UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

CENTRO DE TECNOLOGIA

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO MECÂNICA

MATHEUS MORAIS ARAÚJO

MODELO DE PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA PARA A ALOCAÇÃO OTIMIZADA DE COLABORADORES EM UMA EMPRESA DE VENDAS DE BEBIDAS

Fortaleza

2018

MATHEUS MORAIS ARAÚJO

MODELO DE PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA PARA A ALOCAÇÃO OTIMIZADA DE COLABORADORES EM UMA EMPRESA DE VENDAS DE BEBIDAS

Monografia apresentada ao Programa de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro em Produção mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Anselmo Ramalho Pitombeira Neto.

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A69m Araújo, Matheus Morais.
Modelo de programação matemática para a alocação otimizada de colaboradores em uma empresa de vendas de bebidas / Matheus Morais Araújo. – 2018.
57 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia de Produção Mecânica, Fortaleza, 2018.
Orientação: Prof. Dr. Anselmo Ramalho Pitombeira Neto.

1. Alocação de funcionários. 2. Problema de alocação. 3. Programação matemática. I. Título.
CDD 658.5

MATHEUS MORAIS ARAÚJO

MODELO DE PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA PARA A ALOCAÇÃO OTIMIZADA DE COLABORADORES EM UMA EMPRESA DE VENDAS DE BEBIDAS

Monografia apresentada ao Programa de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro em Produção mecânica.

Aprovada em: ___/___/______.

BANCA EXAMINADORA

____
Prof. Dr. Anselmo Ramalho
Pitombeira Neto
Universidade Federal do Ceará (UFC)

____
Prof. Dr. Heráclito Lopes
Jaguaribe Pontes
Universidade Federal do Ceará (UFC)

____
Prof. Dr. Bruno de Athayde
Prata
Universidade Estadual do Ceará (UFC)

A minha família, amigos e professores
que tanto me auxiliaram nessa jornada.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Edson e Geovana, que tanto me apoiaram nessa jornada e me proporcionaram todas as ferramentas necessárias para minha formação pessoal e profissional, mostrando-se como exemplos a serem seguidos.

Aos meus professores, colegas e amigos que completaram toda a formação que recebi em casa se mostrando sempre um apoio e mostrando novas formas de ver o mundo.

À minha namorada, Carolina, por sempre ter me apoiado e incentivado em meus objetivos, mudando minha forma de analisar as situações e tornando-me uma pessoa melhor.

Aos colegas envolvidos em bolsas acadêmicas e projetos que me envolvi ao decorrer da universidade, me mostrando que a experiência e vivencia da profissão é tão importante quanto a sala de aula.

RESUMO

A alocação de colaboradores em postos de trabalho é um importante tema para empresas que influencia diretamente nos custos e na eficiência da operação, além da satisfação dos próprios funcionários. Os métodos envolvidos nessa operação são muitas vezes arcaicos e baseados no empirismo ou experiência dos gestores, devido a isso o tema tem se tornado objeto de estudo dentro do ambiente acadêmico, contribuindo para o desenvolvimento de ferramentas que contribuem para esse processo. O presente trabalho busca elaborar um método de alocação de colaboradores baseado na distância que os mesmos devem percorrer até o posto, contribuindo para a satisfação dos mesmos que influenciará em um melhor rendimento. Para tal foi criado um modelo baseado no problema de transportes, presente na área de pesquisa operacional, em MS Excel e que pode ser resolvido com o software OpenSolver, que possui uma interface comum com o programa da Microsoft. O trabalho obteve êxito no seu objetivo, reduzindo o tempo gasto na elaboração da alocação e na quilometragem total da alocação o que contribuiu para a satisfação dos funcionários. Melhorias foram sugeridas com base nas oportunidades visualizadas para que o método continue a ser trabalhado e possa ser melhorado.

Palavras chaves: Alocação de funcionários, problema de alocação, programação matemática

ABSTRACT

The allocation of employees in jobs is an important issue for companies that directly influence the costs and efficiency of the operation, as well as the satisfaction of the employees themselves. The methods involved in this operation are often archaic and based on the empiricism or experience of the managers, due to this the subject has become object of study within the academic environment, contributing to the development of tools that contribute to this process. However these tools are not commonly applied in the business environment, proving something often evidenced that often what is developed in the academic environment is not commonly applied in practice. The present work seeks to elaborate a method of allocation of employees based on the distance that they must go to the post, contributing to their satisfaction that will influence a better performance. For this, a model based on the transport problem, present in the area of operational research, was created in MS Excel and can be solved with OpenSolver software, which has a common interface with the Microsoft program. The work succeeded in its objective, reducing the time spent in the elaboration of the allocation and the total mileage of the allocation which contributed to the satisfaction of the employees. Improvements have been suggested based on the opportunities visualized so that the method continues to be worked on and can be improved.

Keywords: Employee allocation, assignment problem, mathematical programming.

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO

1.1 Problemática

O processo de alocar colaboradores em seus postos de trabalho é uma importante etapa da operação e pode ser visto com uma grande gama de possibilidades e situações, e dentro do atual contexto de intensa concorrência empresarial tem se tornado cada vez mais importante e estratégico que empresas estudem e qualifiquem esse processo para que consigam se diferenciar das demais.

Esse processo está ligado diretamente com a produtividade das operações, ao gasto com mão-de-obra, um dos maiores gastos de qualquer empresa, e a satisfação dos seus funcionários, que muitas vezes determina a eficiência e o compromisso dos mesmos, influenciando diretamente do sucesso da organização. Em conjunto com todos os fatores expressados acima outro ponto que denota a importância de atenção a esse processo é sua complexidade, tendo em vista as restrições obrigatórias como as presentes na legislação, tem-se também todos os fatores desejáveis que devem ser atendidos, como satisfação dos funcionários, afinidades dos mesmos com a operação, atendimento das demandas, entre outras.

Entretanto o que é visto dentro do atual contexto é que esse tema tem sido deixado de lado por muitas empresas e essa alocação tem sido feita de maneira simplória, frequentemente por tentativa e erro, ou com base em análises empíricas baseadas somente na experiência do gestor. Como consequência disso o processo como um todo acaba sendo prejudicado, pois:

a) a decisão dos responsáveis é dificultada, uma vez que através desse método muitas vezes os problemas são percebidos ao longo da operação, tendo que haver tratativas no decorrer da mesma;
b) não existem dados para medir a eficiência da alocação, como custo ou satisfação dos funcionários alocados;
c) não possibilita uma simulação da alocação, de forma a verificar se a mesma atende a necessidade vigente naquele momento;
d) o processo de alocação torna-se longo, exaustivo e muitas vezes ineficiente;
e) prejudica gestão do conhecimento da empresa, pois toda a alocação estaria a par da experiência do responsável pelo processo;

f) compromete a eficiência e o compromisso do colaborador, uma vez que muitas vezes não são levadas em consideração necessidades básicas como afinidade ou distância a ser percorrida;
g) aumenta a possibilidade de aumento de gastos com o não atendimento da demanda no decorrer da atividade, sendo necessária a realocação no decorrer da mesma ou gastos envolvidos com o deslocamento exagerado por esse fator não ter sido levado em conta;
h) há a possibilidade de insatisfação por parte do funcionário ao não garantir as condições mais adequadas possíveis para que o mesmo possa exercer seu trabalho.

1.2 Importância do trabalho

Tendo em vista todos os problemas resultantes de uma alocação de pessoas mal elaborada ressalta-se a importância de que exista um modelo para que esse processo seja feito de maneira ótima e livre de erros.

Com a elaboração do modelo nesse estudo visa-se auxiliar empresas que tenham que alocar funcionários externos a empresa levando em consideração as distâncias embutidas nessa atividade, o que significa, em um primeiro momento, a satisfação dos colaboradores, a diminuição de gastos envolvidos, o aumento da eficiência e da produtividade dos mesmos, em um segundo momento a melhor gestão por parte da empresa em um processo tão importante e a gestão do conhecimento, uma vez que o intuito é que o processo seja padronizado e se torne parte da rotina empresarial.

Além de todos os ganhos citados acima, com a criação de um modelo padrão também se pode ter a criação de indicadores que meçam a eficiência dessa alocação, algo que não seria possível em um modelo empírico.

1.3 Cenário

O cenário utilizado será o de uma empresa de bebidas, mas especificamente na área de execução de trade marketing no setor de autosserviço abastecido pela mesma. Nessa área a empresa conta com dois turnos de trabalho, manhã e tarde, 4h no período da manhã e 4h a tarde, com 2h de descanso para almoço. O posto de trabalho representa o local, ou os locais, em que o funcionário irá trabalhar dentro do mês.

A empresa é localizada em Fortaleza e é uma filial de uma multinacional. O setor em questão cuida da execução dos seguintes estados: Ceará, Rio Grande do Norte, Piauí, Maranhão e Pará. Para fins de estudo de caso somente os funcionários do estado do Ceará foram avaliados, somando assim um Gerente, quatro supervisores e 60 promotores. A alocação conterá somente a designação dos promotores. Cada promotor trabalha um dia completo de segunda-feira a sábado, assim dois turnos por dia.

Além dos promotores próprios listados acima a empresa conta com promotores terceiros, porém esses não entraram no estudo em questão, uma vez que a empresa não dispõe das informações necessárias sobre os mesmos e também não os conta no quadro oficial de funcionários.

1.4 Objetivos gerais e específicos

O principal objetivo deste trabalho é desenvolver um modelo baseado em programação matemática para a alocação otimizada de promotores comerciais em postos de trabalho em uma empresa de bebidas.

Como objetivos específicos se tem:

a) diminuir o tempo e o desgaste de cada colaborador para se chegar aos postos de trabalho, aumentando assim um dos indicadores mais importantes avaliados pela empresa, o *Engagement*, que mede o quanto o funcionário se sente satisfeito em trabalhar na empresa;
b) diminuir o gasto com transporte que a companhia tem por parte dos promotores;
c) melhorar o processo de alocação de funcionários em postos de trabalho da empresa;
d) ampliar a gestão de conhecimento da empresa;
e) gerar uma ferramenta de apoio a gestão para os supervisores no que tange a alocação de promotores.

1.5 Metodologia

O presente trabalho irá desenvolver e aplicar em um primeiro momento um modelo reduzido, a fim de testar o atendimento das restrições e, comprovada a aplicação, será aplicado em um caso real com restrições definidas. Os conceitos utilizados na construção do modelo serão apresentados durante a fundamentação teórica.

O programa MS Excel será utilizado, para a construção e modelagem do problema, utilizando o suplemento Solver.

Aplicado o modelo em um caso real, discutir-se-á os resultados em comparação com os obtidos com o uso do modelo usado atualmente pela empresa em questão.

1.6 Estrutura do trabalho

Além desta introdução, que será denominada de seção 1, este trabalho está organizado da seguinte forma:

A seção 2 apresenta os conceitos essenciais para o entendimento da metodologia apresentada no decorrer do estudo.

A seção 3 traz o desenvolvimento e o passo a passo da metodologia aplicada a um conjunto menor de dados a fim de testar a aplicabilidade e a eficiência do modelo.

A seção 4 traz a aplicação do modelo construído na seção anterior a um caso real dimensionado conforme as especificações do estudo, essa aplicação será comparada com o cenário atual da atividade na empresa e as vantagens e desvantagens serão apontadas.

A seção 5 apresenta a conclusão acerca do que foi apresentado nas seções anteriores e dos resultados obtidos com o estudo, assim como indica as possíveis consequências para a continuidade da aplicação do modelo no dia-a-dia da empresa.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Pesquisa Operacional e modelagem

As primeiras atividades formais de pesquisa operacional (PO) foram iniciadas na Inglaterra durante a Segunda Guerra Mundial, quando uma equipe de cientistas britânicos decidiu tomar decisões com bases científicas sobre a melhor utilização de material de guerra. Após a guerra, as ideias propostas para operações militares foram adaptadas para melhorar a eficiência e a produtividade no setor civil (TAHA *et al*, 2008).

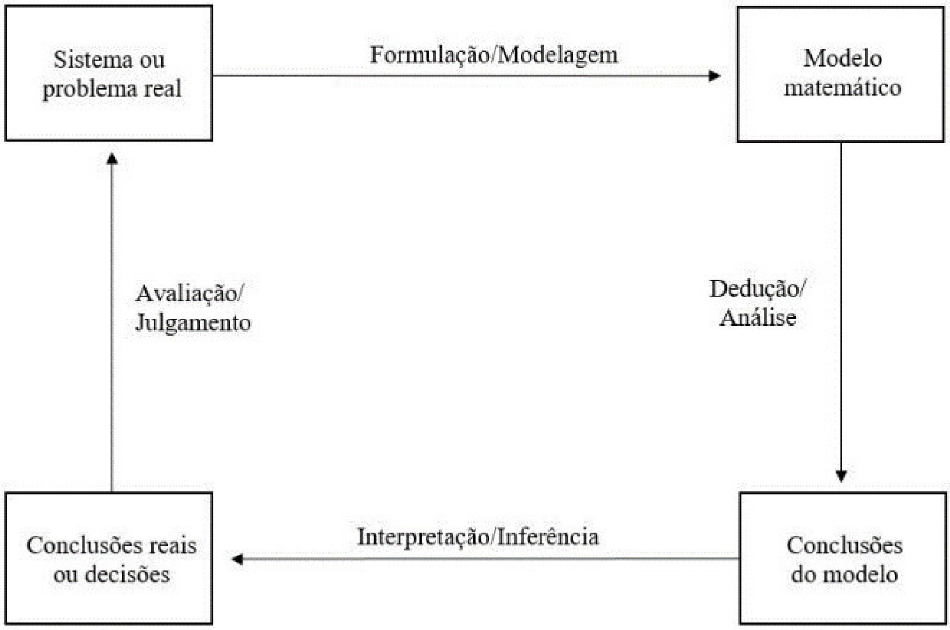
Arenales (2007) diz que pesquisa operacional é um enfoque científico sobre tomadas de decisões, visando soluções de problemas no gerenciamento de sistemas complexos. Segundo Hillier (1988), a pesquisa operacional é aplicada a problemas que compreendem a condução e coordenação das operações em uma organização, tornando a natureza da mesma essencialmente secundária, a exemplo disso tem-se a aplicação de PO em áreas distintas como manufatura, transportes, construção, etc.

A abordagem para a resolução de problemas pela pesquisa operacional envolve várias fases, segundo Arenales (2007), as etapas são: Definição do problema, construção do modelo, validação do modelo e implementação da solução, conforme pode ser visto na figura 2.1.

As etapas são descritas da seguinte forma:

a) definição problema (Formulação/modelagem): Define o escopo do problema e como o mesmo se comporta através das variáveis e relações definidas;
b) construção do modelo (Dedução/analise): Traduz o problema encontrado na primeira fase para relações matemática e lógicas de simulação;
c) validação do modelo (Interpretação/inferência): Utiliza métodos de solução para resolver o modelo proposto na fase anterior e argumenta se o modelo e suficiente para decisões reais;
d) implementação da solução (Avaliação/julgamento): Verifica se o modelo prediz adequadamente o comportamento do sistema, validando as conclusões do processo de inferência.

Figura 2.1 - Processo de modelagem



Fonte: Arenales et al (2007)

2.2 Problema de transportes

Uma das principais atividades em um projeto é a alocação de recursos. A maneira como esses serão alocados poderá influenciar na duração, custo e na qualidade do mesmo, justificando a importância dessa etapa, inclusive fazendo com que uma alocação de recursos ineficaz contribua para o aumento de duração e de custos desnecessários, podendo tornar o projeto inviável.

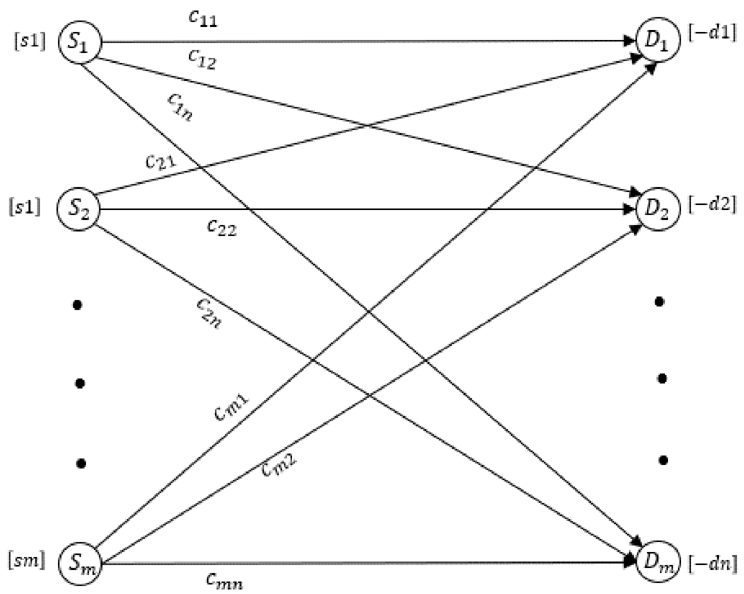
O processo de alocar recursos começa na definição do fornecedor e na interação desse com os determinados locais de alocação possível. Com o mercado crescendo cada vez mais, e mais fornecedores e possibilidades sendo possíveis, se torna essecial a qualquer empresa que deseja continuar competitiva a análise dos recursos e do custo de oportunidade atrelado a escolha de um ou outro fornecedor, tendo em vista essa problemática foi formulado o problema de transportes, que segundo Taha (2008) é uma classe especial de problemas de programação linear que trata do envio de uma mercadoria de origens (fábricas, por exemplo) para destinos (depósitos, por exemplo).

Esses problemas referem-se, por exemplo, ao transporte e distribuição de produtos dos centros de produção aos mercados consumidores. Os produtos podem ser os mais variados possíveis: petróleo, equipamentos, máquinas, produção agrícola, energia elétrica, etc. (ARENALES *et al*, 2007). O objetivo é determinar a programação de expedição que minimize o custo total de expedição e, ao mesmo tempo, satisfaça os limites de fornecimento de demanda (TAHA *et al*, 2008).

Para que o problema de transportes seja formulado é necessário somente o preenchimento de uma tabela ou desenhar a sua representação em forma de rede, não é necessário escrever-se um modelo matemático formal para o problema (HILLIER *et al*, 1998), porém o modelo matemático será mostrado afim de que se tenha mais compreensão sobre o problema em questão.

Os modelos de rede possuem, na maioria dos casos, uma estrutura com m pontos de fornecimento e n pontos de destino, onde o problema consiste em definir o melhor caminho a ser utilizado para que uma determinada quantidade de produtos seja entregue, tendo um objetivo de minimizar o custo, sendo, por exemplo, financeiro ou temporal. A representação por rede é feita de maneira simplificada na figura 2.2, onde, têm-se as m origens Sm, de capacidade s*m*, e n destinos Dn, de demanda d*n*,. Cada ponto de origem ou destino é representado por um nó, que é ligado por um arco de custo cij.

Figura 2.2 - Representação em forma de rede do problema de transporte



Fonte: Hillier et al (1988)

Apesar de não ser necessário para esse tipo de problema, para melhor compreensão do mesmo o modelo matemático formal será demonstrado. Fazendo que Z seja o custo total de distribuição e *xij* (i = 1,2,...,m; j = 1,2, ..., n) seja o número de unidades a serem distribuídas da origem i para o destino, a formulação em programação linear desse problema ficaria da seguinte forma:

$$Minimizar: Z = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} c_{ij}\, x_{i\,j}$$

Sujeito a

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = s_i \; para \; i = 1,2, \dots, m.$$

$$\sum_{i=1}^{m} x_{ij} = d_j \; para \; j = 1,2, \dots, n.$$

e

$$x_{ij} \geq 0 \; para \; todo \; i \; e \; j$$

2.3 Problema de designação de pessoas

Dentre os recursos a serem alocados em um projeto, um essencial é a mão-de-obra, fator fundamental para qualquer atividade que se deseje exercer e com alto impacto na operação como um todo, uma vez que geralmente é o recurso mais dispendioso.

A tarefa de alocar recursos não é simples, pois o responsável pode ter várias alternativas a ponderar e várias restrições a avaliar, uma vez que pode-se ter uma grande variedade de recursos e posto disponíveis. Devido ao alto grau de complexidade dessa operação as técnicas de gestão tradicionais geralmente não oferecem uma solução ótima, normalmente deixando a solução a cargo da experiência e do empirismo, o que pode gerar alternativas mais custosas tanto do ponto de vista financeiro como do monetário.

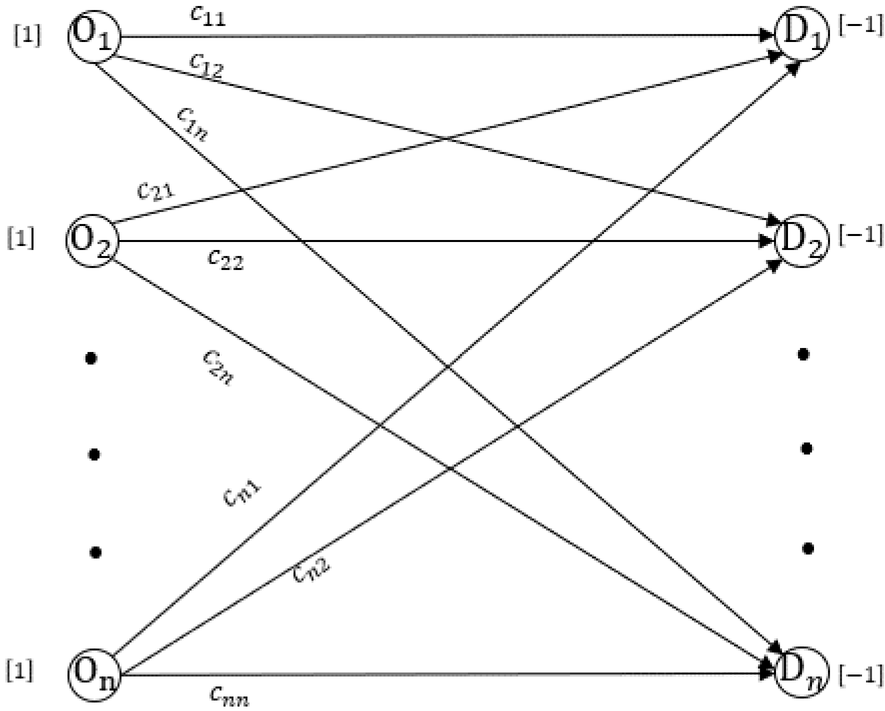
Segundo Taha (2008), uma tarefa que combine com a habilidade do trabalhador custa menos do que uma tarefa para a qual o trabalhador não seja tão habilidoso, deste modo, a servir como alternativa aos métodos tradicionais surge o problema de designação, que pode ser descrito como “ A melhor pessoa para a tarefa”. Fornecendo uma solução para o probema de designação com o uso da pesquisa operacional.

O problema de designação se trata de um caso específico do problema de transporte, onde, os trabalhadores representam as origens e as tarefas os destinos e a quantidade fornecida em cada origem é igual a um (1). O problema analisa o custo de distribuição ou o fator de prioridade de cada alocação e realiza a alocação da maneira mais eficaz. Esse modelo pode ser aplicado a qualquer problema que se adeque a essas especificações, além de designar pessoas à tarefas, pode-se também, por exemplo:

a) designar maquinário para localizações;
b) designar produtos para fábricas;

c) designar obras para várias empresas.

Figura 2.3 - Representação do problema de designação



Fonte: Fernando Nogueira (2010)

Segundo o exemplo de Arenales (2008), temos uma situação em que *n* tarefas precisam ser atribuidas a *n* pessoas e que p_{ij} mede o interesse do individuo *i* na realização da tarefa *j*. Seja a váriavel de decisão x_{ij} igual a 1 se o indivuo *i* for designado para a realização da tarefa *j* e o 0, caso o contrario. A formulação desse problema seria:

$$Maximizar: f(x_{11}, \dots, x_{nm}) = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} p_{ij}\, x_{ij}$$

$$\sum_{j=1}^{n} X_{ij} = 1 \qquad\qquad (i = 1, \dots, n)$$

$$\sum_{i=1}^{n} X_{ij} = 1 \qquad\qquad (j = 1, \dots, n)$$

$$x_{ij} = 0 \; ou \; 1, \qquad\qquad i = 1,2, \dots, n, j = 1,2, \dots, n$$

Onde, a primeira linha representa a função objetivo, o interesse a ser maximizada, a segunda representa a restrição sobre cada individuo será designado a somente uma tarefa, a terceira linha representa a segunda restrição, que diz que cada tarefa será realizada por somente um individuo, e a ultima linha impõe que as variáveis de decisão devem tomar valores inteiros, zero (0) ou um (1).

Como dito anteriormente a solução de um problema de alocação de recursos pelo método de designação depende de que um determinado recurso seja alocado a somente uma tarefa, assim durante toda sua utilização o recurso despende todo seu tempo e custo a somente um posto de trabalho, não podendo trabalhar em mais de um posto durante todo o período em questão. Isso torna a aplicação bastante limitada, uma vez que na prática geralmente um recurso trabalha em mais de uma tarefa, seja seguida ou paralelamente e as tarefas geralmente precisam de mais do que apenas um recurso.

2.4 Programação Linear e o Método Simplex

Programação linear é a resolução de problemas de maximização (como lucro) ou minimização (como custo) de algum objetivo, atendendo a um conjunto de restrições. Parte da modelagem do problema culmina na obtenção da solução ótima. As variáveis são reais (isto é, número não necessariamente inteiros) (HEIN, 2017).

Em 1827 o matemático francês J.B.J Fourier publicou um método para soluções de problemas lineares, essa publicação é tida como primeira aparição da programação linear (SIERKSMA, 2001), hoje essa está entre as mais importantes técnicas de pesquisa operacional (ZIONTS, 1974). A popularidade da programação linear se dá por conta da simplicidade de aplicação e a larga aplicação nos mais diversos setores, contribuindo para alavancar o resultado das mais diversas empresas. Hillier (1988) classificou a programação linear como um dos maiores avanços científico dos meados do século vinte.

A aplicação da programação linear se dá quando se tem um problema que objetiva a busca pela otimização de um determinado fator, sendo maximização ou minimização. Isso dá, pois, a programação linear busca entre uma variedade de hipóteses simuladas durante a resolução a partir de critérios pré-estabelecidos a situação em que os recursos são melhor distribuídos. O termo linear refere-se ao fato de que a função objetivo é linear em relação as variáveis de controle usadas durante a elaboração das restrições.

Segundo Bronson, Naadimuthu (1997) e Puccini (1987), um problema de programação linear apresenta as seguintes características:

a) a função objetivo representa critérios de otimidade. É uma função linear dados os critérios de decisão do modelo, devendo ser maximizada ou minimizada;
b) as variáveis de decisão são expressas por um conjunto de equações e inequações lineares, devendo ser sempre não negativas e manipuláveis no procedimento pela busca pelo ótimo;
c) as restrições são funções lineares que delimitam a região de soluções viáveis do problema.

Uma vez que essas três características são atendidas o problema se torna solucionável através da programação linear.

Segundo Fogliatto (2009) o formato padrão de um problema de programação linear com *m* restrições e *n* variáveis é dado por:

Maximizar ou minimizar:

$$z = c_1x_1 + c_2x_2 + \cdots + c_nx_n$$

Sujeito a:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1n}x_n = b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2n}x_n = b_2$$

$$\ldots$$

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \cdots + a_{mn}x_n = b_m$$

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \ldots, x_n \geq 0$$

$$b_1 \geq 0, b_2 \geq 0, \ldots, b_m \geq 0$$

Uma vez que se define o problema de programação linear este deve ser resolvido por um dos meios de solução presentes na pesquisa operacional, um desses meios e mais comum é o simplex, que é famoso por resolver problemas práticos de maneira simples e rápida (SCHRIJVER, 1986). A criação do Simplex em 1947 por G. Dantzig foi o marco definitivo da pesquisa operacional (PUCCINI, 1987).

Segundo Taha (2008) o método simplex investiga somente parte das soluções que o modelo possibilita, demostrando ter um natureza mais interativa em relação aos demais métodos. O método apresenta uma solução básica inicial e a partir dessa são calculadas outras soluções básicas subsequentes com a troca de variáveis buscando, se possível, uma solução ótima, tendo em vista os critérios utilizados durante a modelagem do problema.

Segundo Arenales et al (2007), em resumo, dada uma solução básica factível o modelo avalia:

a) essa solução é ótima?

b) caso não o seja, como determinar uma solução básica factível melhor?

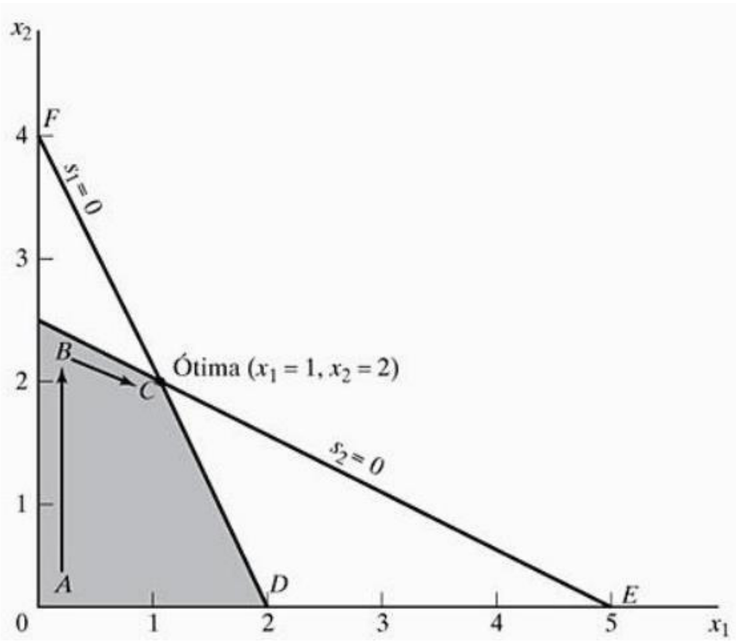
Com base nas respostas continua o procedimento de resolução.

Para exemplificar tenhamos a seguinte função objetivo:

$$Maximizar\ z = 2x_1 + 3x_2$$

Na figura 2.4 temos a exemplificação gráfica do processo utilizado pelo Simplex, que segundo Taha (2008) começa na origem (ponto A), onde $x_1 = x_2 = 0$ onde nesse valor de partida o valor da função é zero, a partir desse momento é possível ver que o aumento do valor de x_1 ou x_2 melhorara o resultado de z, onde o aumento utilizado será o que é favorável a resolução ótima da função objetivo. Analisando a função vemos que o valor para cada aumento de x_1 a função Z cresce a uma taxa de dois (2) e para cada aumento de x_2 a uma taca de três (3), logo e favorável que o aumento venha em x_2. Vendo a figura X o valor deve ser aumentado ate o ponto extremo B.

Figura 2.4 - Processo interativo do método Simplex



Fonte: Taha *et al* (2008)

2.5 Fórmula de Haversine

A fórmula de Haversine é uma equação utilizada para medir a distâncias de dois pontos de uma esfera, a partir de suas latitudes e longitudes, é comumente utilizada na navegação para medir a distância entre dois pontos do globo terrestre. É uma adaptação da lei dos Haversinos, sendo aplicada como um caso especial em que os lados são relacionados a ângulos de uma esfera "triangular".

Apesar da ampla aceitação da fórmula e larga utilização a mesma apresenta uma limitação quando tratamos da variação do raio da Terra, pois o mesmo é variável. Quando nos aproximamos dos polos o raio é na ordem de 6357Km, enquanto no equador é de 6378Km, assim, a imprecisão aumenta quando nos distanciamos da linha do Equador, para situações que se enquadram nesse contexto a Fórmula de Vicenty pode ser utilizada, pois leva em conta a característica elíptica da Terra. O nome da fórmula provém dos termos da função de Haversine, que pode ser vista abaixo:

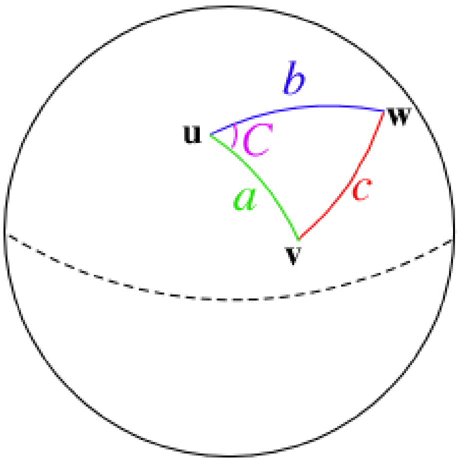
$$haversin(\theta) = sin^2 \frac{\theta}{2}$$

A fórmula de Haversine provém da lei dos Haversinos, vista abaixo, a representação dos termos pode ser vista a figura 2.5.

$$haversin(c) = haversin(a - b) + \sin(a)\sin(b)\, haversin(C)$$

Onde tendo um triangulo presente na superfície de uma esfera se define um triângulo ligando três pontos: *u, v, w*, o comprimento dos três lados é *a* (de *u* até *v*), *b* (de *u* até *w*) e *c* (de *w* até *v*), o ângulo oposto ao lado *c* é chamado de C, conforme a figura 2.5.

Figura 2.5 – Representação gráfica da lei dos Haversinos



Fonte: Wikipédia, a enciclopédia livre

Para obter a fórmula de Haversine o ponto *u* representado acima é posto no polo norte, enquanto *v* e *w* são os dois pontos que se deseja obter a distância *d.* Nomeando as latitudes dos pontos de φ_1 e φ_2, o comprimento *a* vale $\frac{\pi}{2} - \varphi_1$ e o comprimento *b* vale

$\frac{\pi}{2} - \varphi_2$, como $\sin\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right) = \cos(\varphi)$, logo os comprimentos a e b podem ser representados por $\cos(\varphi_1)$ e $\cos(\varphi_2)$ respectivamente.

Tendo dois pontos de uma esfera de raio R, com latitudes φ_1 e φ_2, como dito acima e longitudes λ_1 e λ_2, com as respectivas diferenças sendo representadas por Δ_φ e Δ_λ, a distância entre os dois pontos será representada por d. As latitudes e longitudes devem ser representadas em radianos. O ângulo C pode ser representado como $\frac{d}{R}$.

Aplicando os termos em questão tem-se a fórmula de haversine:

$$haversin\left(\frac{d}{R}\right) = haversin(\Delta_\varphi) + \cos(\varphi_1)\cos(\varphi_2)\, haversin(\Delta_\lambda)$$

2.6 Suplemento Solver e Open Solver

Apesar da facilidade de aplicação de métodos como simplex esses modelos geralmente são grandes demais e por isso necessitam de muitas interações para obter uma solução ótima, tornando-se inviável a solução manual, devido ao esforço e a demora. O público que mais ver necessidade de aplicação de modelos matemáticas com aplicações de Pesquisa operacional é o coorporativo e para esse publico uma solução rápida é necessária para a aplicação de qualquer melhoria.

Atualmente existem muitas ferramentas que auxiliam nessa atividade, sanando essa restrição, a exemplo dos softwares de otimização. Esses softwares consistem em programas computacionais que com a entrada do problema podem solucionar rapidamente e encontrar a solução. Podemos citar muitos exemplos desses softwares como What's Best, da Lindo Systems Inc., o RISKOptimizer, da Palisade Corporation, o SolverStudio e OpenSolver, além do suplemento Solver, que é uma ferramenta incluída no MS Excel, se tornando assim de mais fácil acesso pela maioria das pessoas.

O suplemento Solver permite que o usuário possa resolver sistemas discretos e lineares dentro o programa do MS Excel, da Microsoft e utilizando da mesma interface, o que atrai o usuário novato. Por essas razões esse talvez seja o software de resolução de problemas de otimização mais conhecido e utilizado. Para resolver esse tipo de problema o suplemento utiliza os métodos simplex, evolucionário e gradiente reduzido genérico (GRG). Apesar da facilidade de utilização o Suplemento Solver tem algumas limitações, entre elas o fato de que ele só consegue resolver problemas ate duzentas variáveis, impossibilitando a resoluções de muitos problemas reais, porém para simulações, teste de modelos e problemas reais menores, sua aplicação se adequa perfeitamente.

Para a resolução de problemas com mais variáveis podem ser usados outros softwares, como os citados anteriormente, dentre eles se destaca o OpenSolver por ser gratuito e ter a interface do suplemento solver. O OpenSolver foi desenvolvido na universidade de Auckland, por Andrew Manson e por estudantes do departamento de engenharia e ciência e funciona como uma extensão VBA do MS Excel, não necessitando de qualquer conhecimento de programação para ser utilizado.

O OpenSolver utiliza todos os recursos disponíveis pelo suplemento solver, além da biblioteca *Open Source* (Código de programação aberto para que desenvolvedores possam implementar melhorias) COIN-OR CBC (*Computational Infrastructure for Operations Research).* O software foi ganhador do campeonato da biblioteca, promovido pela empresa IBM, no ano de 2011, o que garante o destaque do mesmo inclusive entre os demais softwares cridos com base nessa biblioteca.

Por funcionar como uma extensão VBA do MS Excel o OpenSolver é totalmente compatível com todos os modelos criados no programa, não sendo necessária qualquer adaptação ou migração de modelos já criados e utilizados no suplemento Solver, este também não tem restrições em relação a quantidade de variáveis ou ao tamanho do problema.

3. METODOLOGIA

3.1 Etapas metodológicas

A metodologia aplicada será uma adaptação do problema de transportes, onde os funcionários serão considerados recursos e os postos de trabalho serão a demanda. Primeiramente será feita a formulação do problema, definindo suas variáveis de decisão e modelando suas funções objetivo e restrições, conforme as limitações aplicadas pela empresa. Para isso uma explicação geral do problema será dada, para que se saiba as condições do mesmo, como o ambiente em que se encontra, as pessoas envolvidas e todas as limitações que devem ser abrangidas, será explicado o funcionamento da atividade em que o modelo será implementado, assim como suas particularidades.

Em seguida será feita uma aplicação do modelo com uma base de dados menor, de modo a realizar uma simulação dos resultados e uma análise da aplicabilidade. A base real do problema será de 80 postos de trabalho e 60 colaboradores, contudo, nesse primeiro momento será de nove e cinco respectivamente, essa base vai permitir que o modelo seja posto em teste e qualquer problema seja corrigido antes da aplicação na base real, desse modo os problemas serão mais visíveis e mais fáceis de serem corrigidos na origem.

Para a aplicação prévia na primeira base de dados primeiramente serão agrariados os dados relativos à localização, gerando uma tabela de latitudes e longitudes para a localização da casa dos promotores e localização do postos de trabalho. Será usada a formula de Haversine para calcular as distâncias a partir desses dados. Posterior a isso será definido as demandas e capacidades de cada ponto. Com todas as bases prontas o modelo será criado, sendo aplicado primeiro na parte da manhã e em seguida na parte da tarde, para só então ser juntado em uma só tabela de resultados.

O terceiro passo será a interpretação da análise gerada no passo anterior e a aplicação do modelo real. O modelo será analisado quanto a sua aplicabilidade, corrigindo possíveis defeitos e realizando as adequações necessárias, em seguida sendo aplicado na base real.

Por último serão feitas as devidas adequações no resultado encontrado, criticando e realizando melhorias nos passos anteriores.

3.2 Descrição do problema

O modelo será aplicado visando futura aplicação na empresa, assim deverá obedecer às restrições impostas pela mesma no que tange a distribuição de pessoas e turnos em determinados postos de trabalho. Como apresentado anteriormente, os postos de trabalho serão cada vaga a ser ocupada em uma loja por um colaborador, ou seja, se uma loja tem necessidade de alocação de dois colaboradores, então contará com dois postos de trabalho.

O primeiro passo para a construção do modelo é o entendimento do problema, para isso este será descrito juntamente com suas restrições. A empresa trabalha com a alocação de promotores nos pontos de vendas, esses funcionários são representantes da empresa nesses locais, eles são responsáveis pelo abastecimento de gôndolas, realização de pesquisa de preço, negociação da participação de produtos da empresa em ponto extra, ponta de gôndola e espaço refrigerado, controle do estoque e definição de parâmetros de abastecimento.

A demanda desses serviços varia muito de acordo com o período do dia, a localização do ponto de venda e o tamanho do mesmo, assim todo mês um supervisor responsável pelo time de promotores determina a alocação desses promotores. As informações sobre quantos promotores devem ficar em cada loja, em cada turno vem predeterminada com base em estudo de mercado feito a cada ano e pequenas modificações mensais são feitas para a adequação do modelo, porém, um problema que vem preocupando a empresa recentemente é a qualidade das alocações do ponto de vista do promotor, pois, muitas vezes um funcionário fica alocado em um local afastado da sua casa, enquanto temos um ponto de venda que lhe seria muito mais adequado.

Esse tema tem preocupado a empresa tanto quanto na qualidade de vida dos seus funcionários, quanto no dinheiro despendido no que tange a transporte urbano. Assim foi criado um raio máximo em que esse promotor deve ser alocado.

A empresa também conta com promotores terceiros, porém esses não vão ser contabilizados no cálculo uma vez que não entram nos custos.

As restrições a serem aplicadas serão as seguintes:

a) demanda do ponto de venda:
   - A demanda será variável de acordo com o ponto de venda, conforme a tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Possíveis demandas por colaboradores nos pontos de venda

Demanda	Alocação
1	Um (1) promotor trabalhando em um (1) turno
2	Um (1) promotor trabalhando em um (1) dia completo
3	Um (1) promotor trabalhando em um (1) turno e outro trabalhando um dia completo
4	Dois promotores trabalhando em um (1) dia completo

Fonte: elaborada pelo autor

b) Capacidade do promotor
   - Cada promotor terá capacidade igual a um (1), ou seja, poderá trabalhar um dia completo.

Conhecidas todas as restrições do problema, o modelo terá como objetivo elaborar uma alocação de promotores tendo em vista a otimização da distância entre suas casas e os postos de trabalho, sendo assim alocado no local mais próximo possível. Assim o modelo trará como objetivo melhorar a qualidade de vida desses colaboradores e minimizar os custos com vale transporte da empresa. Cada dia de trabalho equivale a dois turnos, manhã e tarde, sendo a alocação prioritária no turno manhã, assim caso uma loja tenha a demanda de três postos de trabalho, serão dois promotores alocados no período da manhã e um alocado no período da tarde.

3.3 Construção do modelo

Levando em conta as restrições a serem aplicadas no problema foi construído um modelo que atendesse as especificações, dando uma solução ótima no que tange a distância percorrida ao local de trabalho, porém, isso servirá como base, uma vez que outro fator importante para a determinação da alocação de cada funcionário é a sua eficiência na função de acordo com a situação do posto de trabalho, assim se uma loja está com dificuldades em um mês específico um funcionário com um melhor desempenho será alocado ali. Desse modo o modelo servirá como base para uma análise empírica tendo em vista a necessidade temporária.

A plataforma utilizada para a criação do modelo foi o MS Excel e a extensão do mesmo, Solver. Inicialmente o método será aplicado em um sistema menor, nove lojas e cinco promotores, para simular o funcionamento e melhorar o entendimento. Posteriormente o modelo será aplicado com a quantidade real de lojas e promotores.

Primeiro será feito a alocação de promotores no primeiro turno, manhã, utilizando os valores de distância da casa ao primeiro posto de trabalho, assim obtendo a alocação ótima para a primeira loja que o promotor fará. Em um segundo momento os promotores que foram alocados em lojas com demanda igual a dois ou quatro (Ver tabela 3.1) irão ser retirados do cálculo e os demais irão ser alocados no período referente à tarde.

Os funcionários serão identificados como PRi, em que i será a quantidade de promotores alocados, nesse primeiro momento 5, i = (1,...,5) e as lojas serão identificadas como PVj, onde j será a quantidade de locais possíveis de alocação, nesse primeiro momento 9, j = (1,...,9).

Com as primeiras considerações feitas, torna-se possível iniciar a construção do modelo. Para começar foram definidas as variáveis de decisão, ou seja, as células que serão variadas durante a busca do ponto ótimo. A abordagem escolhida para representá-las foi que elas seriam binárias da forma:

$$X_{ij} = \begin{matrix} 1, se\ colaborador\ i\ trabalhar\ na\ loja\ j \\ 0, caso\ contrário \end{matrix}$$

Em que $i = (1 \dots m)$ e $j = (1 \dots n)$

Com as variáveis de decisão e a estratégia da abordagem definidas, a função objetivo deve ser modelada em função dessas. O custo total da distância percorrida, Cij, é referente ao somatório de todas as distâncias entre a casa dos colaboradores aos postos de trabalho. Assim:

$$Min\ Z = \sum_{j=1}^{n} \sum_{i=1}^{m} C_{ij}\, X_{ij}$$

Onde as restrições de fornecimento e demanda serão respectivamente:

$$\sum_{j=1}^{n} X_{ij} \leq S_i\ (i = 1, \dots, m)$$

$$\sum_{i=1}^{m} X_{ij} \geq D_j\ \ (j = 1, \dots, n)$$

Onde Si é a quantidade fornecida e Dj a demanda.

Com as variáveis de decisão e a função objetivo é possível prosseguir e iniciar a modelagem das restrições. Essa modelagem será realizada por partes, Primeiramente as distâncias necessárias foram calculadas e em seguida foram aplicadas as restrições, iniciando pelas restrições de fornecimento e em seguida pelas restrições de demanda.

O cálculo das distâncias foi feito em duas etapas: Medida da distância entre as casas dos promotores e cada ponto de venda, e depois a medida da distância entre os postos de trabalho. Primeiro, todos os endereços das residências foram postos no web site *GoogleMaps* para que se soubesse a latitude e longitude dos mesmos, a empresa já contava com a latitude e longitude de todos os pontos de venda. Em seguida foram criadas duas tabelas com esses valores, uma com a localização da casa dos promotores e outra com a localização dos pontos de vendas, que podem ser vistas nas tabelas 3.2 e 3.3 respectivamente.

Tabela 3.2 - Tabelas de latitude

Casa	Latitude	Longitude
PR1	-3,8835807	-38,6228009
PR2	-3,8493686	-38,4856337
PR3	-3,8211026	-38,532613
PR4	-3,8244866	-38,5733214
PR5	-3,770789	-38,6128103

Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Tabela 3.3 - Tabelas de latitude

Loja	Latitude	Longitude
PV1	-3,8212518	-38,4985439
PV2	-3,734668	-38,659662
PV3	-3,723848	-38,644509
PV4	-3,773999	-38,628447
PV5	-3,881872	-38,625397
PV6	-3,880296	-38,624675
PV7	-3,876688	-38,620103
PV8	-3,811374	-38,608637
PV9	-3,810731	-38,607647

Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Foi utilizada a fórmula de Haversine para se obter as distâncias, a fórmula utilizada pode ser vista no anexo 1

A fórmula de Haversine foi descrita com as seguintes modificações: No local dos valores das latitudes e longitudes dos dois pontos foi utilizada a fórmula PROCV, que tem como objetivo procurar um valor específico em outra tabela com base nos parâmetros aplicados; No final da fórmula foi utilizado um fator de ajuste que consiste em 15%, devido a distância linear em relação a curvatura da terra.

A sintaxe da fórmula PROCV é (valor_procurado, matriz_tabela, num_indice_col, [procurar intervalo]). Dessa fórmula ao utilizar o exemplo da primeira aplicação dessa fórmula no modelo se tem que é procurado o valor da célula $H5, que corresponde ao Promotor 1, na matriz tabela $C$5:$E$6, que corresponde a tabela de latitudes e longitudes das residências dos promotores, encontrada previamente. Após realizar essa busca exata ([procurar intervalo] = 0) a fórmula retornará o valor da segunda coluna da tabela, que significa a latitude da casa do promotor 1. Essa fórmula é aplicada com suas respectivas adaptações aos restantes das células necessárias.

Com base na equação de Haversine foram elaboradas duas matrizes, a primeira com distância da casa dos promotores em relação aos pontos de vendas e a segunda com a distância entre os pontos de venda.

Tabela 3.4 **-** Matriz distância casa dos promotores x Ponto de vendas (Km)

	PV1	**PV2**	**PV3**	**PV4**	**PV5**	**PV6**	**PV7**	**PV8**	**PV9**
PR1	11	13	12	13	14	15	6	16	12
PR2	12	19	20	13	20	6	10	13	19
PV3	17	17	13	16	5	6	13	6	17
PV4	11	17	3	20	4	4	9	14	13
PV5	16	14	11	17	9	15	3	9	8

Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Tabela 3.5 - Matriz distância entre Ponto de vendas (Km)

	PV1	**PV2**	**PV3**	**PV4**	**PV5**	**PV6**	**PV7**	**PV8**	**PV9**
PV1	0	11	15	13	16	14	13	6	12
PV2	15	0	9	10	10	7	9	8	15
PV3	3	11	0	17	11	4	20	9	13
PV4	17	13	15	0	7	17	14	13	12
PV5	13	17	6	17	0	5	16	13	17
PV6	20	12	6	19	17	0	13	10	19

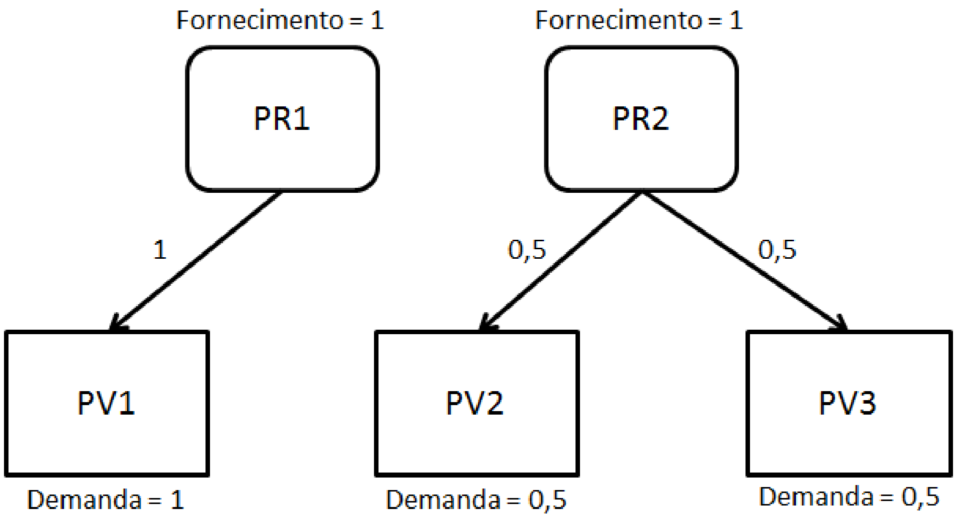
PV7	11	16	15	14	13	9	0	3	8
PV8	16	9	14	14	14	11	9	0	8
PV9	12	8	17	10	15	9	12	7	0

Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Com as matrizes de distâncias feitas, as restrições serão aplicadas.

As restrições de fornecimento são as capacidades de tempo para cada um dos colaboradores, onde todos os promotores terão uma capacidade de 0 a 2, como dito anteriormente. Assim, para que se tenha uma capacidade maior do que isso será necessário mais de um, e no caso de se necessitar de menos um promotor poderá operar em dois ou mais lugares, a fim se distribuir essa capacidade ociosa.

Figura 3.1 - Fluxo de divisão de capacidade



Fonte: elaborada pelo autor

A Demanda de cada ponto de venda foi definida pela empresa, com base no tamanho, volume de vendas e volume de compras de cada um. Para definição desse dado a companhia realiza um estudo a nível nacional e os gerentes locais envolvidos diretamente na operação questionam e fazem as modificações necessárias. Essa demanda pode variar mês a mês com base no período sazonal, onde em um mês com um maior volume de vendas pode-se vim a ser necessária uma mão-de-obra maior em determinados locais, nesse caso usa-se contratados terceiros ou o próprio ponto de venda contrata trabalhadores temporários.

Tabela 3.6 - Demanda dos pontos de venda

	PV1	PV2	PV3	PV4	PV5	PV6	PV7	PV8	PV9	Capacidade
PV1	0	11	15	13	16	14	13	6	12	1
PV2	15	0	9	10	10	7	9	8	15	1
PV3	3	11	0	17	11	4	20	9	13	1
PV4	17	13	15	0	7	17	14	13	12	1
PV5	13	17	6	17	0	5	16	13	17	1
PV6	20	12	6	19	17	0	13	10	19	1
PV7	11	16	15	14	13	9	0	3	8	1
PV8	16	9	14	14	14	11	9	0	8	1
PV9	12	8	17	10	15	9	12	7	0	1
Demanda	1	1	1	1	2	1	1	1	1	

Fonte: elaborada pelo autor

Observa-se na Tabela 3.6 a relação de demanda e capacidade de fornecimento de cada variável, assim como a distância a ser percorrida por cada promotor para chegar a cada ponto de venda. Primeiramente temos que checar se a demanda e a capacidade são iguais, para isso deve-se saber a soma das demandas e das capacidades. A fórmula utilizada é apresentada na figura 3.2, sua explicação pode ser vista no apêndice B.

Figura 3.2 - Somatório das capacidades e demandas

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1		PV 1	PV 2	PV 3	PV 4	PV 5	PV 6	PV 7	PV 8	PV 9	Capacidade	
2	PR 1	11	13	12	13	14	15	6	16	12	1	
3	PR 2	12	19	20	13	20	6	10	13	19	1	
4	PR 3	17	17	13	16	5	6	13	6	17	1	
5	PR 4	11	17	3	20	4	4	9	14	13	1	
6	PR 5	16	14	11	17	9	15	3	9	8	1	
7	Demanda	1	1	1	1	2	1	1	1	1		=SOMA(B7:J7)
8											=SOMA(K2:K6)	

Fonte: elaborada pelo autor

Com o resultado obtido nas células soma da capacidade sendo cinco e na soma da demanda 10, temos que a demanda e a capacidade são iguais, já que por determinação da variável de turnos para que a quantidade seja igual à demanda deve ser o dobro da capacidade, não tendo necessidade de nenhum ajuste.

Tendo feito essa conferência entramos na restrição de demanda. Como dito anteriormente a demanda é dada pela empresa e com base na tabela 3.3 se obtém esse valor. Considerando Dj iguala a demanda do PVj temos:

$$D_j = \sum_{j=1}^{8} X_{ij} \leq S_i \; (i = 1, \dots, 5)$$

Utilizando um exemplo prático aplicado ao caso em questão se tem para a demanda do PV1

$$D_1 = X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} = 1$$

Para a determinação das variáveis de capacidade de cada promotor temos que todas são iguais a dois, assim:

$$\sum_{i=1}^{5} X_{ij} \geq d_j \ \ (j = 1, \dots, 9) = 2$$

Para a aplicação no MS Solver vai-se considerar apenas a alocação no período da manhã no primeiro momento, assim será criada uma demanda virtual que será a quantidade de promotores demandados no período do turno, a demanda referente ao dia completo será chamada de demanda real, assim, lojas que possuem demanda real igual a um e dois, terão demanda virtual igual a um, lojas que tem demanda real de três e quatro, terão demanda virtual igual a dois. No segundo momento iremos adicionar o turno da tarde.

Tabela 3.7 - Relações entre demandas

Demandas		
Real	**Manhã**	**Tarde**
1	1	0
2	1	1
3	2	1
4	2	2

Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Tendo as distâncias e as restrições sido feitas montamos o modelo de resolução no MS Excel.

Figura 3.3 - Modelo de resolução no MS Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
9		PV1	PV2	PV3	PV4	PV5	PV6	PV7	PV8	PV9	Enviado	Capacidade
10	PR1										0	1
11	PR2										0	1
12	PR3										0	1
13	PR4										0	1
14	PR5										0	1
15	Recebido	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
16	Demanda Real	1	1	1	1	2	1	1	1	1		
17	Demanda Virtual	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
18												
19								Custo TT	0			

Autor: Elaborada pelo próprio autor

A função objetivo foi colocada na célula I19 e foi feita usando a fórmula SOMARPRODUTO, que consiste da sintaxe (Matriz1;Matriz2), onde as matrizes selecionadas são as matriz de distância promotor x Ponto de venda, que pode ser vista na figura 3.8, e a matriz em que os resultado serão mostrados, na linha Recebido, que representa a demanda recebida pelo PV, foi utilizada a fórmula SOMA, sendo somado o intervalo B10:B14, para o PV1, sendo feitas as devidas adaptações para os demais pontos de venda. Na coluna Enviado foi utilizada a fórmula SOMA, sendo somado o intervalo B10:J10, representando a capacidade enviada por cada promotor.

Dessa forma o modelo de otimização no MS Solver para a alocação na parte da manhã pode ser visualizado na figura 3.9.

O modelo matemático formal para a distribuição na parte da manhã aplicado no solver será:

$$Min\, Z = \sum_{j=1}^{9} \sum_{i=1}^{5} C_{ij}\, X_{ij}$$

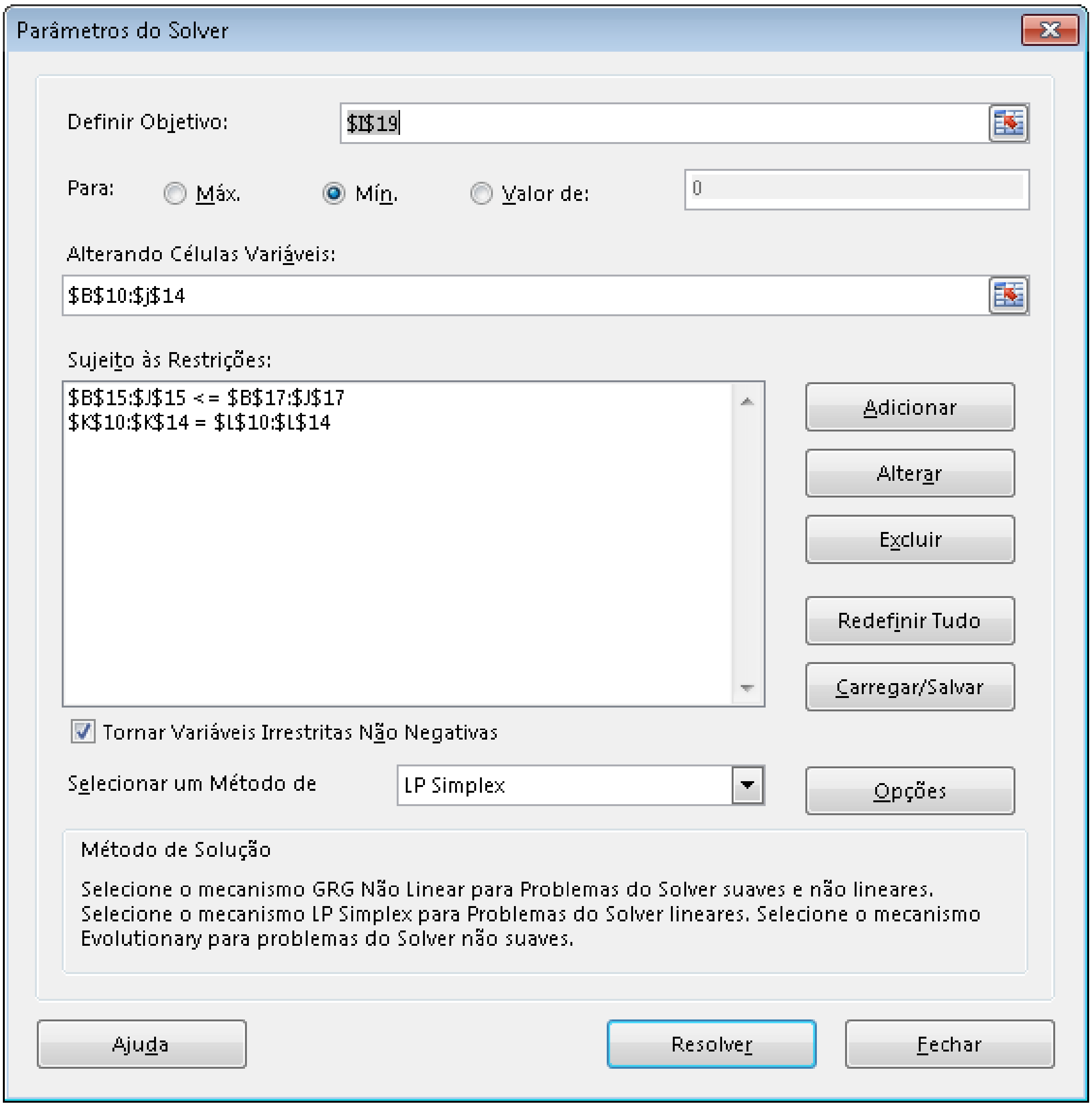
Onde as restrições de fornecimento e demanda serão respectivamente:

$$\sum_{j=1}^{9} X_{ij} = S_i \; (i = 1, \dots, 5)$$

$$\sum_{i=1}^{5} X_{ij} \leq D_j \; (j = 1, \dots, 9)$$

Onde Si é a quantidade fornecida e Dj a demanda.

Figura 3.4 – Modelo turno manhã elaborado no MS Solver



Fonte: elaborado pelo próprio autor

Com o modelo aplicado obtemos a otimização na alocação dos promotores no turno da manhã, com base nesse resultado se precisa criar outra matriz distância. Usando a matriz distância Ponto de vendas x Ponto de vendas, figura X, criamos a matriz Alocação 1 x Alocação 2, que tem a distância do primeiro posto em que o promotor foi alocado em relação às segundas opções, onde este poderá ser alocado na parte da tarde. A matriz pode ser vista na figura 3.5.

Figura 3.5 - Matriz Alocação 1 x Alocação 2

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
21		**PV 1**	**PV 2**	**PV 3**	**PV 4**	**PV 5**	**PV 6**	**PV 7**	**PV 8**	**PV 9**
22	**PR 1**	x	11	15	13	x	14	13	6	12
23	**PR 2**	20	12	6	19	x	x	13	10	19
24	**PR 3**	13	17	6	17	x	5	16	13	17
25	**PR 4**	3	11	x	17	x	4	20	9	13
26	**PR 5**	11	16	15	14	x	9	x	3	8

Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Os números são obtidos pela fórmula presente na figura 3.6.

Figura 3.6 - Fórmula matriz de distância alocação 1 x Alocação 2

```
=SE(I$28=2;"x";SE(ÍNDICE($I$11:$L$14;CORRESP(ÍNDICE($I$17:$L$17;1;CORRESP(1;
$I18:$L18;0));$H$11:$H$14;0);I$26)=0;"X";ÍNDICE($I$11:$L$14;CORRESP(ÍNDICE(
$I$17:$L$17;1;CORRESP(1;$I18:$L18;0));$H$11:$H$14;0);I$26)))
```

Fonte: Elaborada pelo próprio autor

A fórmula consiste em encontrar o número da coluna em que o promotor foi alocado, com base nesse número dizer em qual ponto de venda, com base nisso dizer em qual linha o ponto de venda se encontra na matriz distância ponto de venda e com isso mostrar o resultado daquela linha específica, para que não traga a distância 0 que estará no resultado em que diz a distância da loja em relação a ela mesma o resultado mostrado será "X", o mesmo acontece se o PV em questão tiver demanda de 2 ou 4 e já tiver sido alocado na aplicação do primeiro modelo, pois o promotor alocado ali irá passar todo o dia no mesmo posto de trabalho.

Para isso foram usadas três fórmulas: SE, em que a sintaxe consiste em (teste lógico; [Valor se verdadeiro]; [Valor se falso]); ÍNDICE, em que a sintaxe consiste em ÍNDICE(matriz; núm_linha; [núm_coluna]) e CORRESP em que a sintaxe é (valor_procurado; matriz_procurada; [tipo_correspondência]).

Tendo como base a matriz distância recém elaborada é montado o segundo modelo no MS Excel.

Figura 3.7 – Modelo turno tarde de resolução no MS Excel

B38 =SEERRO(SE(PROCV("x";B22:B26;1;0)="X";0);1)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
30		PV 1	PV 2	PV 3	PV 4	PV 5	PV 6	PV 7	PV 8	PV 9	Enviado	Capacidade
31	PR 1										0	1
32	PR 2										0	1
33	PR 3										0	1
34	PR 4										0	1
35	PR 5										0	1
36	Recebido	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
37	Demanda Real	1	1	1	1	2	1	1	1	1		
38	Demanda Virtual	0	1	0	1	0	0	0	1	1		
39												
40								Custo TT	0			

Fonte: Elaborada pelo próprio autor

A demanda virtual do modelo é calculada pela fórmula acima, que consiste em procurar na matriz Alocação 1 x Alocação 2 (Figura 3.5), com a fórmula PROCV, o caractere "X" na coluna em questão, caso o encontre significa que a loja já tem promotor alocado, logo a demanda passa a ser zero, fórmula SE.

O modelo matemático formal para a distribuição na parte da tarde será:

$$Min\ Z = \sum_{j=1}^{9}\sum_{i=1}^{5} C_{ij}\, X_{ij}$$

Onde as restrições de fornecimento e demanda serão respectivamente:

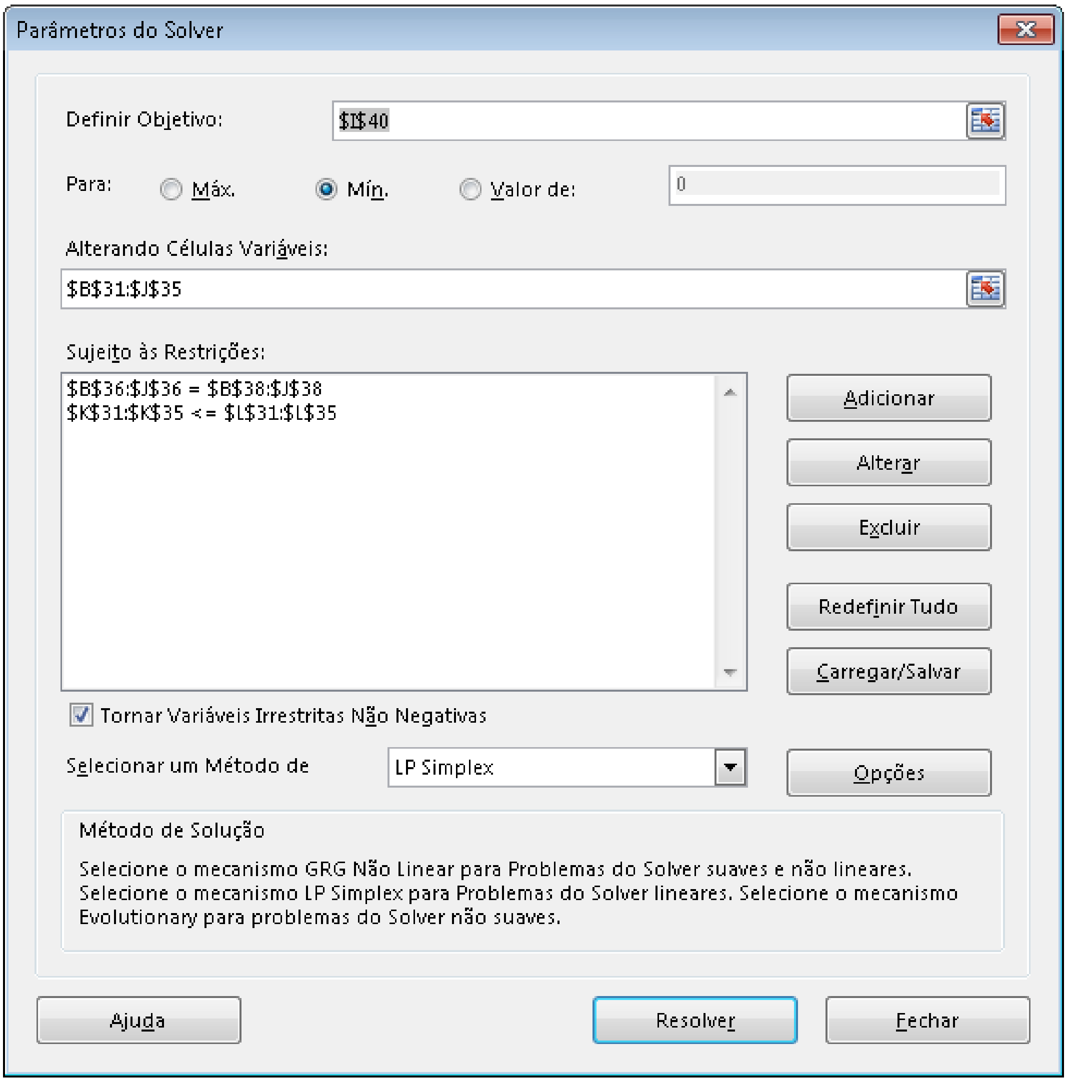
$$\sum_{j=1}^{9} X_{ij} \leq S_i\ (i = 1, \ldots, 5)$$

$$\sum_{i=1}^{5} X_{ij} = D_j\ \ (j = 1, \ldots, 9)$$

Onde Si é a quantidade fornecida e Dj a demanda.

Dessa forma o modelo de otimização no MS Solver para a alocação no período pode ser visualizado na figura 3.8.

Figura 3.8 – Modelo turno tarde elaborado no MS Solver



Fonte: elaborado pelo próprio autor

Com a aplicação dos modelos o resultado obtido pode ser visto na tabela 3.4, tendo o custo de 28km na parte da manhã e 41km na parte da tarde, um total diário de 69km.

Tabela 3.8 – Alocação do modelo teste

	Manhã	**Tarde**	**Total**
PV 1	PR 1		PR 1
PV 2		PR 2	PR 2
PV 3	PR 4		PR 4
PV 4		PR 1	PR 1
PV 5	PR 3	PR 3	PR 3
PV 6	PR 2		PR 2
PV 7	PR 5		PR 5
PV 8		PR 5	PR 5
PV 9		PR 4	PR 4

Fonte: elaborado pelo próprio autor

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Aplicação do Modelo em um Caso Real

Diante das análises realizadas na seção anterior sobre o modelo de resolução proposto para o problema pode-se concluir que o mesmo seja suficiente e viável para aplicação em um caso real. Desse modo foi escolhida uma empresa do ramo de vendas de bebidas para que o estudo de caso fosse realizado e desse modo a aplicabilidade do método e os demais pontos de melhoria de gestão citados na introdução deste trabalho fossem comprovados de maneira prática.

A empresa em questão trabalha com todo o processo que envolve a venda do seu insumo, ou seja, desde o setor de distribuição a negociação com o cliente. É importante ressaltar que a empresa vende BtB, ou seja o cliente da mesma não é o consumidor final. A área de atuação que foi escolhida pelo presente trabalho foi a de execução de Trade Marketing que é responsável pela organização dos produtos vendidos pela empresa dentro da loja cliente, que será a responsável por vender o produto ao consumidor final.

O setor escolhido conta com trabalhadores que devem ser alocados em cada cliente de forma que o mesmo seja organizado e abastecido da forma adequada, assim a quantidade e o tempo de permanência de colaboradores alocados irá depender de fatores como tamanho, fluxo de consumidores e volume de compra do cliente, fatores esses que variam de mês a mês. Outros pontos que devem ser levados em conta durante uma nova disposição de colaboradores em lojas é o desligamento ou contratação dos mesmos e a performance exigida por determinado cliente não corresponder a realidade do colaborador.

Figura 3.9 – Localização promotores e pontos de vendas

Fonte: elaborado pelo próprio autor

Deste modo o foco do trabalho irá ser na alocação da mão-de-obra necessária nesse setor, mas precisamente na cidade de Fortaleza. Atualmente a empresa conta com 60 colaboradores nessa função, trabalhando dois turnos por dia, manhã e tarde, e um total de 80 pontos de vendas com possibilidade de alocação, a localização do local em que esses promotores moram e dos pontos de venda pode ser vista na figura 3.9. Esses colaboradores são alocados pelos supervisores dentro da demanda de cada ponto de venda tanto na perspectiva de quantidade, quanto na de turno. Assim, reforça-se a importância e a necessidade de uma gestão minuciosa sobre o processo de alocação. O modelo pretende realizar isso de maneira simples, rápida e a baixo custo.

4.2 Identificação das Restrições

O modelo apresentado na seção três não apresentava os valores necessários para a aplicação prática, pois foi elaborado para simular o atendimento das restrições, assim se faz necessário alterar esses valores. As variáveis serão novamente identificadas com os respectivos valores práticos afim de que aja essa correção.

Como representarão se o funcionário trabalha ou não durante um determinado turno específico as variáveis de decisão continuarão binárias. No entanto os valores referentes sobre a quantidade de funcionários e pontos de vendas serão diferentes.

Primeiramente em relação a quantidade de funcionários, identificado por i, que eram cinco, será, agora 60, e em relação ao número de pontos de vendas identificado por j, que eram nove, será, agora 80. Como esse número pode variar de mês para mês então o modelo será desenvolvido de forma que se torne fácil ao usuário alterar essas variáveis e utilizar o modelo mesmo que não tenha conhecimento sobre pesquisa operacional.

A representação das variáveis de decisão seriam então:

$$A_{ij} = \begin{matrix} 1, se\ colaborador\ i\ trabalhar\ na\ loja\ j \\ 0, caso\ contrário \end{matrix}$$

Em que *i = (1…60) e j = (1…80).* Isso representa um total de quatro mil e oitocentas, 4.800, variáveis de decisão no modelo. Diante dessa grandeza pode-se atestar a necessidade de um modelo computacional para a solução, uma vez que seria praticamente impossível a resolução manual.

A função-objetivo mantém-se a mesma da incialmente apresentada, apenas com as adaptações levantadas acima. Logo, para o período da manhã:

$$Min\ Z = \sum_{j=1}^{60} \sum_{i=1}^{80} C_{ij}\, X_{ij}$$

Onde as restrições de fornecimento e demanda serão respectivamente:

$$\sum_{j=1}^{80} X_{ij} = S_i\ (i = 1, \dots, 60)$$

$$\sum_{i=1}^{60} X_{ij} \geq d_j\ \ (j = 1, \dots, 80)$$

Para o período da tarde teve-se uma alteração, pois surgiu a necessidade de se alterar a demanda para que promotores que já estivessem sido alocados no período da manhã não o fossem no período da tarde, essa modificação foi feita por meio de formulas do MS Excel. O Modelo ficou com a seguinte estrutura:

$$Min\ Z = \sum_{j=1}^{60} \sum_{i=1}^{80} C_{ij}\, X_{ij}$$

Onde as restrições de fornecimento e demanda serão respectivamente:

$$\sum_{j=1}^{80} X_{ij} = S_i \; (i = 1, \dots, 60)$$

$$\sum_{i=1}^{60} X_{ij} = d_j \;\; (j = 1, \dots, 80)$$

Modeladas as variáveis de decisão e a função objetiva, será demonstrado como as restrições são aplicadas ao modelo.

Como foi dito anteriormente a quantidade de promotores e pontos de vendas é mutável de mês a mês, assim se torna obrigatório que o modelo possa variar no número de variáveis sem dificuldade para o usuário, fato importante também para que o mesmo possa ser usado dentro de outros estados e não apenas em Fortaleza como demostra o presente trabalho.

Assim, para que isso possa ser feito as alterações necessárias nas fórmulas foram feitas, para isso foi introduzido uma tabela em que o usuário pudesse colocar o número de funcionários a serem alocados pelo modelo.

Figura 4.1 - Quadro para alteração no número de promotores e lojas

Nº de promotores	Nº de lojas
60	80

Fonte: elaborado pelo próprio autor

Por meio do número alocado torna-se possível variar o intervalo a ser usado, utilizando a fórmula do MS Excel INDIRETO, como pode ser visto abaixo:

Figura 4.2 - Intervalo a ser usado pela fórmula INDIRETO

intervalo promotores	'Base de promotores'!$B$3:D	62	'Base de promotores'!$B$3:$D$62
Intervalo lojas	'Base de lojas'!$B$3:D	82	'Base de lojas'!$B$3:$D$82

Fonte: elaborado pelo próprio autor

No exemplo acima pode-se ver na figura 4.2 o intervalo que irá variar de acordo com as quantidades a serem colocadas pelo usuário, onde na terceira coluna temos o número que irá variar de acordo com essa quantidade e na quarta o intervalo final, esses intervalos foram respectivamente nomeado de “intervaloPR” e “intervaloPV”, para facilidade de uso. No anexo 3 se tem a aplicação da fórmula de Harvesine usada nos cálculos da distância das residências dos promotores até o posto de trabalho, já com a formula INDIRETO referenciando s intervalos citados.

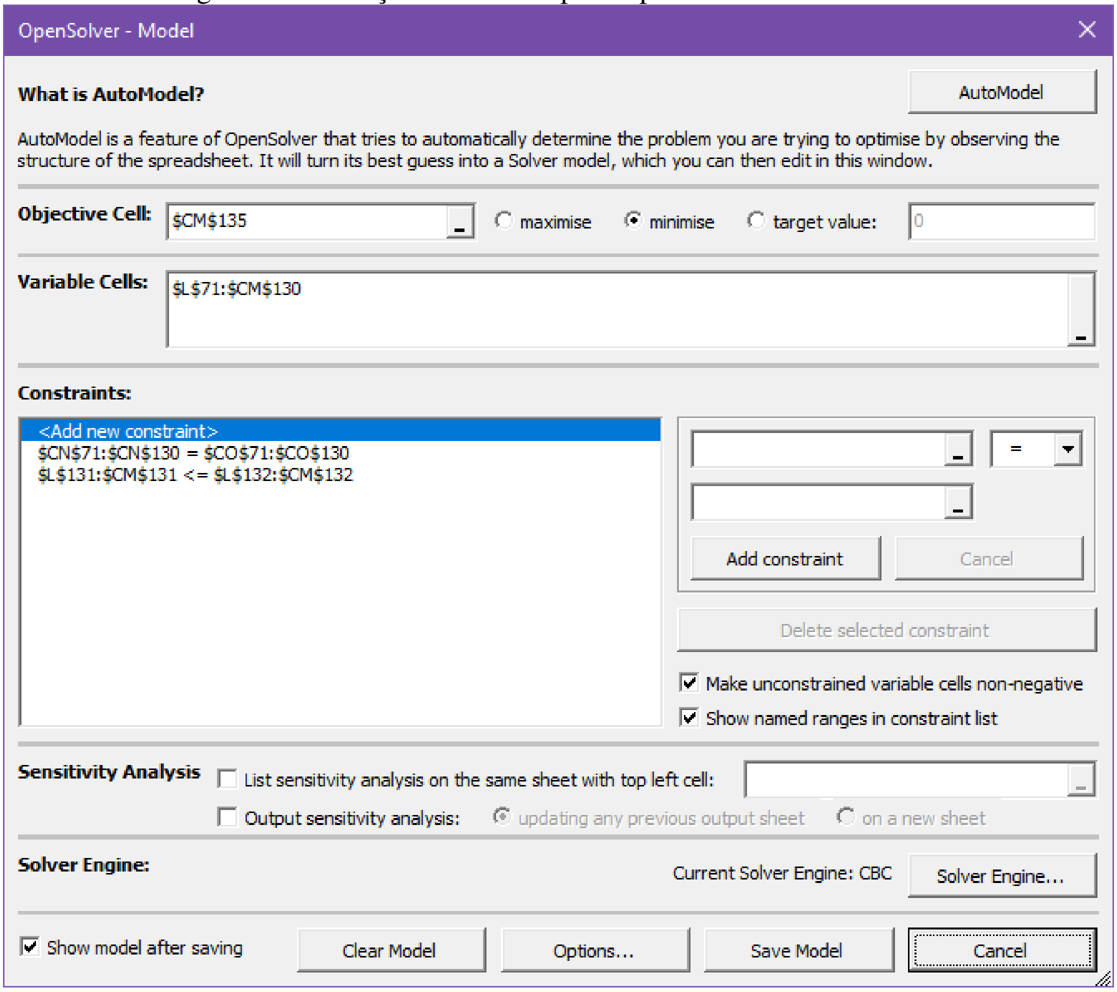
Esses conceitos foram introduzidos em todas as tabelas utilizadas, assim, o usuário final deverá apenas ter o conhecimento básico de solver para utilização do modelo.

As restrições referentes a demanda e a capacidade permanecerão as mesmas, assim como o conceito de demanda real e demanda virtual.

4.3 Elaboração da alocação

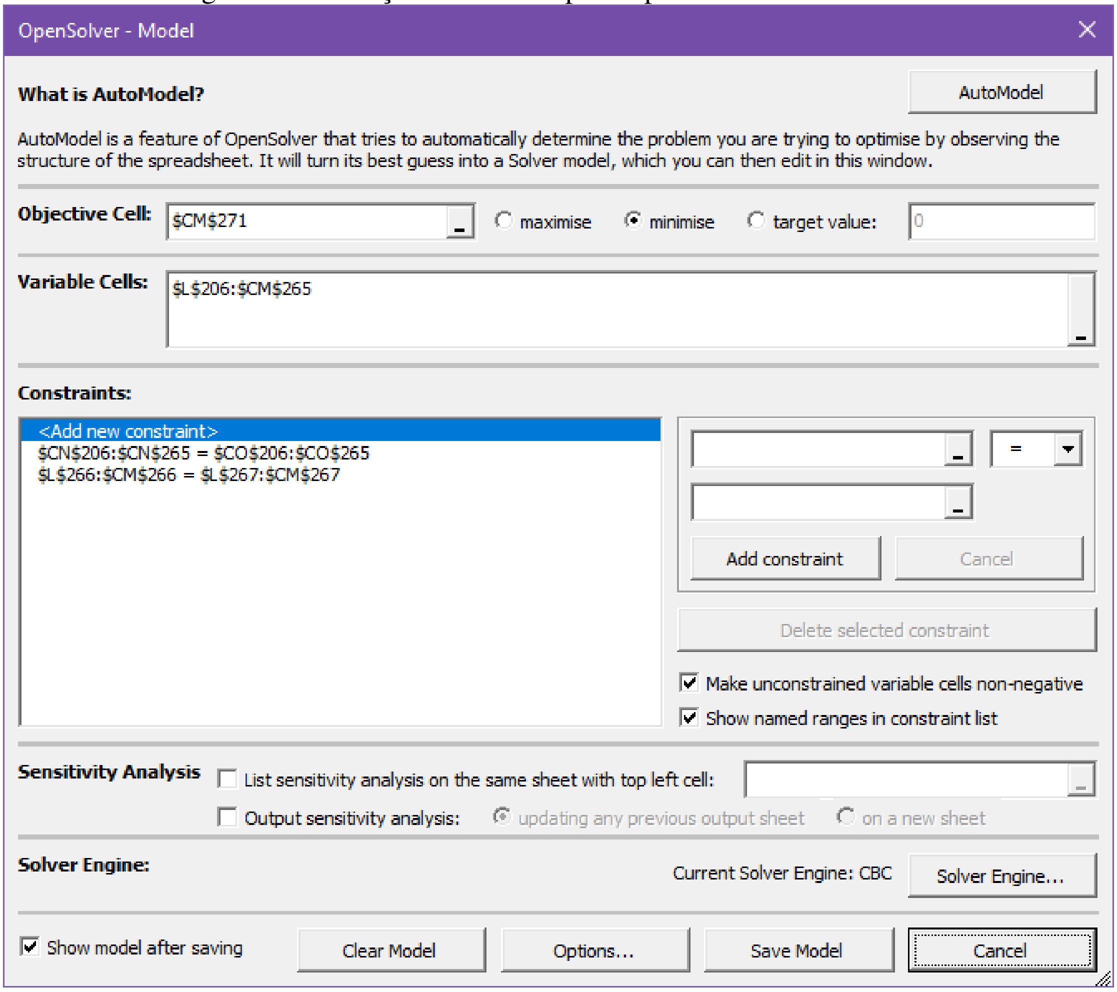
Definidas todas as alterações necessárias, juntamente com a modelagem do modelo, função-objetivo, variáveis de decisão, restrições e a construção das matrizes de distância, esse está pronto para rodar. O modelo será rodado no OpenSolver, uma vez que supera o limite máximo de variáveis permitidas pelo suplemento Solver. Utilizando um computador Intel® Core™ i5-5200U com 2,20GHz e 8 GB (Giga*byte*) de memória RAM (*Random Access Memory*) o programa demorou por volta de 12 segundos para encontrar a solução na primeira aplicação do sistema e mais 12 segundos para segunda, totalizando um total de 24 segundos. Para o número de promotores e de lojas do mês estudado foi encontrada uma alocação viável observada na tabela 4.1.

Figura 4.3 – Solução encontrada pelo OpenSolver – Turno manhã



Fonte elaborado pelo próprio autor

Figura 4.4 – Solução encontrada pelo OpenSolver – Turno Tarde



Fonte elaborado pelo próprio autor

Tabela 4.1 – Alocação final com método proposto

	Manhã	Tarde	Real
PV1	PR2		1
PV2	PR12		1
PV3	PR16		1
PV4	PR54		1
PV5	PR40		1
PV6	PR1		1
PV7	PR55		1
PV8	PR37		2
PV9	PR27		1
PV10	PR57		2
PV11	PR8		1
PV12	PR7		1
PV13	PR42		2
PV14	PR15		2
PV15	PR18		1
PV16	PR24		1
PV17	PR31		1

PV18	PR5			2
PV19	PR45			1
PV20	PR44			1
PV21	PR20			1
PV22	PR46			1
PV23	PR36			2
PV24	PR47			1
PV25	PR53			1
PV26	PR13			2
PV27	PR4			2
PV28	PR30			2
PV29	PR38			2
PV30	PR56			2
PV31	PR39			2
PV32	PR25			2
PV33	PR6			2
PV34	PR11			2
PV35	PR48			2
PV36	PR35			2
PV37	PR51			2
PV38	PR34			2
PV39	PR14	PR50		4
PV40			PR55	1
PV41			PR47	1
PV42			PR9	1
PV43			PR13	1
PV44	PR9	PR43		4
PV45			PR2	1
PV46	PR3			2
PV47			PR41	1
PV48			PR17	1
PV49			PR54	1
PV50	PR23			2
PV51			PR8	1
PV52			PR56	1
PV53	PR58			1
PV54			PR45	1
PV55	PR28	PR32		4
PV56			PR21	1
PV57			PR28	1
PV58			PR46	1
PV59			PR25	1
PV60			PR32	1
PV61			PR19	1

PV62			PR59	1
PV63			PR48	1
PV64	PR33			2
PV65			PR3	1
PV66			PR11	1
PV67			PR18	1
PV68	PR26			2
PV69			PR20	1
PV70			PR53	1
PV71			PR23	1
PV72	PR60			2
PV73	PR29	PR41		4
PV74	PR21	PR49		4
PV75	PR52			1
PV76	PR17			1
PV77	PR22			1
PV78	PR10			1
PV79	PR59			2
PV80	PR19			1

Fonte elaborado pelo próprio autor

A solução encontrada pelo modelo possui um custo de 159 na parte da manhã e 214 na parte da tarde, totalizando 373, que representa o somatório de quilômetros a ser percorrido por todos os promotores durante um dia de trabalho, o método tradicional fornecia uma distância total de 550 quilômetros (Calculada pela fórmula de Haversine). Assim pelo método proposto teve-se a diminuição de 177 quilômetros, uma média de 3,54 quilômetros por promotor. Pode-se perceber que todas as restrições e demandas foram atendidas, tendo assim um resultado perto do ótimo, que somente não foi alcançado devido a necessidade de se rodar o Opensolver duas vezes e não uma.

Figura 4.5 – Comparação resultados modelo proposto e tradicional

	Quilometragem total	**Tempo para elaboração**
Método tradicional	550 km	4 horas
Método proposto	373 km	30 minutos e 12 segundos
Diferença	177 km	3 horas, 29 minutos e 48 segundos
Diferença Percentual	-32%	-87%

Fonte elaborado pelo próprio autor

Com o modelo aplicado o mesmo foi analisado pelos supervisores responsáveis pelo processo, porém nenhuma adequação precisou ser feita. O tempo para a elaboração total da alocação teve um considerável aumento devido ao tempo de análise dos supervisores. Considerando que o tempo gasto foi de trinta, 30, minutos para todo o processo de análise, somando-se os 12 segundos gastos para a elaboração da alocação inicial tem-se um total de 30 minutos e 12 segundos. Tendo-se que o tempo utilizado por métodos tradicionais era de aproximadamente 4h, para uma escala feita sem nenhum promotor alocado é possível ver que o tempo encontrado é muito menor. Representando aproximadamente 12,6% do tempo total anterior

4.4 Comparação de Métodos

Ao se analisar o método tradicional podemos ressaltar algumas características:

a) a alocação realizada pelo método tradicional abrange todas as restrições e demandas envolvidas no processo, além de que não se precisa fazer as alterações após o desenvolvimento, porém, não existe preocupação com a qualidade de deslocamento do funcionário em primeira instância, o que pode contribuir para que o trabalho durante o dia seja afetado, além de não contribuir para a satisfação pessoal do mesmo;
b) no método tradicional a alocação é feita sempre pelo supervisor, quatro ao total, responsável pelo time, onde cada um cria, os seus próprios critérios de alocação, logo, quando algum supervisor sai e outro assume o lugar o sistema muda e novos meios de se fazer esse trabalho são utilizados. Com isso não há uma linha de evolução do processo, onde o mesmo não é continuado e sempre está volta ao estado de estudo inicial;
c) apesar de todas as restrições serem atendidas no método tradicional os promotores com frequência pedem alterações durante o mês ou surgem necessidades pontuais que provocam mudanças no decorrer do mesmo, devido o processo ser manual e não se ter o controle de custos ou qualquer indicadores não há como haver a predição dessas mudanças ou margem de erro, algo importante de se ter, uma vez que os supervisores tem uma meta mensal que mede a eficiência desse processo, vendo apenas se o ponto de

venda está ou não com o número de colaboradores associados conforme o planejado;

d) foram gastas aproximadamente quatro horas para fazer a alocação de modo que todas as restrições fossem atendidas;

e) o custo total de alocação pelo método tradicional é de 550 quilômetros de distância, porém essa variável não foi considerada como prioridade, uma vez que se dá prioridade a promotores que já estavam alocados naquele posto nos meses anteriores.

A primeira análise a ser realizada é referente a qualidade da alocação. No método tradicional não há a preocupação com esse quesito em primeira instância, pois, busca-se atingir todas as restrições de demanda e capacidade, tendo em mente a distribuição prioritária de promotores que não podem ser alocados em determinados pontos de vendas, e também visando dá continuidade a alocações já feitas nos meses anteriores, mesmo que entrem ou não novos colaboradores. Fazendo uma breve análise e entrevista com os gerentes da área foi possível ver que a alguns anos essa alocação foi feita tendo em mente priorizar o menor deslocamento, porém, com as mudanças de lojas e entrada ou saída de funcionários esse conceito se perdeu. Com a aplicação do modelo proposto essa distribuição poderá ser constantemente revisada de maneira fácil e rápida sempre que houver qualquer mudança na base de postos de trabalho ou funcionários.

Outro ponto a ser comparado é a gestão da alocação. Cada Supervisor faz a alocação do seu time de promotores sem levar em consideração os demais. Como dito anteriormente na cidade de Fortaleza há quatro supervisores, em que os 60 promotores são distribuídos, assim mesmo que cada supervisor ache a melhor alocação possível para o seu time, essa não será a locação ótima, pois apenas um terço dos colaboradores estarão sendo levados em consideração. No método proposto a alocação é vista como um todo, sem levar em consideração os supervisores, o que faz com que em um espectro maior os promotores possam receber a melhor alocação possível.

Outro ponto a ser considerado dentro da gestão da alocação é a evolução do método. Uma vez que cada supervisor se dispõe a criar seu método e isso não é passado adiante esses métodos estarão sempre em estado inicial e não será possível criar indicadores unificados que sirvam para todos os métodos, afim de avaliar a eficiência de cada um e melhorias em pontos mais deficientes possam ser sugeridos. Com a aplicação do método proposto esse cenário muda, uma vez que o mesmo será aplicado ao time como um todo e não apenas ao cenário de um único supervisor, como dito anteriormente, assim poderão ser criados meios de avaliar o desempenho e a dispersão da alocação planejado em relação à real.

Em relação ao tempo de elaboração dos métodos podemos ver uma grande evolução no que se diz respeito ao tempo total. Como dito o tempo de alocação tradicional é de aproximadamente quatro horas e do método proposto é de 30 minutos e 12 segundos o que representa uma redução de 12,6%. Parte desse tempo pode ser devolvido ao processo de modo que melhorias sejam propostas e o método melhorado, além de que esse tempo pode ser usado também para está em contato com os promotores de modo a ressaltar as melhorias do processo e estes possam opinar sobre o mesmo.

No que tange ao custo referente as alocações temos que o método tradicional teve um custo de 550 quilômetros de distância e o método proposto um custo de 373, uma diferença de 32%, o que representa uma grande variação, principalmente se levarmos em conta a satisfação dos funcionários que será acrescida com essa redução, além dos custos com transporte que são fornecidos pela empresa.

Os ganhos com a aplicação do modelo proposto são muitos, como demostrados acima e justificam a implantação do mesmo. Com a padronização e informatização do processo se torna possível ter a gerência do mesmo, em detrimento ao método tradicional, tornando assim ser possível tomar decisões mais claras e coesas com o uso dos indicadores que serão possíveis e o tempo que será ganho no processo.

4.5 Limitações e melhorias no modelo

Com a implementação do modelo em um caso real é realizada a comparação com o método utilizado anteriormente pela companhia se torna possível analisá-lo criticamente, apontando limitações, melhorias e como corrigir tais pontos.

A primeira limitação vista no modelo é de não poder solucionar o modelo com apenas uma aplicação do solver, o que faz com que a resolução tenha um custo reduzido, porém não seja ótima. Devido a variação de turnos se torna inviável a resolução por apenas uma função objetivo, já que as distâncias para o segundo posto de trabalho serão diferentes e outra matriz distância deverá ser utilizada, porém isso não desqualifica o método que comprovou-se ser mais eficiente que o aplicado tradicionalmente.

Uma segunda limitação são as adaptações manuais que devem ser feitas pós aplicação do método proposto, pois, como dito anteriormente são de cunho empírico e não podem ser limitadas na função objetivo. Devido a alguns colaboradores não poderem ser alocados em determinados postos de trabalho por questões pessoais essa adaptação deve ser vista fora a parte do modelo proposto o que torna o tempo de aplicação maior, o que não acontece no método tradicional que já leva em consideração essa peculiaridade, porém, ao compararmos o os dois métodos o método proposto apresenta um tempo total menor.

Apesar de que com a adaptação do modelo para o caso real a variação na quantidade de promotores e postos de trabalho ser abrangida, ainda assim se torna fundamental ao operador do sistema ter um mínimo de conhecimento no suplemento Solver o que poderia ser evitado com a programação em VBA no próprio software MS Excel, ponto que pode ser visto como melhoria para uma futura adaptação e evolução da aplicabilidade do modelo.

Outra melhoria que pode ser implementada é a ampliação da aplicação para toda a área em que isso ocorre, além do Ceará, os estados do Rio Grande do Norte, Maranhão, Piauí e Pará, em um primeiro momento, pois é a área que abrange a regional da filial avaliada durante o presente estudo e que todas as restrições se repetem, com a aplicação comprovada dentro da mesma o método poderia ser avaliado e se viável aplicado no âmbito nacional.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O método utilizado buscou o desenvolvimento de um modelo que alocasse de maneira ótima os funcionários dentro de um conjunto de postos de trabalho, tendo em consideração o conjunto de restrições identificadas. O modelo se mostrou aplicável no caso real apresentado, mostrando um resultado melhor do que o utilizado tradicionalmente pela empresa em questão, quando considerado o percurso percorrido pelo funcionário para se chegar ao posto de trabalho, a satisfação dos mesmos e o tempo envolvido no processo.

É importante incorporar ao processo as melhorias citadas e indicadores para medir a eficiência dessa alocação, como, o grau de satisfação do funcionário, nível de serviço do funcionário pós-alocação, adequação ao funcionário a loja, etc. e relacionar essa alocação a indicadores já existentes. Com a diminuição do tempo envolvido no processo os supervisores poderão propor melhorias à metodologia de modo que o processo evolua ainda mais.

Apesar de ter limitações o modelo se demostra eficaz e apresenta melhorias quando o relacionamos com o método tradicional aplicado da empresa. As limitações apresentadas podem ser contornadas com uma programação VBA melhorada do modelo, o que deve ser feito em seguida a aplicação do mesmo. A incorporação de novas metodologias e ferramenta de gestão também se mostra como ponto de partida para melhorias futuras, de modo que o modelo sempre se mantenha atua e retrate cada vez mais as especificidades do problema.

Finalmente, é importante ressaltar a importância do presente estudo para o meio empresarial. Muitos gestores continuam aplicando métodos tradicionais e embasados em fundamentação empírica, principalmente em empresas de menor porte, contribuindo para a disparidade crescente destas em relação a empresas que optam por aplicar conceitos atuais para tomadas de decisões. É importante buscar a proximidade das companhias a academia e que essas procurem se manter atuais em um cenário de tanta competitividade. Assim trabalhos como este buscam tornar publicas metodologias aprendidas em sala de aula, para que muitos possam usufruir desse conhecimento.

6. REFERÊNCIAS

ARENALES, Marcos; YANASSE, Horacio Hideki; MORABITO, Reinaldo; ARMENTANO, Vinícius Amaral. **Pesquisa Operacional.** Rio de Janeiro, Elsevier, 2007.

BRONSON, Richard. NAADIMUTHU, Govindasami. **Schaum's Outline of Operations Research.** 2 ed. McGraw-Hill, Inc. 1997.

FOGLIATTO, F. **Pesquisa Operacional (Apostila).** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. [S.l.], p. 271. 2009. Disponível em: <http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/disciplinas/382_po_apostila_completa_mais_livro.pdf> Acesso em: 20 de outrubro de 2018.

Fórmula de Haversine. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=F%C3%B3rmula_de_Haversine&oldid=49794500>. Acesso em: 24 de novembro de 2018.

HILLIER, Frederick S.; LIBERMAN, Gerald J. **Introdução à Pesquisa Operacional.** 3 ed. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, 1988.

LOESCH, Claudio. HEIN, Nelson. **Pesquisa Operacional:** fundamentos e modelos. São Paulo. Saraiva. 2009.

NOGUEIRA, Fernando. **Programação Linear.** Dsponível em: <http://www.ufjf.br/epd015/files/2010/06/IntrodPL.pdf> Acesso em: 13 de setembro de 2018.

NOGUEIRA, Fernando. **Programação de Designação.** Disponível em: <http://www.ufjf.br/epd015/files/2010/06/problema_de_designacao.pdf> Acesso em: 24 de setembro de 2018.

Pesquisa Operacional em Sistemas I. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/17653401/po1_notas_aula> Acesso em: 15 de outubro de 2018

PUCCINI, Abelardo de Lima; PIZZOLATO, Nélio Domingues. **Programação Linear.** Rio de Janeiro; São Paulo, LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1987.

SCHRIJVER, Alexander. **Theory of Linear and Integer Programming.** Nova Iorque. John Wiley & Sons, Inc. 1986.

SIERKSMA, Gerard. **Linear and integer programming:** theory and practice. Groningen. CRC Press. 2001.

SILVA, Élio Medeiros; SILVA, Ermes Medeiros da; GONÇALVES, Valter; MUROLO, Afrânio Carlos. **Pesquisa Operacional:** programação linear. São Paulo, Atlas, 1995.

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

ZIONTS, Stanley. **Linear and Integer Programming.** New Jersey, Prentice-Hall Inc., 1974.

APÊNDICE A – FÓRMULA DE HAVERSINE APLICADA AO MODELO TESTE.

```
=6371*(ACOS(COS(RADIANOS(90-PROCV($H5;$C$5:$E$6;2;0)))*COS(RADIANOS(90-PROCV(I$4;$C$10:$E$13;2;0)))
+SEN(RADIANOS(90-PROCV($H5;$C$5:$E$6;2;0)))*SEN(RADIANOS(90-PROCV(I$4;$C$10:$E$13;2;0)))
*COS(RADIANOS(PROCV($H5;$C$5:$E$6;3;0)-PROCV(I$4;$C$10:$E$13;3;0)))))*1,15
```

Fonte: elaborada pelo autor

APÊNDICE B – EXPLICAÇÃO DE APLICAÇÃO EM MS EXCEL

A formula SOMA, observada na figura 3.2, encontra-se nas células L7 e K8 e correspondem ao somatório da demanda e da capacidade, respectivamente. A sintaxe da da formula SOMA e (numero1;[numero2];...), onde "numero1" pode ser uma célula a ser somada ou um intervalo, como no caso em questão. Dessa forma temos que a formula que se encontra na célula L7 utiliza o intervalo B7:J7 que abrange todas as demandas e a formula utilizada na célula K8 utiliza o intervalo K2:K6 que abrange todas as capacidades.

APÊNDICE C – APLICAÇÃO DA FÓMULA INDIRETO NA FÓMULA DE HAVERSINE

A fórmula em questão está presente na seção 4, página 40.

```
=SEERRO(6371*(ACOS(COS(RADIANOS(90-PROCV($C6;INDIRETO(intervaloPR);2;0)))*COS(
RADIANOS(90-PROCV(D$4;INDIRETO(intervaloPV);2;0)))
+SEN(RADIANOS(90-PROCV($C6;INDIRETO(intervaloPR);2;0)))*SEN(RADIANOS(90-PROCV(D$4;
INDIRETO(intervaloPV);2;0)))
*COS(RADIANOS(PROCV($C6;INDIRETO(intervaloPR);3;0)-PROCV(D$4;INDIRETO(intervaloPV);
3;0)))))*1,15;"")
```

Fonte: elaborada pelo autor