



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto –UFOP
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas
Colegiado do Curso de Engenharia de Produção



MODELAGEM PARA A DEFINIÇÃO DE TURNOS – EXTENSÃO E NOVAS RESTRIÇÕES

MAYARA ALVES BARREL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

JOÃO MONLEVADE

Dezembro de 2017



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto –UFOP
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas
Colegiado do Curso de Engenharia de Produção



Mayara Alves Barrel

MODELAGEM PARA A DEFINIÇÃO DE TURNOS – EXTENSÃO E NOVAS RESTRIÇÕES

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Engenharia de
Produção da Universidade Federal de
Ouro Preto como parte dos requisitos
para a obtenção de Grau em
Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Xavier Martins

João Monlevade
ICEA – UFOP
Dezembro de 2017



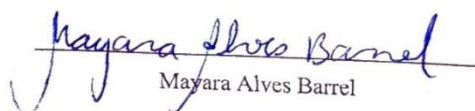
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto –UFOP
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas
Colegiado do Curso de Engenharia de Produção



TERMO DE RESPONSABILIDADE

O texto do trabalho de conclusão de curso intitulado **“MODELAGEM PARA DEFINIÇÃO DE TURNOS – EXTENSÃO E NOVAS RESTRIÇÕES”** é de minha inteira responsabilidade. Declaro que não há utilização indevida de texto, material fotográfico, dados de empresas ou qualquer outro material pertencente a terceiros sem o devido referenciamento ou consentimento dos referidos autores.

João Monlevade, 07 de Dezembro de 2017


Mayara Alves Barrel



ANEXO IV – ATA DE DEFESA

Aos 07 dias do mês de DEZEMBRO de 2017, às 17 horas, na sala B103 deste instituto, foi realizada a defesa do Trabalho de Conclusão de Curso pelo (a) aluno (a) MAYARA ALVES BARREL, sendo a comissão examinadora constituída pelos professores: ALEXANDRE XAVIER MARTINS, MÔNICA DO AMARAL E THIAGO SILVA.

O (a) aluno (a) apresentou o trabalho intitulado: MODELAGEM PARA DEFINIÇÃO DE TURNOS – EXTENSÃO E NOVAS RESTRIÇÕES. A comissão examinadora deliberou, pela:

Aprovação

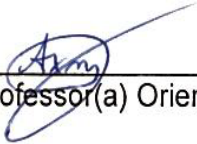
Aprovação com Ressalva - Prazo concedido para as correções:

Reprovação com Ressalva - Prazo para marcação da nova banca:

Reprovação

do(a) aluno(a), com a nota 10,0. Na forma regulamentar e seguindo as determinações da resolução COEP 04/2017 foi lavrada a presente ata que é assinada pelos membros da comissão examinadora e pelo (a) aluno(a).

João Monlevade, 07 de DEZEMBRO de 2017.



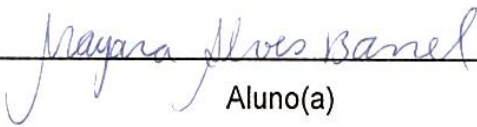
Professor(a) Orientador(a)



Convidado(a)



Convidado(a)



Aluno(a)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto –UFOP
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas
Colegiado do Curso de Engenharia de Produção



AGRADECIMENTOS

Quero agradecer a Deus pela força concedida nesta caminhada.

À minha família, por todo apoio e amor compartilhados comigo, em especial a minha mãe por todo o incentivo.

À República TPM, por ser a minha segunda família em todos esses anos de Universidade.

Ao meu orientador, Alexandre, pela oportunidade de realizar este trabalho, pela sua orientação e suporte.

À Universidade Federal de Ouro Preto e todos os professores pelo conhecimento compartilhado e pelo auxílio.

A todos os meus amigos que estão comigo durante todos esses anos e a todos que de alguma forma contribuíram para essa conquista, o meu muito obrigado!



RESUMO

A utilização da programação de horários vem sendo cada vez mais utilizada para a realização da alocação de funcionários em vários tipos de organizações, com o objetivo de otimizar os recursos e aumentar a produtividade. A finalidade deste trabalho é desenvolver um novo modelo matemático para a programação de horários de turnos de um supermercado, a partir do modelo de Barrel, Moreira e Martins (2017), adicionando novas restrições ao modelo antigo e aumentando o horizonte de tempo de planejamento. O método utilizado é a Programação Linear Inteira modelada no programa Lingo 10.0 em interface ao MS Excel 2013, os dados de entrada registrados no Excel são utilizados pelo Lingo para encontrar a solução ótima do problema e ser apresentada em uma planilha no Excel. O trabalho justifica-se pelo fato do modelo anterior apresentar o resultado apenas para uma semana e não apresentar todas as restrições que podem aumentar a satisfação dos funcionários, fazendo assim, com que a pessoa responsável pela alocação dos funcionários nos turnos de trabalho adequasse de forma manual às outras semanas de planejamento. Foram criadas 12 instâncias para testar o modelo e, como resultados, obtivemos que o tempo de resolução do problema tende a aumentar devido ao número de variáveis do problema e número de funcionários necessários por hora.

Palavras chaves: Programação de horários, Alocação de funcionários em Turnos, Programação Linear Inteira.



ABSTRACT

The use of scheduling has been increasingly used to carry out the allocation of employees in various types of organizations in order to optimize resources and increase productivity. The purpose of this work is to develop a new mathematical model for scheduling shift schedules in a supermarket, from the model of Barrel, Moreira and Martins (2017), adding new restrictions on the old model and increasing planning time horizon. The method used is Integer Linear Programming modeled in the Lingo 10.0 program in interface to MS Excel 2013, the input data recorded in Excel is used by Lingo to find the optimal solution to the problem and be presented in a spreadsheet in Excel. The work is justified by the fact that the previous model presents the result only for one week and does not present all the restrictions that can increase employee satisfaction, so that the person responsible for allocating employees in the work shifts would manually adjust the other weeks of planning. We created 12 instances to test the model, and as a result, we found that the problem resolution time tends to increase due to the number of problem variables and the number of employees required per hour.

Keywords: Scheduling, Allocation of Employees in Shifts, Integer Linear Programming.



LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Exemplo de padrões de turnos.....	19
Tabela 2 – Parâmetros de entrada	19
Tabela 3 – Variáveis de decisão	20
Tabela 4 – Novos padrões de turnos.....	24
Tabela 5 – Parâmetros de entrada do modelo	27
Tabela 6 – Variáveis de decisão do modelo	27
Tabela 7 – Resultados obtidos pelos testes	31



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto –UFOP
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas
Colegiado do Curso de Engenharia de Produção



LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PO Pesquisa Operacional

PL Programação Linear

PLIM Programação Linear Inteira Mista

PPH Problemas de Programação de Horários



Sumário

1	Capítulo 1	10
	1.1 <i>Introdução</i>	10
	1.2 <i>Justificativa</i>	12
	1.3 <i>Objetivos</i>	12
	1.3.1 <i>Objetivo Geral</i>	12
	1.3.2 <i>Objetivos Específicos</i>	12
2	Capítulo 2	13
	2.1 <i>Pesquisa Operacional</i>	13
	2.2 <i>Programação Linear</i>	14
	2.3 <i>Problema de Programação de Horário</i>	15
	2.4 <i>O Estado da Arte para o Problema Específico</i>	18
3	Capítulo 3	22
	3.1 <i>Metodologia</i>	22
4	Capítulo 4	23
	4.1 <i>Desenvolvimento</i>	23
	4.2 <i>Modificando o Modelo</i>	23
	4.3 <i>Aumentando o Horizonte de Planejamento</i>	26
	4.4 <i>Novo Modelo</i>	27
5	Capítulo 5	30
	5.1 <i>Resultados</i>	30
6	Capítulo 6	32
	6.1 <i>Conclusões e Trabalhos Futuros</i>	32
	Referências Bibliográficas	33



1 Capítulo 1

1.1 Introdução

A economia nos últimos anos vem passando por rápido crescimento no setor de serviços e para muitas organizações o custo com os funcionários é o principal componente do custo direto, portanto, é importante reduzir efetivamente o uso dos recursos humanos. A utilização de uma programação de trabalho efetiva pode reduzir os custos com os recursos humanos, melhorar o atendimento e a satisfação dos clientes, além de ter a possibilidade de atender as necessidades dos funcionários, aumentando assim, a sua satisfação em trabalhar na empresa (Pawar; Hanchate, 2013).

O problema estudado trata da programação de horários de turnos de trabalho dos funcionários do setor de limpeza de um supermercado. Essa programação deve ser feita de modo a garantir que todas as restrições do problema sejam atendidas, sendo elas impostas pelas leis trabalhistas ou pelo departamento de recursos humanos da empresa, procurando trazer satisfação aos seus funcionários.

O problema de pesquisa abordado já foi anteriormente estudado através de um modelo matemático proposto por Barrel, Moreira e Martins (2017). Entretanto, esse modelo é formulado para um horizonte de tempo de apenas uma semana, além de não incluir outras restrições pertinentes ao departamento de recursos humanos da empresa.

Dessa forma, o objetivo desse trabalho é modificar o modelo de Barrel, Moreira e Martins (2017) de modo a aumentar o horizonte de planejamento do modelo e incluir novas restrições que satisfaçam ainda mais a necessidade dos funcionários da organização.

O trabalho é composto por seis capítulos disposto da seguinte forma: O primeiro capítulo introduz o problema a ser abordado no trabalho, com a justificativa e seus objetivos. O segundo capítulo faz um estudo do referencial teórico relacionado ao problema estudado, descreve sobre a pesquisa operacional, a programação linear, o problema de programação de horários e os dois trabalhos que estudaram o mesmo problema anteriormente. O próximo capítulo descreve a metodologia utilizada, ou seja, o passo a passo para a realização desse trabalho. O quarto capítulo descreve o desenvolvimento do trabalho, o novo modelo criado e



que foi implementado. O penúltimo capítulo traz os resultados encontrados no trabalho, e por fim, o último capítulo descreve a conclusão do trabalho.



1.2 *Justificativa*

A realização de um trabalho nessa área justifica-se devido às dificuldades enfrentadas pela empresa em montar a escala de horários com um horizonte de tempo maior, pois algumas restrições não estão incluídas no modelo atual utilizado. Por isso, há desperdícios de tempo dos funcionários destinados a essa tarefa, que precisam analisar o resultado do modelo com o horizonte de tempo de uma semana e desenvolver manualmente o escalonamento dos funcionários para a próxima semana.

Com a implementação de novas restrições ao modelo e o aumento do seu horizonte de planejamento espera-se facilitar ainda mais o escalonamento dos funcionários, diminuindo o tempo para a sua realização e reduzindo os erros que possam surgir com o escalonamento sem o uso de um método automatizado.

1.3 *Objetivos*

1.3.1 *Objetivo Geral*

O presente trabalho tem como objetivo aumentar o horizonte de planejamento do modelo de Barrel, Moreira e Martins (2017) e adicionar novas restrições pertinentes a empresa atendendo as especificações das leis trabalhistas.

1.3.2 *Objetivos Específicos*

- ✓ Compreender o problema de programação de horários;
- ✓ Levantamento dos dados necessários para a reformulação do modelo;
- ✓ Adicionar as novas restrições pertinentes ao modelo matemático;
- ✓ Aumentar o horizonte de planejamento do modelo;
- ✓ Aplicação dos dados no software Lingo 10.0 e analisar os resultados obtidos com o novo modelo matemático proposto.



2 Capítulo 2

2.1 Pesquisa Operacional

A pesquisa operacional (PO) surgiu na segunda guerra mundial, devido aos problemas de alocar os recursos disponíveis a grandes quantidades de operações do exercito. Por causa desse impasse, foram recrutados vários cientistas para resolver, de melhor maneira possível, essa dificuldade. Assim, a pesquisa operacional começou a se desenvolver e, após o fim da guerra, com a explosão na indústria, a PO foi aplicada as organizações com objetivo de resolver os seus problemas de complexidade (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

Segundo Hillier e Lieberman (2013) a pesquisa operacional é aplicada a problemas com objetivo de coordenar as atividades de uma organização. Para Rabenschlag (2005) é preciso analisar de todos os lados possíveis do problema para gerar uma solução que seja eficiente para o todo, empregar equipes interdisciplinares para analisar o problema de vários pontos de vistas e, a aplicação das técnicas científicas a estes problemas.

Dessa forma, podemos definir a pesquisa operacional como ramo que estuda, desenvolve e aplica métodos analíticos para auxiliar na tomada de decisões nos mais diversos ramos de atuação humana (SOBRAPO, 2017).

A pesquisa operacional é bastante utilizada para a resolução de problemas reais. Baghalian, Rezapour e Farahani (2012) desenvolveram uma formulação estocástica para projetar uma rede de cadeia de suprimentos com nível de serviço contra interrupção e incertezas, aplicado em uma empresa agroalimentar. Já Silva, Alves e Costa (2011) utilizaram a simulação discreta para determinar sistemas de turnos de trabalhos de operadores de equipamentos agrícolas, em uma usina sucroalcooleira, criando cenários diferentes em busca do melhor resultado para a indústria, de acordo com os requisitos escolhidos. Magatão et al.(2011) usa a programação linear inteira mista para criar um modelo para o balanceamento de uma linha de montagens de cabines de caminhões, em busca de equilibrar a carga de trabalho entre os postos de trabalho e os operadores. Fischetti e Monaci (2017) utilizam a programação linear inteira mista e uma heurística para o reescalonamento de trem em tempo real, quando ocorrem atrasos no cronograma planejado.



2.2 Programação Linear

Uma das várias técnicas da pesquisa operacional é a programação linear (PL), que utiliza modelo matemático para descrever o problema a ser trabalhado, sendo lineares todas as suas funções (HILLIER; LIEBERMAN, 2013; RABENSCHLAG, 2005).

O Objetivo da PL é encontrar a melhor maneira de se produzir e/ou distribuir tendo os recursos limitados, procurando atender um determinado objetivo, expresso pela “Função Objetivo”, uma função linear que leva em consideração o objetivo estabelecido e de cada atividade envolvida no processo em estudo. (DATTA; DEB; FONSECA, 2007 apud SOUZA, 2014).

As “Restrições do Modelo” são relações de interdependência entre as variáveis de decisão, proporção de como cada atividade consome recursos, expressadas em equações ou inequações lineares. (ANDRADE, SCARPIN, STEINER, 2012; BARBOZA, 2005).

Existem várias maneiras de se utilizar os recursos para gerar uma solução viável, porém a PL tem o objetivo de encontrar a melhor maneira de utilizar esses recursos. A “Solução ótima” é a solução que fornece o melhor resultado para a função objetivo. Dessa forma, a PL se encarrega de achar a solução ótima de um problema, uma vez definido o modelo matemático para o mesmo, ou seja, a função objetivo e as restrições. (PAMPLONA; MONTEVECHI, 2005 apud ANDRADE, SCARPIN, STEINER, 2012).

Resumidamente, a programação linear envolve o planejamento de atividades para obter um resultado ótimo, isto é, um resultado que atinja o melhor objetivo especificado entre todas as alternativas viáveis possíveis. (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

Barboza (2005) exemplifica um modelo de Programação Linear que segue abaixo:

Maximize ou minimize

$$z = \sum_{j \in N} c_j x_j, N = \{1, \dots, N\}$$

Sujeito a:

$$\sum_{j \in N} a_{ij} x_j (\leq, = \text{ ou } \geq) b_i, i \in M = \{1, 2, \dots, m\}$$



$$x_j \geq 0, \quad j \in N$$

no qual c_j , a_{ij} e b_i são constantes conhecidas para todo i e j , x_j são variáveis não negativas.

Na Programação Linear Inteira as variáveis do modelo podem assumir números inteiros, limitando a função objetivo e as restrições a esses valores. Já na Programação Linear Binária as variáveis do modelo podem assumir apenas os valores “zero” ou “um”, sendo utilizado em problemas nos quais os recursos em questão só possuem duas alternativas, serem utilizados ou não (ANDRADE, SCARPIN, STEINER, 2012; SOUZA, 2014). Quando algumas variáveis assumem valores inteiros e outras valores contínuos, denominamos como Programação Linear Inteira Mista (PLIM). (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

2.3 Problema de Programação de Horário

O problema estudado neste trabalho trata da alocação de funcionários em turnos de horários, e por isso, é uma das variações dos Problemas de Programação de Horários (PPH), que segundo Dantas (2009) também são conhecidos como problemas de *timetabling*, ou problemas de agendamento (*scheduling*).

Ernst (2004, p.1) em tradução nossa define “o planejamento de pessoal (*personnel scheduling*) como um processo de construir horário de trabalho, de modo que uma organização possa satisfazer a demanda por seus bens ou serviços”.

Wren (1996) citado por Dantas (2009, p.11), define os PPH como: “A alocação, sujeita a restrições, de recursos a objetos colocados no espaço e no tempo, de modo a satisfazer, tanto quanto possível, um conjunto de objetivos desejáveis”.

De acordo com Lara (2007, p.2), “Os problemas de *timetabling* possuem uma estrutura básica que tem como característica evitar colisões nos horários e nas disponibilidades dos recursos envolvidos no escalonamento”.

Grobner, Wilke e Buttcher (2003) fazem uma generalização das propriedades em comum dos problemas de horários, demonstrando que as entidades são diferenciadas entre recursos e eventos. Os eventos são atribuídos certo número de intervalos de tempos, cada um tendo início e fim, e o conjunto desses eventos podem ser definidos como um cronograma. Já os recursos são normalmente algo único e limitado, como o caso de mão de obra e máquinas. Além disso, existem as restrições que servem para limitar a programação de horários, não



deixando que ocorram dois eventos de forma simultânea, por exemplo, e restringindo a relação dos recursos com os eventos.

As restrições são normalmente divididas em dois tipos: as difíceis ou fortes que se caracterizam por limitar o espaço de soluções possíveis, e as fáceis ou fracas que se caracterizam por penalizar a função objetivo (podem não ser atendidas), de forma apenas a contribuir para a avaliação da qualidade da solução. Uma solução é viável se nenhuma restrição difícil é violada, e, uma restrição viável é melhor do que outra se menos restrições fracas são violadas (BUCCO et al., 2017; GROBNER; WILKE; BUTTCHER, 2003; LARA, 2007).

Ernst et al. (2004) apresenta uma classificação para o agendamento de pessoal em módulos, onde o mesmo deixa claro que o desenvolvimento de alguns agendamentos pode exigir apenas alguns módulos e que em uma implementação prática vários dos módulos podem ser combinados em um único procedimento. Os módulos são descritos abaixo:

- ✓ Módulo 1: Modelagem de demanda;
- ✓ Módulo 2: Dias de folga;
- ✓ Módulo 3: Programação dos turnos;
- ✓ Módulo 4: Construção das linhas de trabalho;
- ✓ Módulo 5: Atribuição de tarefas;
- ✓ Módulo 6: Atribuição de pessoal.

Como classificação de problemas de programação de pessoal, Baker (1976) citado por Pawar e Hanchate (2013) propõe três grupos principais:

- ✓ *Shift scheduling*: é o tipo de programação mais simples, onde o cronograma envolve turnos não sobrepostos, o problema de alocação é fácil de resolver e a solução moderadamente fácil de implementar. É necessário agendar um horizonte de planejamento diário, tipo de problema normalmente enfrentado por empresas industriais. Porém, quando existem pequenas flutuações na demanda em comparação com o comprimento da mudança esta configuração não é mais útil e é preciso uma programação com turnos sobrepostos;



- ✓ *Days off scheduling*: o comprimento de uma semana de um funcionário é diferente da instalação/organização. A configuração usada deste problema é, por exemplo, a instância de semana de trabalho de cinco dias para o funcionário com sete dias de operação da instalação. Uma variação desse problema inclui que os dias de folga de um funcionário precisam ser consecutivos;
- ✓ *Tour scheduling*: é uma combinação dos outros dois casos, onde a organização trabalha sete dias por semana, com mais de um turno por dia, assim, os funcionários precisam receber intervalos diários e semanais (folgas) o qual eles possuem direito. Dessa forma, as horas e os dias a serem trabalhadas pelo funcionário precisam ser definidos. Exemplos de organização que utilizam esse caso são hotéis, hospitais, companhia aéreas, entre outros.

De acordo com a classificação de Baker o estudo desse trabalho é classificado como *Tour scheduling*, pois a organização trabalha sete dias por semana, em mais de um turno de trabalho. Assim, os dias da semana que os funcionários devem trabalhar, as horas e suas folgas precisam ser especificadas.

Outra maneira de classificar é baseada no método de solução aplicado Bechtold et al.(1991) citados por Pawar e Hanchate (2013) classifica métodos de agendamento pessoal em duas categorias: *linear programming* ou *construction based*. Subsequentemente, várias categorias foram adicionadas por diferentes autores. Como Alfares (2004) também citado por Pawar e Hanchate (2013) sugere 10 categorias para a abordagem de rotas:

- ✓ Solução manual;
- ✓ Programação inteira;
- ✓ Modelagem implícita;
- ✓ Decomposição;
- ✓ Programação por metas;
- ✓ *Working set generation*;
- ✓ *LP-based solution*;
- ✓ Construção/melhora;
- ✓ Metaheurísticas;



- ✓ Outros métodos.

Dentro dessas abordagens, neste trabalho foi utilizado um modelo de Programação Linear Inteira para resolver um problema de programação de horários de funcionários de um supermercado.

2.4 *O Estado da Arte para o Problema Específico*

O problema estudado neste trabalho de conclusão de curso foi anteriormente pesquisado por Moreira (2015) intitulado Otimização da Programação de Horários de Faxineiras de um Supermercado e posteriormente publicado como Modelo Matemático para resolver um problema de alocação de turnos de funcionários: Um Caso Real por Barrel, Moreira e Martins (2017).

Para o desenvolvimento do seu trabalho Barrel, Moreira e Martins (2017) identificaram as seguintes restrições como imprescindíveis para a construção do seu modelo matemático. Essas restrições são descritas abaixo:

- a) Cada funcionário tem o dever de trabalhar 44 (quarenta e quatro) horas semanais;
- b) Cada funcionário deve ter, no mínimo, uma folga durante a semana;
- c) Se alguém trabalhar no domingo, no próximo domingo o mesmo funcionário terá este dia como folga;
- d) A duração dos turnos deve ser de 6 (seis) a 8 (oito) horas por dia;
- e) Turnos com duração acima de 6 (seis) horas, os funcionários têm o direito de fazer intervalos de 1 (uma) a 2 (duas) horas durante o expediente para descanso;
- f) O expediente de funcionamento é de segunda-feira a domingo, horário de 6:00 à 22:00, exceto domingo, que funciona de 6:00 às 21:00 horas.
- g) Durante o intervalo de 2 (dois) turnos, o funcionário deve ter 11 (onze) horas consecutivas de folga;
- h) Deve haver, no mínimo, 4 (quatro) funcionários trabalhando durante o expediente;
- i) O quadro de funcionários da área da limpeza é de 14 pessoas.



Tabela 1 – Exemplo de padrões de turnos

Padrões de Turnos																	
Turnos/ Horas	6:00 - 7:00	7:00 - 8:00	8:00 - 9:00	9:00 - 10:00	10:00 - 11:00	11:00 - 12:00	12:00 - 13:00	13:00 - 14:00	14:00 - 15:00	15:00 - 16:00	16:00 - 17:00	17:00 - 18:00	18:00 - 19:00	19:00 - 20:00	20:00 - 21:00	21:00 - 22:00	VNOS
Folga	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
T2	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
T3	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	6
T4	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	6
T5	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	6
T6	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	6
T7	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	6
T8	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	6
T9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	6
T10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	6
T11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	6

Fonte: Adaptado de Barrel, Moreira e Martins (2017)

Para auxiliar na modelagem do problema foi criada uma lista com 90 possíveis turnos que poderiam ser alocados os funcionários. A Tabela 1 apresenta um exemplo para o turno denominado folga, ou seja, quando o funcionário está de folga em um dia qualquer, esse é o turno alocado para o mesmo e, os turnos com uma carga total de 6 horas de trabalho por dia.

Um modelo matemático de Programação Linear Inteira foi criado e os seus parâmetros de entrada são apresentados na Tabela 2. As variáveis de decisão do problema são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 2 – Parâmetros de entrada

F	Conjunto de funcionárias com elemento i pertencentes a F;
D	Conjunto de dias de trabalho com elementos d pertencentes a D;
T	Conjunto de turnos de trabalho com elementos t pertencentes a T;
H	Conjunto de horários de trabalho com elementos h pertencentes a H;
MTH	Conjunto de turnos padrões com elemento t pertencentes a T e h pertencentes a H;
Carga	Conjunto de soma horários h pertencentes a H, que estão contidos nos turnos t pertencentes a T;

Fonte: Adaptado de Barrel, Moreira e Martins (2017)



Tabela 3 – Variáveis de decisão

dp_i	Desvio de horas positivas geradas pelo funcionário i ;
dn_i	Desvio de horas negativas geradas pelo funcionário i ;
FD_i	Contabiliza o número de folgas do funcionário i ;
X_{idt}	Funcionária i trabalha no dia d no turno t ;
Y_{idh}	Funcionária i trabalha no dia d no horário h ;
$ddh_{(d,h)}$	Número necessário de funcionários no dia d no horário h (caso o número de funcionários escalados em um horário seja inferior a 4, esta variável retorna a diferença)

Fonte: Adaptado de Barrel, Moreira e Martins (2017)

O modelo matemático é apresentado pelas equações (4.1) até (4.18).

$$\min = \sum_{i \in F} \left(\sum_{d \in D, h \in H} (ddh_{d,h}) + dn_i + dp_i \right) \quad (2.1)$$

S.A.

$$FD_i = \sum_{d \in D} X_{i,d,1}, \quad \forall i \in F \quad (2.2)$$

$$\sum_{t \in T} \left(\sum_{d \in D} (Carga_t * X_{i,d,t}) + dn_i + dp_i \right) = 44, \quad \forall i \in F \quad (2.3)$$

$$\sum_{t \in T} X_{i,d,t} = 1, \quad \forall i \in F, d \in D \quad (2.4)$$

$$X_{i,1,1} \geq FD_i, \quad \forall i \in F \quad (2.5)$$

$$\sum_{i \in F} (Y_{i,d,h} + ddh_{d,h}) \geq 4, \quad \forall d \in D, h \in H \quad (2.6)$$

$$Y_{i,1,16} = 0, \quad \forall i \in F \quad (2.7)$$

$$\sum_{d \in D} X_{i,d,1} \geq 1, \quad \forall i \in F \quad (2.8)$$

$$Y_{i,d,h} = \sum_{t \in T} MTH_{t,h} * X_{i,d,t}, \quad \forall i \in F, d \in D, h \in H \quad (2.9)$$

$$X_{i,d,t} \leq 1 + 4 * (1 - X_{i,d,1}), \quad \forall i \in F \mid Dia_d < 7 \quad (2.10)$$

$$\sum_{h \in H} Y_{i,d+1,h} \leq 1 + 4 * (1 - X_{i,d,1}), \quad \forall i \in F \mid Horario_h \leq 5 \quad (2.11)$$



$$Y_{i,d,16} \leq 1 + 2 * (1 - Y_{i,d,16}), \quad \forall i \in F | Dia_d < 7 \quad (2.12)$$

$$\sum_{h \in H} Y_{i,d+1,h} \leq 1 + 2 * (1 - Y_{i,d,16}), \quad \forall i \in F | Horario_h \leq 3 \quad (2.13)$$

$$Y_{i,d,15} \leq 1 + (1 - Y_{i,d,15}), \quad \forall i \in F | Dia_d < 7 \quad (2.14)$$

$$\sum_{h \in H} Y_{i,d+1,h} \leq 1 + (1 - Y_{i,d,15}), \quad \forall i \in F | Horario_h \leq 2 \quad (2.15)$$

$$Y_{i,d,14} + Y_{i,d+1,1} \leq 1, \quad \forall i \in F | Dia_d < 7 \quad (2.16)$$

$$Y_{i,d,h}, X_{i,d,h}, FD_i \in \{0,1\} \quad (2.17)$$

$$ddh_{d,h}, dn_i, dp_i \in \mathbb{N} \quad (2.18)$$

A função objetivo (2.1) minimiza o desvio das 44 (quarenta e quatro) horas semanais e o desvio do número de funcionários por hora. A restrição (2.2) soma as folgas durante a semana. A restrição (2.3) faz com que os funcionários busquem trabalhar 44 (quarenta e quatro) horas por semana. A restrição (2.4) limita os funcionários a trabalharem um turno por dia. A restrição (2.5) força os funcionários terem folga no domingo, quando trabalham no domingo anterior. A restrição (2.6) tenta manter o número mínimo de 4 (quatro) funcionários durante cada turno. A restrição (2.7) limita o funcionamento do supermercado das 21h00 às 22h00 no domingo. A restrição (2.8) faz com que cada funcionário tenha no mínimo uma folga por semana. A restrição (2.9) delega os funcionários a trabalharem no turno selecionado. As restrições (2.10) e (2.11) permitem que os funcionários que tiveram folga no dia anterior irá trabalhar após as 11h00 do dia seguinte. As restrições (2.12), (2.13), (2.14), (2.15) e (2.16) restringem os funcionários a terem folga de 11 (onze) consecutivas entre dois turnos de trabalho. E as restrições (2.17) e (2.18) são as funções domínios das variáveis de decisão.

Depois da implementação do modelo matemático foi desenvolvido um método otimizado para essa programação linear utilizando a técnica metaheurística *Simulated Annealing*, intitulado Utilização da Metaheurística *Simulated Annealing* para a Otimização da Programação de Turnos em uma Loja Varejista (Santos, Barrel e Martins, 2017), também utilizado como base para este trabalho.

A metaheurística criada teve a calibração dos seus parâmetros realizada e mostrou-se muito eficiente ao ser comparada com o método exato. Isso acontece devido ao fato de convergir para a solução ótima em poucos segundos, enquanto o método exato demora cerca de 20 minutos para encontrar a solução ótima do problema.



3 Capítulo 3

3.1 Metodologia

A metodologia a ser abordada no trabalho será dividida quanto à sua natureza, aos seus objetivos, à sua abordagem e métodos.

De acordo com a sua natureza, a pesquisa é aplicada, pois tem o objetivo de gerar conhecimento para solucionar problemas envolvendo interesses locais, de cunho prático (GERHARDT e SILVEIRA, 2009).

Quanto aos seus objetivos, o estudo é normativo, pois procura aperfeiçoar resultados disponíveis. Conforme a sua abordagem a pesquisa se enquadra em quantitativa, pois utiliza de recursos de cunho matemáticos, analisa e interpreta os resultados numéricos gerados. Do ponto de vista dos métodos, a pesquisa é empregada como modelagem e simulação devido à aplicação em um modelo de uma situação real, determinando como o sistema reage às modificações realizadas (TURRIONI e MELLO, 2011).

A primeira etapa deste trabalho consiste em estudar e entender o modelo desenvolvido por Barrel, Moreira e Martins (2017) que foi usado como base para realização deste trabalho e fazer uma revisão bibliográfica com o intuito de revisar conceitos importantes sobre o tema estudado. Foram utilizados artigos científicos, livros, teses e outros materiais disponíveis sobre o tema tratado.

A segunda fase consiste no levantamento dos dados necessários para a realização do trabalho, como as novas restrições a serem implementadas. Para essa etapa foi realizado uma entrevista com uma funcionária responsável pelo setor da empresa que realiza o escalonamento das funcionárias nos turnos de trabalho.

Em um terceiro momento foi realizado a modelagem do problema utilizando a Programação Linear Inteira baseado nas informações obtidas na etapa anterior.

Por fim foram realizados os testes com várias entradas de dados diferentes e a comparação com modelo desenvolvido anteriormente por Barrel, Moreira e Martins (2017).



4 Capítulo 4

4.1 *Desenvolvimento*

Este trabalho propõe a um supermercado da cidade de João Monlevade, Minas Gerais, um novo Modelo de Programação Linear com o objetivo de alocar os turnos aos funcionários do setor de limpeza, com um período de tempo de alocação maior e com novas restrições incluídas.

4.2 *Modificando o Modelo*

Para o desenvolvimento desse trabalho vamos utilizar a maioria das restrições estipuladas nos modelos de Moreira (2015) e Santos, Barrel e Martins (2017), porém iremos acrescentar mais duas restrições pertinentes. A primeira determina que se o funcionário começar o seu turno de trabalho às 6, 7, 8 ou 9 horas e trabalhar mais do que uma carga total de 6 horas de trabalho no dia, ou seja, trabalha entre 7 ou 8 horas nesse dia, ele tem o seu período de descanso de uma ou duas horas estipulados no horário definido entre 11 horas e 13 horas. Dessa forma, o colaborador terá o seu horário de almoço.

Para isso, reelaboramos lista de turnos elaborada por Barrel, Moreira e Martins (2017) sem todos os turnos de trabalho que não respeitava essa restrição, totalizando agora uma lista de 89 possíveis turnos para o problema.

Ao elaborar essa tabela, buscamos dividir as horas que o funcionário trabalha no dia de forma igualitária, ou seja, se o funcionário trabalha um total de 7 horas no dia, de 8 horas às 16 horas com uma hora de folga, existem dois turnos possíveis: o primeiro ele trabalha das 8 horas às 11 horas, folga das 11 às 12 horas, volta a trabalhar às 12 horas e finaliza o seu turno às 16 horas; o segundo o funcionário trabalha de 8 horas até as 12 horas, folga das 12 às 13 horas, e pro fim, trabalha das 13 às 16 horas.

A Tabela 4 mostra todos os turnos com uma carga total de 6, 7, 8, 9 e 10 horas de trabalho utilizados na solução dos problemas.



Tabela 4 – Novos padrões de turnos

Turnos/ Horas	Padrões de Turnos															Soma	
	6:00 - 7:00	7:00 - 8:00	8:00 - 9:00	9:00 - 10:00	10:00 - 11:00	11:00 - 12:00	12:00 - 13:00	13:00 - 14:00	14:00 - 15:00	15:00 - 16:00	16:00 - 17:00	17:00 - 18:00	18:00 - 19:00	19:00 - 20:00	20:00 - 21:00		21:00 - 22:00
folga	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T2	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T3	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
T4	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
T5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0
T6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
T7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
T8	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
T9	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
T10	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
T11	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
T12	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
T13	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
T14	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
T15	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
T16	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
T17	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
T18	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
T19	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
T20	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0
T21	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0
T22	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0
T23	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0
T24	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0
T25	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0
T26	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0
T27	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0
T28	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0
T29	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0
T30	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
T31	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
T32	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
T33	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0



T34	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	8
T35	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	8
T36	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	8
T37	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	8
T38	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	8
T39	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	8
T40	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	8
T41	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	8
T42	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	8
T43	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	8
T44	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	8
T45	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	8
T46	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	8
T47	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	8
T48	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	8
T49	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	8
T50	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	8
T51	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	8
T52	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	8
T53	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	8
T54	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	8
T55	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	8
T56	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	8
T57	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	8
T58	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	8
T59	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	9
T60	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	9
T61	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	9
T62	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	9
T63	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	9
T64	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	9
T65	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	9
T66	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	9
T67	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	9
T68	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	9
T69	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	9
T70	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	9
T71	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	9
T72	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	9
T73	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	10
T74	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	10
T75	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	10



T76	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	10
T77	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	10
T78	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	10
T79	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	10
T80	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	10
T81	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	10
T82	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	10
T83	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	10
T84	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	10
T85	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	10
T86	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	10
T87	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	10
T88	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	10

Fonte: Elaborado pela autora

Outra restrição modificada no modelo matemático utilizado anteriormente é o fato que se um funcionário trabalhar em um domingo, ele terá o próximo domingo de folga, representada pela equação abaixo:

$$X_{i,1,1} \geq FD_i, \quad \forall i \in F \quad (4.5)$$

Essa restrição era utilizada de forma forçada, com a variável FD_i que já era inicializada com o valor 1 para os sete primeiros funcionários que estariam de folga naquele domingo. Dessa forma, o modelo determinava que o turno de folga fosse alocado para esses funcionários. Ou seja, não era o modelo que estipulava quais funcionários estariam de folga, e sim, um dado de entrada. Assim, modificamos a restrição no modelo para que passasse a determinar qual funcionário estaria de folga e qual trabalharia em cada domingo.

4.3 Aumentando o Horizonte de Planejamento

Para o modelo aumentar o seu horizonte de planejamento e gerar um resultado para mais de uma semana, foi necessário criar um novo parâmetro de entrada S nomeado como semana e indexar as variáveis $dp(s,i)$ – desvio de horas positivas geradas pelo funcionário i na semana s , $dn(s,i)$ – desvio de horas negativas geradas pelo funcionário i na semana s , $x(s,i,d,t)$ – na Semana s funcionário i trabalha no dia d no turno t e $y(s,i,d,h)$ – Na semana s funcionário i trabalha no dia d no horário h . Dessa forma, o modelo matemático tem a capacidade de produzir resultados para quantas semanas estiverem estipuladas nos dados de entrada, ficando ao critério da pessoa que for utilizar o modelo o tempo de planejamento que deseja gerar.



4.4 Novo Modelo

A tabela 5 mostra os parâmetros de entrada do novo modelo matemático criado e a tabela 6 apresenta as novas variáveis de decisão do modelo.

Tabela 5 – Parâmetros de entrada do modelo

F	Conjunto de funcionários com elementos i pertencentes a F;
D	Conjunto de dias de trabalho com elementos d pertencentes a D;
T	Conjunto de turnos de trabalho com elementos t pertencentes a T;
H	Conjunto de horários de trabalho com elementos h pertencentes a H;
S	Conjunto de semanas de trabalho com elementos s pertencentes a S;
MTH	Conjunto de turnos padrões com elemento t pertencentes a T e h pertencentes a H;
Carga	Conjunto de soma horários h pertencentes a H, que estão contidos nos turnos t pertencentes a T;

Fonte: Elaborado pela autora

Tabela 6 – Variáveis de decisão do modelo

$dp(s,i)$	Desvio de horas positivas geradas pelo funcionário i na semana s ;
$dn(s,i)$	Desvio de horas negativas geradas pelo funcionário i na semana s ;
Folgas(i)	Folga do funcionário i ;
$X(s,i,d,t)$	Na Semana s funcionário i trabalha no dia d no turno t ;
$Y(s,i,d,h)$	Na semana s funcionário i trabalha no dia d no horário h ;
$ddh(d,h)$	Escala de horários h que acontece no dia d .

Fonte: Elaborado pela autora

Modelo:

$$\min = \sum_{s \in S, i \in F} \left(\sum_{d \in D, h \in H} (ddh_{d,h}) + dn_{s,i} + dp_{s,i} \right) \quad (4.1)$$

S.A.



$$Folgas_i = \sum_{d \in D} X_{s,i,d,1}, \quad \forall s \in S, i \in F \quad (4.2)$$

$$\sum_{t \in T} \left(\sum_{d \in D} (Carga_t * X_{s,i,d,t}) + dn_{s,i} - dp_{s,i} \right) = 44, \quad \forall s \in S, i \in F \quad (4.3)$$

$$\sum_{t \in T} X_{s,i,d,t} = 1, \quad \forall s \in S, i \in F, d \in D \quad (4.4)$$

$$\sum_{i \in F} (Y_{s,i,d,h} + ddh_{d,h}) \geq 4, \quad \forall s \in S, d \in D, h \in H \quad (4.5)$$

$$Y_{s,i,1,16} = 0, \quad \forall s \in S, i \in F \quad (4.6)$$

$$\sum_{d \in D} X_{s,i,d,1} \geq 1, \quad \forall s \in S, i \in F \quad (4.7)$$

$$Y_{s,i,d,h} = \sum_{t \in T} MTH_{t,h} * X_{s,i,d,t}, \quad \forall s \in S, i \in F, d \in D, h \in H \quad (4.8)$$

$$X_{s,i,1,1} + X_{s+1,i,1,1} = 1, \quad \forall s \in S, i \in F \quad (4.9)$$

$$X_{s,i,d,1} \leq 1 + 4 * (1 - X_{s,i,d,1}), \quad \forall s \in S, i \in F | Dia_d < 7 \quad (4.10)$$

$$\sum_{h \in H} Y_{s,i,d+1,h} \leq 1 + 4 * (1 - X_{s,i,d,1}), \quad \forall s \in S, i \in F | Horario_h \leq 5 \quad (4.11)$$

$$Y_{s,i,d,16} \leq 1 + 2 * (1 - Y_{s,i,d,16}), \quad \forall s \in S, i \in F | Dia_d < 7 \quad (4.12)$$

$$\sum_{h \in H} Y_{s,i,d+1,h} \leq 1 + 2 * (1 - Y_{s,i,d,16}), \quad \forall s \in S, i \in F | Horario_h \leq 3 \quad (4.13)$$

$$Y_{s,i,d,15} \leq 1 + (1 - Y_{s,i,d,15}), \quad \forall s \in S, i \in F | Dia_d < 7 \quad (4.14)$$

$$\sum_{h \in H} Y_{s,i,d+1,h} \leq 1 + (1 - Y_{s,i,d,15}), \quad \forall s \in S, i \in F | Horario_h \leq 2 \quad (4.15)$$

$$Y_{s,i,d,14} + Y_{s,i,d+1,1} \leq 1, \quad \forall s \in S, i \in F | Dia_d < 7 \quad (4.16)$$



$$Y_{s,i,d,h}, X_{s,i,d,h} \in \{0,1\} \quad (4.17)$$

$$ddh_{d,h}, dn_{s,i}, dp_{s,i}, Folgas_i \in \mathbb{N} \quad (4.18)$$

A função objetivo (4.1) minimiza o desvio das 44 (quarenta e quatro) horas semanais e o desvio do número de funcionários por hora. A restrição (4.2) contabiliza as folgas durante a semana para cada funcionário. A restrição (4.3) faz com que cada funcionário busque trabalhar 44 (quarenta e quatro) horas por semana. A restrição (4.4) limita os funcionários a trabalharem um turno por dia. A restrição (4.5) tenta manter o número mínimo de 4 (quatro) funcionários durante as horas de funcionamento do supermercado. A restrição (4.6) limita o funcionamento do supermercado das 21h00 às 22h00 no domingo. A restrição (4.7) faz com que cada funcionário tenha no mínimo uma folga por semana. A restrição (4.8) delega aos funcionários a trabalharem no turno selecionado. A restrição (4.9) determina que os funcionários tenham folga no próximo domingo, quando trabalhem no domingo anterior. As restrições (4.10) e (4.11) permitem que os funcionários que tiveram folga no dia anterior irá trabalhar após as 11h00 do dia seguinte. As restrições (4.12), (4.13), (4.14), (4.15) e (4.16) restringem os funcionários a terem folga de 11 (onze) consecutivas entre dois turnos de trabalho. E as restrições (4.17) e (4.18) são as funções domínios das variáveis de decisão.



5 Capítulo 5

5.1 Resultados

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos pelo novo Modelo Matemático para a programação de horários de turnos de trabalho dos funcionários do setor de limpeza de um supermercado.

As execuções dos testes foram feitas em um computador com processador Intel Core i3 com velocidade de 2.3 GHz, memória RAM de 4GB e 500GB de HD com o sistema operacional Windows 7 Ultimate (64 bits). O *software* Lingo 10.0 foi utilizado para modelar o modelo com uma interação com o *software* MS Excel 2013. Os dados de entrada são registrados no Excel, o Lingo utiliza esses dados para resolver o problema e retorna ao Excel os resultados obtidos.

No modelo de Barrel, Moreira e Martins (2017) foi utilizado apenas uma instância com os dados utilizados pelo supermercado para provar que o modelo gera uma solução. No caso deste trabalho criamos 12 (doze) instâncias com objetivo de testar o modelo.

Para isso, utilizamos o parâmetro de entrada número de funcionários, um dos parâmetros de entrada que pode ser variado de acordo com a restrição do supermercado. Iniciamos com o valor de 8 (oito) funcionários e aumentamos de dois em dois até chegarmos ao valor de 14 (quatorze) funcionários. Também modificamos a restrição que determina que deve haver, no mínimo, 4 (quatro) funcionários trabalhando durante o expediente, fizemos testes com esse valor sendo 1 (um), 2 (dois) e 3 (três) para cada número de funcionários.

O modelo foi testado com duas semanas e o tempo máximo estipulado é de 6 (seis) horas. Os resultados são apresentados na Tabela 7. Na primeira coluna é apresentado o número de funcionários da instância; na segunda, o número de funcionários por hora que o supermercado deve ter, ou seja, o número mínimo de funcionários por hora de funcionamento; a próxima coluna trás o tempo que o programa demorou a chegar à solução ótima (tempo utilizado em cada teste); a quarta coluna apresenta o valor de r – soma da diferença de funcionários por hora, ou seja, para cada hora das duas semanas que o modelo gerou, a soma total de quantos funcionários faltaram para atender ao mínimo estipulado na restrição; por fim, z – a soma das diferenças absolutas, isto é, quantas horas os funcionários deixaram de trabalhar ou realizaram horas extras nas duas semanas geradas pelo modelo.



Tabela 7 – Resultados obtidos pelos testes

Número de funcionários	Número mínimo de funcionários por hora	Tempo	r	Z
8	1	00:00:48 h	0	0
	2	00:01:16 h	0	0
	3	—	16	13
10	1	00:10:11 h	0	0
	2	—	0	1
	3	00:15:26 h	6	0
12	1	00:21:46 h	0	0
	2	01:59:38 h	0	0
	3	—	0	2
14	1	00:59:38 h	0	0
	2	00:03:28 h	0	0
	3	—	0	1

Fonte: Elaborado pela autora

Com base nestes resultados podemos concluir que o tempo de resolução do problema tende a aumentar devido a dois fatos: o primeiro a dificuldade das restrições incluídas no problema, nesse caso, quanto maior o número de funcionários por hora mais tempo demora a chegar a uma solução ótima, e segundo pelo o número de variáveis que o problema possui.



6 Capítulo 6

6.1 *Conclusões e Trabalhos Futuros*

O desenvolvimento do presente trabalho possibilitou a criação de um novo modelo matemático para a programação de turnos de funcionários do setor de limpeza do supermercado da cidade de João Monlevade – MG.

A programação Linear Inteira foi o método utilizado para gerar o modelo com novas restrições e o aumentar o horizonte de tempo de planejamento do modelo anterior apresentado por Barrel, Moreira e Martins (2017). Ao realizarmos os testes com várias instâncias percebemos que o modelo consegue atender todas as restrições propostas, quando possível, e chegar à solução ótima. Porém, quanto maior a quantidade de cada parâmetro de entrada, maior será o número de variáveis do problema e, conseqüentemente, maior será o tempo para a sua resolução.

Como o modelo anterior só possuía a capacidade de gerar resultados para uma semana, não era possível fazer todo o escalonamento dos funcionários de forma automatizada, com isso, a criação do novo modelo é bastante útil para a utilização na empresa, para diminuir o tempo gasto com essa atividade e também aumentar a satisfação dos funcionários com as novas restrições criadas.

Como indicações para trabalhos futuros nessa área pode-se atualizar a metaheurística utilizada por Santos, Barrel e Martins (2017) para atender as novas especificações, e assim, gerar resultados em menor tempo, aplicar o modelo em outros setores da organização ou até mesmo difundir e utilizá-lo em outras organizações.



Referências Bibliográficas

- ANDRADE, Pedro R. de L.; SCARPIN, Cassius T.; STEINER, Maria T. A. Geração da grade horária do curso de engenharia de produção da UFPR através de programação linear binária. In: **Congresso Latino-Iberoamericano de investigación Operativa – CLAIO; Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional – SBPO**, setembro de 2012, Rio de Janeiro, Brasil, p.1052-1063.
- BAGHALIAN, Atefeh; REZAPOUR, Shabnam; FARAHANI, Reza Z. Robust supply chain network design with service level against disruptions and demand uncertainties: A real-life case. **European Journal of Operational Research**, v. 227, p. 199-215, jan. 2013.
- BARBOZA, Angela O. **Simulação e técnicas da computação evolucionária aplicadas a problemas de programação linear inteira mista**. Dissertação de Doutorado, Programa de Pós-Graduação de Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2005.
- BARREL, Mayara A.; MOREIRA, Rafael C.; MARTINS, Alexandre X. Modelo matemático para resolver o problema de alocação de turnos de funcionários: um caso real. **XXXVI International Sodebras Congress**, Belo Horizonte - Minas Gerais, v. 12, n. 135, p. 265-270, mar. 2017.
- BUCCO, Guilherme B.; BORNIA POULSEN, Camilo J.; BANDEIRA, Denise L. Desenvolvimento de um modelo de programação linear para o Problema da Construção de Grades Horárias em Universidades. **Gestão e produção. São Carlos. Vol. 24, n. 1 (jan./abr. 2017), p. 40-49**, 2017.
- DANTAS, V. C. **Algoritmos para problemas de programação de horários de cursos pós-matrícula**. Rio de Janeiro, 2009. 90p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2009.
- ERNST, A. T. et al. Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models. **European Journal of Operational Research** 153 (2004) 3–27.
- FISCHETTI, Matteo; MONACI, Michele. Using a general-purpose mixed-integer linear programming solver for the practical solution of real-time train rescheduling. **European Journal of Operational Research**, mai. 2017.
- GERHARDT Tatiana E.; SILVEIRA Denise T. **Métodos de pesquisa**, coordenado pela Universidade Aberta do Brasil – UAB/UFRGS e pelo Curso de Graduação Tecnológica –



Planejamento e Gestão para o Desenvolvimento Rural da SEAD/UFRGS. – Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GRÖBNER, Matthias; WILKE, Peter; BÜTTCHER, Stefan. A standard framework for timetabling problems. In: **International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2002. p. 24-38.

HILLIER, Frederick S.; LIEBERMAN, Gerald J. **Introdução à pesquisa operacional**. 9 ed. Brasil: Mc Graw Hill, 2013. 1028 p.

LARA, Braulio. Alocação de professores em instituições de ensino superior: um modelo matemático para o problema de único campus e para o multicampi. In: **Simpósio Brasileiro De Pesquisa Operacional - SBPO**, agosto de 2007, Fortaleza. Brasil, p.1783-1794.

MAGATÃO, L. et al. Otimização do balanceamento de uma linha de montagem de cabines de caminhões por meio de programação linear inteira mista. **XLIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, Ubatuba - São Paulo, p. 70-81, ago. 2011.

MOREIRA, Rafael C. **Otimização da programação de horários de faxineiras de um supermercado**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, 2015. 44p.

PAWAR, Urmila. S.; HANCHATE, Dinesh. B. Literature Review on Personnel Scheduling. **International Journal of Computer Engineering and Technology (IJCET)**, Volume 4, Issue 5, September – October, 2013.

RABENSCHLAG, Denis R. **Pesquisa operacional**. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2005.

SANTOS, Izabel C. V.; BARREL, Mayara A.; MARTINS, Alexandre X. Utilização da metaheurística simulated annealing para a otimização da programação de turnos em uma loja varejista. **XXIV simpósio de engenharia de produção**, Bauru - São Paulo, nov. 2017.

SILVA, João Eduardo A. R. da; ALVES, Maria Rita P. A.; COSTA, Miguel A. B. da. Planejamento de turnos de trabalho: uma abordagem no setor sucroalcooleiro com uso de simulação discreta. **Gestão da Produção**, São Carlos - São Paulo, v. 18, n. 1, p. 73-90, jan. 2011.



SOBRAPO. *Pesquisa Operacional*. 2017. Disponível em: < <http://www.sobrapo.org.br/o-que-e-pesquisa-operacional>>. Acesso em: Setembro de 2017.

SOUZA, Gustavo B. de C.. **Otimização do posicionamento de concentradores GPRS em redes elétricas inteligentes utilizando programação linear e teoria de filas**. 2014. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica e da Computação) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

TURRIONI, João B.; MELLO, Carlos Henrique P. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção**. 2011. 202 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Qualidade e Produtividade, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2011.