma boa aproximação para o caminho a ser adotado para o caso real”. Portanto, deve-se considerar uma certa flexibilidade dos dados, as circunstâncias da realidade mudam um pouco cada dia, e não há como obter valores totalmente precisos, por isso a importância da análise pós-otimalidade que altera os parâmetros do problema e realiza diferentes simulações.

Outra limitação ocorreu pela falta de tempo e a situação de pandemia atual, que impossibilitaram a realização de observações no local, bem como a verificação da necessidade de outros testes além dos que foram feitos neste estudo. Durante este trabalho foram realizadas em torno de 15 simulações, sendo destacadas as 4 principais, e os resultados significativos foram apresentados.

Cada vez que a empresa for implementando ações para aproximar-se da solução ótima encontrada, seu contexto vai mudando internamente e externamente, como por exemplo alterações nos preços e aumento da demanda dos serviços. Assim, os parâmetros se alteram, novas limitações podem surgir ou deixar de existir. Sendo assim, faz-se necessário um acompanhamento da implementação das medidas sugeridas, para que sejam realizados os devidos ajustes no modelo. De modo que, recomenda-se a realização de trabalhos futuros nesse sentido. E considerando o universo de estudos que fazem parte da pesquisa operacional, em trabalhos futuros poderão aplicar-se, também, pesquisas envolvendo programação dinâmica, teoria das filas e controle estatístico, seja na realidade desta mesma organização ou em outras MPEs.

A presente pesquisa buscou também demonstrar, através de um estudo de caso, a relevância da aplicação da pesquisa operacional em micro e pequenas empresas, demonstrando o impacto financeiro que decisões orientadas por este tipo de estudo podem produzir. Colin (2019, p. 3) afirma que,

Levando em consideração os benefícios econômicos gerados ao ser humano, é provável que a PL seja a maior descoberta da matemática aplicada de todos os tempos. Em termos econômicos, ela é comparável às maiores descobertas, como a divisão do trabalho, o motor a vapor, a produção em massa e a tecnologia da informação.

Hillier e Lieberman (2013, p. x) colocam ainda que, “o campo da pesquisa operacional tem impacto cada vez mais acentuado no sucesso de inúmeras empresas e organizações no mundo”. Desse modo, a partir do que foi apresentado, espera-se que este trabalho venha a contribuir para novos estudos nesta área, voltados para a realidade de MPes e MEI, para que estes conhecimentos e ferramentas proporcionem um diferencial competitivo na realidade dessas organizações e colabore no seu desempenho e crescimento.

REFERÊNCIAS

BONI, Valdete; QUARESMA, Sílvia Jurema. Aprendendo a entrevistar: como fazer entrevistas em Ciências Sociais. **Em Tese**, v. 2, n. 1, p. 68-80, 2005. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/emtese/article/view/18027/16976>. Acesso em: 11 ago. 2020.

BRASIL. **Lei Complementar nº 123, de 14 de dezembro de 2006**. Institui o Estatuto Nacional da Microempresa e da Empresa de Pequeno Porte; altera dispositivos das Leis no 8.212 e 8.213, ambas de 24 de julho de 1991, da Consolidação das Leis do Trabalho - CLT, aprovada pelo Decreto-Lei no 5.452, de 1o de maio de 1943, da Lei no 10.189, de 14 de fevereiro de 2001, da Lei Complementar no 63, de 11 de janeiro de 1990; e revoga as Leis no 9.317, de 5 de dezembro de 1996, e 9.841, de 5 de outubro de 1999. Brasília, DF: Presidência da República, 2006. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp123.htm. Acesso em: 11 ago. 2020.

BRASIL. **Lei Complementar nº 128, de 19 de dezembro de 2008**. Altera a Lei Complementar no 123, de 14 de dezembro de 2006, altera as Leis nos 8.212, de 24 de julho de 1991, 8.213, de 24 de julho de 1991, 10.406, de 10 de janeiro de 2002 – Código Civil, 8.029, de 12 de abril de 1990, e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2008. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp128.htm. Acesso em: 13 jul. 2020.

COLIN, Emerson C. **Pesquisa Operacional**: 170 Aplicações em Estratégia, Finanças, Logística, Produção, Marketing e Vendas, 2. ed. São Paulo: Atlas, 2019. *E-book*. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788597014488/>. Acesso em: 19 nov. 2020.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **As Micro e pequenas empresas comerciais e de serviços no Brasil**: 2001. Rio de Janeiro: IBGE, 2003. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv1898.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2020.

GIL, Antonio C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2018. *E-book*. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788597012934/>. Acesso em: 11 ago. 2020.

HILLIER, Frederick S.; LIEBERMAN, Gerald J. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 9. ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda, 2013. *E-book*. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580551198/>. Acesso em: 19 nov. 2020.

LACHTERMACHER, G. **Pesquisa Operacional na tomada de decisões**. 5.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018. *E-book*. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521630494/>. Acesso em: 26 Jul 2020

MARCONI, Marina A.; LAKATOS, Eva M. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2019. *E-book*. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788597010770/>. Acesso em: 11 ago. 2020

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS (SEBRAE). **Anuário do trabalho na micro e pequena empresa**: 2013. 6. ed. Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos [responsável pela elaboração da pesquisa, dos textos, tabelas, gráficos e mapas]. Brasília: DIEESE, 2013. Disponível em: https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Anexos/Anuario%20do%20Trabalho%20Na%20Micro%20e%20Pequena%20Empresa_2013.pdf. Acesso em: 11 ago. 2020.

SILVA, Ermes M. *et al.* **Pesquisa Operacional** - Para os Cursos de Administração e Engenharia. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2017. *E-book*. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788597013559/>. Acesso em: 23 jul. 2020.

YIN, Robert K. **Estudo de Caso**: planejamento e métodos. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015. *E-book*. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788582602324/>. Acesso em: 11 ago. 2020.

APÊNDICE A – RELATÓRIO DE RESPOSTAS 1

Microsoft Excel 16.0 Relatório de Respostas

Planilha: [SOLVER DO TCC.xlsx]1ª Solução Ótima

Relatório Criado: 23/10/2020 20:25:37

Resultado: O Solver encontrou uma solução. Todas as Restrições e condições de adequação foram satisfeitas.

Mecanismo do Solver

Mecanismo: LP Simplex

Tempo da Solução: 0,094 Segundos.

Iterações: 10 Subproblemas: 0

Opções do Solver

Tempo Máx. Ilimitado, Iterações Ilimitado, Precision 0,000001, Usar Escala Automática

Subproblemas Máx. Ilimitado, Soluç. Máx. Núm. Inteiro Ilimitado, Tolerância de Número Inteiro 1%, Assumir Não Negativo

Célula do Objetivo (Máx.)

Célula	Nome	Valor Original	Valor Final
\$D\$10	Max L	R\$ 0,00	R\$ 194,55

Células Variáveis

Célula	Nome	Valor Original	Valor Final	Número Inteiro
\$D\$5	x1	0	7	Conting.
\$E\$5	x2	0	2,28	Conting.
\$F\$5	x3	0	0	Conting.
\$G\$5	x4	0	0	Conting.
\$H\$5	x5	0	4	Conting.
\$I\$5	x6	0	0	Conting.
\$J\$5	x7	0	0	Conting.
\$K\$5	x8	0	3	Conting.
\$L\$5	x9	0	0	Conting.
\$M\$5	x10	0	0	Conting.
\$N\$5	x11	0	0	Conting.

Restrições

Célula	Nome	Valor da Célula	Fórmula	Status	Margem de Atraso
\$D\$13	R1	300	\$D\$13<=\$E\$13	Associação	0
\$D\$14	R2	0	\$D\$14<=\$E\$14	Não-associação	120
\$D\$15	R3	9,28	\$D\$15>=\$E\$15	Não-associação	6,53
\$D\$16	R4	4	\$D\$16>=\$E\$16	Não-associação	3,25
\$D\$17	R5	9,28	\$D\$17<=\$E\$17	Não-associação	7,72
\$H\$13	R6	7	\$H\$13<=\$I\$13	Associação	0
\$H\$14	R7	2,28	\$H\$14<=\$I\$14	Não-associação	2,72
\$H\$15	R8	0	\$H\$15<=\$I\$15	Não-associação	2
\$H\$16	R9	0	\$H\$16<=\$I\$16	Não-associação	3
\$H\$17	R10	4	\$H\$17<=\$I\$17	Associação	0
\$L\$13	R11	0	\$L\$13<=\$M\$13	Não-associação	3
\$L\$14	R12	3	\$L\$14<=\$M\$14	Associação	0
\$L\$15	R13	0	\$L\$15<=\$M\$15	Não-associação	3
\$L\$16	R14	0	\$L\$16<=\$M\$16	Não-associação	3
\$L\$17	R15	0	\$L\$17<=\$M\$17	Não-associação	2

APÊNDICE B – RELATÓRIO DE SENSIBILIDADE 1

Microsoft Excel 16.0 Relatório de Sensibilidade

Planilha: [SOLVER DO TCC.xlsx]1ª Solução Ótima

Relatório Criado: 23/10/2020 20:25:37

Células Variáveis

		Final	Reduzido	Objetivo	Permitido	Permitido
Célula	Nome	Valor	Custo	Coefficiente	Aumentar	Reduzir
\$D\$5	x1	7	0	10,31	1E+30	2,324
\$E\$5	x2	2,28	0	13,31	1,431666667	0,224285714
\$F\$5	x3	0	-0,314	18,32	0,314	1E+30
\$G\$5	x4	0	-2,798	21,16	2,798	1E+30
\$H\$5	x5	4	0	9,74	1E+30	1,2592
\$I\$5	x6	0	-1,2592	12,74	1,2592	1E+30
\$J\$5	x7	0	-5,072	10,9	5,072	1E+30
\$K\$5	x8	3	0	17,69	1E+30	1,718
\$L\$5	x9	0	-6,582	9,39	6,582	1E+30
\$M\$5	x10	0	-6,906	14,39	6,906	1E+30
\$N\$5	x11	0	-14,748	22,52	14,748	1E+30

Restrições

		Final	Sombra	Restrição	Permitido	Permitido
Célula	Nome	Valor	Preço	Lateral R.H.	Aumentar	Reduzir
\$D\$13	R1	300	0,5324	300	68	57
\$D\$14	R2	0	0	120	1E+30	120
\$D\$15	R3	9,28	0	2,75	6,53	1E+30
\$D\$16	R4	4	0	0,75	3,25	1E+30
\$D\$17	R5	9,28	0	17	1E+30	7,72
\$H\$13	R6	7	2,324	7	3,8	4,533333333
\$H\$14	R7	2,28	0	5	1E+30	2,72
\$H\$15	R8	0	0	2	1E+30	2
\$H\$16	R9	0	0	3	1E+30	3
\$H\$17	R10	4	3,3512	4	4,75	3,25
\$L\$13	R11	0	0	3	1E+30	3
\$L\$14	R12	3	1,718	3	1,9	2,266666667
\$L\$15	R13	0	0	3	1E+30	3
\$L\$16	R14	0	0	3	1E+30	3
\$L\$17	R15	0	0	2	1E+30	2

APÊNDICE C – RELATÓRIO DE LIMITES 1

Microsoft Excel 16.0 Relatório de Limites

Planilha: [SOLVER DO TCC.xlsx]1ª Solução Ótima

Relatório Criado: 23/10/2020 20:25:38

Objetivo		
Célula	Nome	Valor
\$D\$10	Max L	R\$ 194,55

Variável			Inferior	Objetivo	Superior	Objetivo
Célula	Nome	Valor	Limite	Resultado	Limite	Resultado
\$D\$5	x1	7	0,47	127,22	7	194,55
\$E\$5	x2	2,28	0	164,2	2,28	194,55
\$F\$5	x3	0	0	194,55	0	194,55
\$G\$5	x4	0	0	194,55	0	194,55
\$H\$5	x5	4	0,75	162,89	4	194,55
\$I\$5	x6	0	0	194,55	0	194,55
\$J\$5	x7	0	0	194,55	0	194,55
\$K\$5	x8	3	0	141,48	3	194,55
\$L\$5	x9	0	0	194,55	0	194,55
\$M\$5	x10	0	0	194,55	0	194,55
\$N\$5	x11	0	0	194,55	0	194,55

APÊNDICE D – RELATÓRIO DE RESPOSTAS 2

Microsoft Excel 16.0 Relatório de Respostas

Planilha: [SOLVER DO TCC.xlsx]Nova Solução Ótima

Relatório Criado: 23/10/2020 20:27:04

Resultado: O Solver encontrou uma solução de número inteiro dentro da tolerância. Todas as Restrições foram satisfeitas.

Mecanismo do Solver

Mecanismo: LP Simplex

Tempo da Solução: 0,578 Segundos.

Iterações: 2 Subproblemas: 58

Opções do Solver

Tempo Máx. Ilimitado, Iterações Ilimitado, Precision 0,000001, Usar Escala Automática

Subproblemas Máx. Ilimitado, Soluç. Máx. Núm. Inteiro Ilimitado, Tolerância de Número Inteiro 1%,

Assumir Não Negativo

Célula do Objetivo (Máx.)

Célula	Nome	Valor Original	Valor Final
\$D\$10	Max L	R\$ 194,55	R\$ 190,82

Células Variáveis

Célula	Nome	Valor Original	Valor Final	Número Inteiro
\$D\$5	x1	7	7	Número Inteiro
\$E\$5	x2	2,28	2	Número Inteiro
\$F\$5	x3	0	0	Número Inteiro
\$G\$5	x4	0	0	Número Inteiro
\$H\$5	x5	4	4	Número Inteiro
\$I\$5	x6	0	0	Número Inteiro
\$J\$5	x7	0	0	Número Inteiro
\$K\$5	x8	3	3	Número Inteiro
\$L\$5	x9	0	0	Número Inteiro
\$M\$5	x10	0	0	Número Inteiro
\$N\$5	x11	0	0	Número Inteiro

Restrições

Célula	Nome	Valor da Célula	Fórmula	Status	Margem de Atraso
\$D\$13	R1	293	\$D\$13<=\$E\$13	Não-associação	7
\$D\$14	R2	0	\$D\$14<=\$E\$14	Não-associação	120
\$D\$15	R3	9	\$D\$15>=\$E\$15	Não-associação	6,25
\$D\$16	R4	4	\$D\$16>=\$E\$16	Não-associação	3,25
\$D\$17	R5	9	\$D\$17<=\$E\$17	Não-associação	8
\$H\$13	R6	7	\$H\$13<=\$I\$13	Associação	0
\$H\$14	R7	2	\$H\$14<=\$I\$14	Não-associação	3
\$H\$15	R8	0	\$H\$15<=\$I\$15	Não-associação	2
\$H\$16	R9	0	\$H\$16<=\$I\$16	Não-associação	3
\$H\$17	R10	4	\$H\$17<=\$I\$17	Associação	0
\$L\$13	R11	0	\$L\$13<=\$M\$13	Não-associação	3
\$L\$14	R12	3	\$L\$14<=\$M\$14	Associação	0
\$L\$15	R13	0	\$L\$15<=\$M\$15	Não-associação	3
\$L\$16	R14	0	\$L\$16<=\$M\$16	Não-associação	3
\$L\$17	R15	0	\$L\$17<=\$M\$17	Não-associação	2
\$D\$5:\$N\$5=Número Inteiro					