



DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA PARA A DETERMINAÇÃO DE ESCALAS DE TRABALHO EM UMA EMPRESA DISTRIBUIDORA DE COMBUSTÍVEIS

CAIO CESAR DE CARVALHO FIGUEIREDO - caiocc.fig@gmail.com
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ - UFC

ANSELMO RAMALHO PITOMBEIRA NETO - anselmo.pitombeira@ufc.br
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ - UFC

Área: 6 - PESQUISA OPERACIONAL
Sub-Área: 6.1 - PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA

Resumo: A DETERMINAÇÃO DE ESCALAS DE TRABALHO CONSISTE EM UMA ATIVIDADE DE GRANDE IMPORTÂNCIA PARA AS EMPRESAS, POIS TEM IMPACTO DIRETO NOS CUSTOS OPERACIONAIS DE MÃO DE OBRA, E INFLUI SOBRE A SATISFAÇÃO DOS FUNCIONÁRIOS. NA PRÁTICA, O PROBLEMA É DDE DIFÍCIL SOLUÇÃO DEVIDO ÀS DIVERSAS EXIGÊNCIAS QUE DEVEM SER ATENDIDAS. O PRESENTE TRABALHO DESCREVE O DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA PARA AUXILIAR O PROCESSO DE ELABORAÇÃO DE ESCALAS DE TRABALHO, BUSCANDO A ALOCAÇÃO DE FUNCIONÁRIOS DENTRO DA ESCALA DE FORMA A MINIMIZAR O CUSTO OPERACIONAL E MAXIMIZAR A SATISFAÇÃO DOS COLABORADORES. O MODELO FOI IMPLEMENTADO NO SOFTWARE MICROSOFT EXCEL, QUE É FREQUENTEMENTE UTILIZADO NAS EMPRESAS, COM O USO DO SOFTWARE DE OTIMIZAÇÃO OPENSOLVER. O MODELO FOI APLICADO EM UM CASO PRÁTICO E COMPARADO COM O MÉTODO INTUITIVO UTILIZADO PELA EMPRESA. OS RESULTADOS OBTIDOS COM O MODELO FORAM SATISFATÓRIOS, REPRESENTANDO UMA REDUÇÃO DE CUSTO E TEMPO DE EXECUÇÃO ALÉM DE UM AUMENTO EM SUA EFICÁCIA E NA SATISFAÇÃO DOS FUNCIONÁRIOS.

Palavras-chaves: ESCALAS DE TRABALHO; PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA.

DEVELOPMENT OF AN INTEGER LINEAR PROGRAMMING MODEL FOR THE DETERMINATION OF WORK SCHEDULES IN A FUEL DISTRIBUTION COMPANY

Abstract: *THE DETERMINATION OF WORK SCHEDULES IS AN ACTIVITY OF GREAT IMPORTANCE FOR COMPANIES, AS IT HAS A DIRECT IMPACT ON THE LABOR COSTS OF LABOR, AND INFLUENCES EMPLOYEE SATISFACTION. IN PRACTICE, THE PROBLEM IS DIFFICULT TO SOLVE BECAUSE OF THEE MANY REQUIREMENTS THAT MUST BE MET. THE PRESENT WORK DESCRIBES THE DEVELOPMENT OF AN INTEGER LINEAR PROGRAMMING MODEL TO ASSIST IN THE ELABORATION OF WORK SCHEDULES, SEEKING THE ALLOCATION OF EMPLOYEES WITHIN THE SCHEDULE IN ORDER TO MINIMIZE THE OPERATIONAL COST AND MAXIMIZE EMPLOYEE SATISFACTION. THE MODEL WAS IMPLEMENTED IN MICROSOFT EXCEL SOFTWARE, WHICH IS OFTEN USED IN COMPANIES WITH THE USE OF OPENSOLVER OPTIMIZATION SOFTWARE. THE MODEL WAS APPLIED IN A PRACTICAL CASE AND COMPARED WITH THE INTUITIVE METHOD USED BY THE COMPANY. THE RESULTS OBTAINED WITH THE MODEL WERE SATISFACTORY, REPRESENTING A REDUCTION OF COST AND EXECUTION TIME BESIDES AN INCREASE IN ITS EFFECTIVENESS AND IN THE SATISFACTION OF THE EMPLOYEES.*

Keyword: *WORK SCHEDULE; INTEGER LINEAR PROGRAMMING*

1. Introdução

A elaboração de escalas de trabalho é um tema estratégico para muitas empresas, tendo em vista que está ligado a um dos seus maiores gastos, o de mão-de-obra, e à satisfação dos funcionários, a qual muitas vezes determina a eficiência e qualidade dos processos e produtos, influenciando no sucesso da empresa. Aliado à importância do tema outro ponto que o torna estratégico é a sua complexidade, tendo em vista as restrições obrigatórias (atendimento à legislação) e desejáveis (afinidades de funcionários com tarefas, atendimento de solicitações, entre outras) que devem ser atendidas. Entretanto, o que é visto atualmente é que não é dada a devida atenção ao evento e a elaboração da escala acaba sendo realizada de forma simplória, frequentemente por meio da tentativa e erro.

Dessa forma o resultado final do processo acaba sendo prejudicado porque:

- a) Não existe o levantamento de variáveis de apoio a decisão, como custo da escala ou nível de satisfação dos funcionários;
- b) Não possibilita uma simulação da escala, de forma a verificar se ela atende a necessidade operacional de cada dia;
- c) Torna-se um processo longo e enfadonho;
- d) Prejudica a gestão de conhecimento da empresa, pois a elaboração estaria a par da experiência do encarregado.

Conhecendo os problemas decorrentes de uma escala mal elaborada, o objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um modelo para elaboração de escalas que minimize o nível de insatisfação dos funcionários e o custo operacional, atendendo às restrições legais vigentes. O modelo é aplicado em um estudo de caso em uma empresa de distribuição de combustíveis que funciona em um regime de vinte e quatro horas por dia, sete dias por semana. A escala de trabalho representará o revezamento dos operadores, estabelecendo o horário de entrada, assim como as folgas, férias e outros recessos.

Este artigo está estruturado da seguinte forma: na Seção 2 é feita uma revisão de literatura; na Seção 3 é descrita a metodologia do trabalho; na Seção 4 são apresentados os resultados; finalmente a Seção 5 conclui o trabalho.

2. O problema de programação de escalas de trabalho

O problema acerca da programação de escalas de trabalho é recorrente no ambiente corporativo (DOMINGUEZ, 2000; GOMES, 2009; GOES; COSTA; STEINER, 2010). Ao levar em consideração um dos maiores custos empresariais, o de mão-de-obra, e estar

diretamente ligada a satisfação e, conseqüentemente, a motivação dos funcionários, este tema vem cada vez mais sendo estudado e debatido dentro da academia como em Santos *et al* (2016), Laporte (1999), Burke *et al.* (2004) e Cheang *et al.* (2002). Entretanto o que se observa é que tais técnicas ainda encontram-se distante da realidade prática de muitas empresas (GOES; COSTA; STEINER, 2010), principalmente quando essa realidade trata de empresas locais com poucas, ou nenhuma, ferramentas de apoio à gestão. Além dos temas empresariais de produtividade e custos, a escala de trabalho também é uma exigência legal no Brasil, de acordo com a Consolidação das Leis do Trabalho (CLT).

Tendo em vista a importância e relevância do tema, o processo de elaboração de escalas de trabalho consiste em alocar um conjunto de tarefas, essas podem ser interpretadas como períodos de trabalho, considerando um conjunto de restrições a serem atendidas (DOMINGUEZ, 2000). O problema também pode ser interpretado como a determinação apropriada da necessidade de força de trabalho, alocação e designação de tarefas à esta força de trabalho ao encontro dos requisitos internos e externos de uma organização. A elaboração das escalas de trabalho envolve a alocação de pessoal a períodos de tempo e locais (POLTOSI; GOMES, 2007). Do ponto de vista teórico Burke *et al.* (2004) classifica o assunto como um problema de otimização NP-Difícil devido ao grande número de variáveis e restrições envolvidas. Um exemplo de escala de trabalho é mostrado na Tabela 1.

TABELA 1 - Exemplo de escala de trabalho

	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
Funcionário A	06:00	06:00	F	07:00	05:00
Funcionário B	14:00	F	15:00	15:00	14:00
Funcionário C	19:00	18:00	20:00	F	18:00
Funcionário D	F	08:00	07:00	09:00	08:00
Funcionário E	17:00	17:00	18:00	18:00	F

Pode-se observar na Tabela 1 que existe um determinado número de funcionários e sua jornada de trabalho está apresentada para cada dia da semana, mostrando o horário de entrada e o dia de sua folga, caracterizado pela letra “F”.

A variedade de áreas de aplicações do problema de elaboração de escalas assim como dos métodos de solução utilizados nesse é enorme. As mais conhecidas são na área da saúde, para a programação de enfermeiros e outros profissionais, comumente conhecido como *Nurse Rostering Problem* (NRP), ou Problema de Escalonamento de Enfermeiros (PEE), na aviação,

no Problema de Programação de Tripulantes (PPT), e na educação, no problema de alocação de professores e turmas.

Talvez o mais estudado, o NRP, possui uma variedade de métodos de solução, em uma rápida busca é possível encontrar mais de seis mil referências sobre o tópico. Os métodos mais estudados utilizam-se de metaheurísticas, tendo em vista a complexidade do problema. Poltosi e Gomes (2007) apresentam um método com a utilização de busca tabu e algoritmo genético, no qual é apresentada uma escala inicial e o algoritmo realiza interações e combinações com sua vizinhança, buscando uma solução ótima onde o custo seja minimizado. É utilizada uma modelagem que penaliza o não atendimento de algumas restrições desejáveis (soft), como, por exemplo, solicitações de folgas dos enfermeiros. Santos *et al.* (2016) apresenta uma revisão bibliográfica sobre diversas técnicas de programação inteira para a solução do problema, todas apresentadas durante a *International Nurse Rostering Competition* (INRC). Harris e Bohle (1996) realizam um *benchmark* comparando três algoritmos de elaboração de escalas automáticas utilizando a eficiência, eficácia, aplicabilidade e tempo de resposta como parâmetros.

Outro problema bastante estudado pelo seu alto nível de complexidade é o PPT. Gomes (2009) assume que a solução do problema deve ser pela resolução sequencial de dois subproblemas: o Problema de Determinação de Viagem (PDV) e o Problema de Atribuição de Escalas (PAE). No PDV determina-se o conjunto de viagens que cubra todos os voos planejados de acordo com a demanda de passageiros estipulada. Após isso, as escalas, compostas por viagens escolhidas e outras atividades, como folgas, recesso, férias, entre outras, são atribuídas aos tripulantes por meio da solução do PAE.

No setor educacional Goes, Costa e Steiner (2010) alertam que na maioria dos casos a elaboração da escala de professores ainda é realizada de forma manual, tornando o processo demorado e ineficiente. Diante disso é apresentada três técnicas diferentes utilizando de método matemático, abordagem heurística e método misto. A aplicação dessas técnicas em um caso real permitem a análise de seus desempenhos, permitindo a escolha da melhor técnica.

Apesar da diversidade de áreas de aplicação do problema o processo é o mesmo. Deve ser realizada uma escala de trabalho que atenda a restrições internas e externas a empresa. Tais restrições podem ser classificadas como obrigatórias, ou *hard*, e desejáveis, ou *soft*. Dechter (2003) define as restrições *hard* como condições que devem ser satisfeitas em uma otimização e as restrições *soft* como condições que geram uma penalização na função objetivo caso não sejam satisfeitas, ou seja, se a função tem como objetivo uma maximização

o seu valor será reduzido, se for a minimização seu valor será aumentado. Na realidade da programação de escalas, as restrições obrigatórias geralmente são restrições legais, impostas por legislação trabalhistas ou acordos coletivos. As restrições desejáveis em sua maior parte são internas a empresas. Essas podem ser atendimento de folgas solicitadas em determinados dias, adequação de perfil de funcionários ao perfil de tarefa, rotatividade de turnos, entre outros.

3. Modelo desenvolvido

3.1 Requisitos do modelo

Diante da problemática apresenta na introdução deste artigo, o modelo para elaboração de escalas de trabalho será desenvolvido com base na realidade de uma empresa específica. Dessa forma suas restrições serão condizentes com a legislação trabalhista aplicável às suas operações, aos acordos coletivos firmados entre essa e seu sindicato, e às condições de sua realidade operacional.

A empresa em questão realiza entregas de combustíveis a clientes contratuais e eventuais. Dessa forma ela deve estar apta a atender uma demanda requisitada por qualquer cliente. Para atender a essa demanda é necessário ter a disponibilidade de equipamentos, como caminhões e equipamentos fixos (tanques, bombas, entre outros) para realizar a entrega do combustível, de produto, no que se refere a um estoque suficiente para atender a demanda, e de mão-de-obra, para realizar os procedimentos necessários durante a operação.

O foco do presente estudo será o recurso de mão-de-obra. Atualmente, a companhia possui de doze colaboradores para atuar nas rotinas operacionais de forma a fornecer o combustível demandado pelo mercado. Como sua operação é de vinte quatro horas por dia durante os sete dias da semana esses operadores são distribuídos entre os horários disponíveis, tornando esse recurso muito limitado. Visto isso, reforça-se a importância e necessidade de um gerenciamento minucioso sobre ele, alocando-o da melhor maneira possível. O modelo desenvolvido pretende realizar a programação de maneira rápida, simples e a baixo custo.

Como a empresa opera vinte quatro horas por dia, sete dias da semana, surge a necessidade de ser realizado um revezamento entre seus funcionários a fim de atender a demanda. A partir desse revezamento são inseridas as principais restrições do modelo. Essas restrições são divididas em restrições internas e externas a empresa.

As restrições externas à empresa são de dois tipos: o primeiro são as exigências

trabalhistas, que correspondem às restrições que devem ser atendidas por necessidade da legislação brasileira e por condições acordadas com o sindicato; o segundo tipo corresponde às exigências do cliente, que significa o atendimento da demanda na hora, quantidade e qualidade exigida por esse. Para atender a qualidade exigida pelo cliente, é interessante que o operador designado a um tipo de atividade possua um perfil para execução da mesma, ou seja, adequar perfil de operadores às tarefas.

As restrições internas à empresa são basicamente sobre atendimento de solicitações de funcionários a respeito de folgas e horários e rodízio de turnos. Como essas condições têm como objetivo maior o aumento da satisfação do funcionário, essa última condição só será realizada caso exista choque de interesses entre funcionários, necessitando um rodízio de turnos durante os meses para atender solicitações de horários.

Conhecidas todas as condições do problema, o modelo terá como objetivo que seja elaborada uma escala na qual o alvo seja a minimização do seu custo total com o atendimento das restrições levantadas. Não existem restrições quanto a fixação de horários para início de jornadas de trabalho, sendo levado em consideração, inicialmente, apenas o que é exposto no artigo 73 da CLT. Em acordo firmado entre a empresa e o sindicato, o adicional noturno pago ao trabalhador referente as horas trabalhadas durante o “turno” noturno é de trinta e cinco por cento da hora base paga. Esse acréscimo será levado em consideração na contabilização do custo total da escala.

3.2 Construção do modelo

Levantado o objetivo da otimização e as restrições pertinentes a mesma, a estratégia utilizada na construção do modelo foi realizar uma otimização que minimizasse o custo total da escala e atendesse o maior número possível de restrições caso não fosse possível o atendimento dessas em sua totalidade. Dessa forma a escala obtida pelo processo seria utilizada como base para elaboração de uma escala futura não ótima, porém boa.

A plataforma utilizada para a criação do modelo foi o *Microsoft Excel* e o software de otimização utilizado foi o *OpenSolver*, o qual tem como motor de otimização a biblioteca livre COIN-OR (*Computational Infrastructure for Operations Research*). Ele é completamente compatível com o *Microsoft Excel*, não havendo necessidade de migrar modelos previamente construídos na plataforma, e não possui limites sobre o tamanho do problema.

As variáveis de decisão são binárias, representando se o funcionário trabalha ou não

durante um determinado turno de um dia específico. O horizonte temporal de análise, identificado como j , consiste em trinta dias. Quanto aos turnos, identificado por t , foi utilizada a seguinte estratégia. A maioria das entregas de combustíveis, principal atividade da empresa, possui um tempo de operação acima de trinta minutos, dessa forma um intervalo entre turnos menor que esse não agregaria tanto valor na escala e representaria uma limitação do modelo, pois ele ficaria mais trabalhos e demorado para resolver, e uma possível confusão entre os funcionários. Dessa forma há um total de 48 “turnos” disponíveis para elaboração da escala. A representação das variáveis de decisão é então:

$$m_{ijt} = 1, \text{ se o operador } i \text{ trabalhar no dia } j \text{ durante o turno } t;$$

$$= 0, \text{ caso contrário.}$$

Em que $i = (1 \dots I)$, $j = (1 \dots J)$ e $t = (1 \dots T)$.

O custo total da escala é referente ao somatório do custo de cada jornada. Para isso deve ser considerado o adicional noturno de cada turno, contabilizando a quantidade de horas noturnas que cada turno possui.

Representando as quantidades de horas noturnas em um turno como h_t , em que t refere-se ao turno. O custo de uma jornada é descrito como:

$$c_{ijt} = m_{ijt} * [(8 - h_t) * r + h_t * 1,35] \quad (1)$$

Em que c_{ijt} significa o custo da jornada do trabalhador i no dia j no turno t . Esse custo é calculado levando em consideração a quantidade de horas normais trabalhadas, que recebe uma remuneração r , e a quantidade de horas noturnas trabalhadas, que recebe um adicional de trinta e cinco por cento da hora base paga, logo remuneração de 1,35. Percebe-se que se o operador i não trabalhar no dia j durante o turno t , m_{ijt} será zero, e conseqüentemente o custo da jornada também será zero. Assim, a função-objetivo é descrita por:

$$\text{Min } z = \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I c_{ijt} \quad (2)$$

Já definida as variáveis de decisão e a função objetiva é possível prosseguir e iniciar a modelagem das restrições. Conforme estratégia descrita anteriormente, essa modelagem será realizada por partes, iniciando pela restrição de demanda. Essa será tratada nesse modelo como de tipo *hard*. O número total de funcionários que trabalham em um turno t no dia j deve ser maior que a demanda de funcionários d_{jt} :

$$\sum_{i=1}^I m_{ijt} \geq d_{jt} \quad (3)$$

A próxima restrição a ser modelada é que um funcionário só pode trabalhar um turno por dia. Isso significa que a quantidade de turnos trabalhados durante um dia por um funcionário deve ser menor ou igual a um:

$$\sum_{t=1}^T m_{ijt} \leq 1 \quad (4)$$

A próxima restrição a ser atendida condiz as solicitações de folgas dos funcionários. A estratégia utilizada foi tratar essa restrição como *soft*, ou seja, o não atendimento da mesma é considerado como uma penalidade na função objetiva e não como inviabilidade do modelo. Para isso é criada uma tabela que indique os dias que cada operador quer folgar. Dessa forma o dia em que a folga tenha sido solicitada um custo maior seja contabilizado. Logo se o operador i solicitar uma folga no dia j , tem-se que:

$$c_{ijt} = m_{ijt} * [(8-h_i) * 100 + h_i * 135], \quad (5)$$

para i e j correspondendo a dia de folga. Isso representa que o custo do dia trabalhado em que for solicitada a folga será cem vezes maior que o normal. Como o objetivo é a minimização do custo total, será elaborada uma opção de escala em que o dia de folga solicitado não seja trabalhado, desde que essa opção seja viável, ou seja, atenda ao restante das restrições.

As restrições seguintes correspondem ao máximo de dias consecutivos trabalhados e ao intervalo mínimo entre jornadas de trabalho. Neste caso, optou-se por não considerar essas restrições dentro do modelo. Após a obtenção de uma escala, são realizadas permutas de folgas entre os funcionários e permutas de horários a fim de atender essas restrições, produzindo assim uma solução heurística implementável.

4. Resultados e discussão

4.1 Aplicação do modelo

A empresa em questão realiza entregas de combustíveis a clientes contratuais e eventuais. Dessa forma ela deve estar apta a atender uma demanda requisitada por qualquer cliente. Atualmente, a companhia possui de doze colaboradores para atuar nas rotinas operacionais de forma a fornecer o combustível demandado pelo mercado. O horizonte de planejamento é de 30 dias. Quanto aos turnos, foi utilizada a seguinte estratégia. A maioria das entregas de combustíveis, principal atividade da empresa, possui um tempo de operação acima de trinta minutos, dessa forma um intervalo entre turnos menor que esse não agregaria tanto valor na escala e representaria uma limitação do modelo, pois ele ficaria mais trabalhos e demorado para resolver, e uma possível confusão entre os funcionários. Dessa forma haveria

um total de quarenta e oito, 48, turnos disponíveis para elaboração da escala. Isso representa um total de dezessete mil duzentos e oitenta, 17.280, variáveis de decisão no modelo. Com essa grandeza é praticamente impossível a resolução manual, demonstrando a necessidade do modelo computacional.

Durante o mês estudado houve apenas uma solicitação de folga de um funcionário acerca do final de semana dos dias 11, 12 e 13. O restante da matriz foi elaborada de forma que um operador não trabalhasse mais de seis dias consecutivos, devido à restrição trabalhista, e que as folgas fossem distribuídas afim de manter uma quantidade comum de funcionários disponíveis durante os dias, visto que não existe uma oscilação grande na demanda entre os dias. A Tabela 2 apresenta a distribuição, na qual “F” significa a folga e os dias sombreados são relativos aos finais de semana (sexta-feira, sábado e domingo).

TABELA 2 - Distribuição de folgas para cada funcionário durante o mês.

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18	D19	D20	D21	D22	D23	D24	D25	D26	D27	D28	D29	D30	
OP1				F	F	F				F					F				F				F					F			
OP2			F				F				F	F	F				F					F							F		
OP3		F							F					F				F	F	F				F						F	
OP4			F					F						F							F				F	F	F				
OP5	F					F			F					F							F					F	F	F			
OP6			F							F					F			F	F	F				F							F
OP7		F					F				F	F	F				F					F								F	
OP8				F	F	F			F							F						F									F
OP9	F			F	F	F		F						F								F							F		
OP10		F					F				F	F	F				F						F							F	
OP11	F							F							F			F	F	F					F					F	
OP12					F				F					F			F						F			F	F	F			

O restante das restrições, como o interstício entre jornadas, que será de onze horas, a adequação do perfil de operadores a atividade, e rodízio e solicitações de para preferência em turnos, serão atendidos após a elaboração da escala através de permutas de jornadas.

Utilizando um computador Intel® Core™ i3 com 2,40 GHz e 4 GB (Gigabyte) de memória RAM (Random Access Memory), o programa demorou por volta de quinze minutos para encontrar uma solução. Para a demanda do mês estudado e com os recursos disponíveis foi encontrada a escala de trabalho viável observada na Tabela 3.

A solução apresentada possui um custo de 2217,35 unidades monetárias. Percebe-se que todas as restrições modeladas, *hard* ou *soft*, estão atendidas no modelo. Entretanto uma restrição obrigatória não foi possível de ser modelada, referente ao intervalo mínimo entre jornadas. Isso pode ser observado em diversas situações, como, por exemplo, no intervalo do entre a jornada do primeiro dia para o segundo dia do OP1. O mesmo deveria ser maior ou igual a onze horas, porém percebe-se que seu valor é de quatro horas e trinta minutos de descanso.

TABELA 3 - Solução encontrada pelo OpenSolver.

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15
OP1	13:30	2:00	7:30	F	F	F	10:00	20:00	20:00	F	20:00	13:00	6:00	5:30	F
OP2	15:30	9:30	F	2:00	10:30	6:00	F	7:00	5:30	5:00	F	F	F	10:30	13:30
OP3	6:30	F	15:30	20:00	6:00	2:30	12:30	9:30	F	11:30	11:30	13:30	7:00	F	14:00
OP4	2:00	20:00	F	11:30	13:30	13:30	13:00	F	6:00	2:00	15:30	F	10:30	13:00	10:00
OP5	F	15:30	20:00	5:30	20:00	F	2:00	11:00	F	8:00	13:00	5:00	15:30	F	11:30
OP6	11:30	5:30	F	12:30	9:30	7:30	5:00	12:00	9:30	F	5:30	8:30	2:30	11:30	F
OP7	14:00	F	9:30	11:00	2:00	10:00	F	6:30	2:00	6:00	F	F	F	20:00	2:00
OP8	20:00	5:30	2:00	F	F	F	6:00	15:30	15:30	F	6:30	12:00	20:00	10:00	10:30
OP9	F	7:00	10:30	F	F	F	7:00	F	5:00	12:30	2:00	20:00	13:30	F	15:30
OP10	10:30	F	5:00	5:30	5:00	15:30	F	5:30	13:30	20:00	F	F	F	2:00	20:00
OP11	F	7:30	6:00	6:30	12:00	20:00	20:00	F	14:00	15:30	13:30	2:00	8:00	8:30	F
OP12	6:00	13:30	13:30	15:30	F	5:00	7:00	2:00	F	6:30	5:30	5:00	F	6:00	6:00
	D16	D17	D18	D19	D20	D21	D22	D23	D24	D25	D26	D27	D28	D29	D30
OP1	12:00	15:30	9:30	F	8:00	13:00	11:00	F	14:00	2:00	5:30	8:30	F	2:00	15:30
OP2	7:30	F	2:00	7:00	15:30	2:00	F	5:30	2:00	5:30	8:30	11:30	F	15:30	6:00
OP3	2:00	10:30	F	F	F	20:00	12:00	20:00	F	13:30	5:00	15:30	13:00	F	5:30
OP4	F	5:00	5:30	13:00	7:00	F	6:00	11:00	5:00	F	F	F	2:00	13:30	14:00
OP5	5:00	5:30	15:30	8:00	F	14:00	15:30	5:00	12:30	F	F	F	20:00	5:00	12:00
OP6	15:30	14:00	F	F	F	7:00	20:00	2:00	F	8:00	12:00	2:30	5:30	10:00	F
OP7	6:30	F	6:00	13:00	12:30	14:00	F	13:30	6:00	11:30	9:00	20:00	10:00	F	20:00
OP8	F	2:00	6:30	2:00	2:30	F	11:00	F	20:00	15:30	14:00	10:30	12:00	7:00	F
OP9	5:30	11:30	13:30	6:00	20:00	F	12:30	15:30	15:30	6:00	7:00	10:00	F	9:00	10:00
OP10	20:00	F	9:00	5:30	8:30	9:30	9:30	F	11:30	8:00	20:00	9:30	5:30	F	9:30
OP11	14:00	20:00	F	F	F	6:00	2:00	7:00	F	20:00	2:00	12:30	7:00	12:00	F
OP12	F	11:30	20:00	20:00	9:30	5:00	F	9:30	10:30	F	F	F	10:30	20:00	2:00

T

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15
OP1	13:30	9:30	7:30	F	F	F	6:00	9:30	13:30	F	11:30	8:30	8:00	11:30	F
OP2	6:30	5:30	F	5:30	5:00	6:00	F	5:30	5:00	6:00	F	F	F	6:00	6:00
OP3	15:30	F	10:30	20:00	20:00	15:30	13:00	12:00	F	12:30	13:00	12:00	10:30	F	13:30
OP4	2:00	2:00	F	2:00	2:00	2:30	2:00	F	2:00	2:00	2:00	F	2:30	2:00	2:00
OP5	F	13:30	13:30	15:30	13:30	20:00	F	15:30	F	15:30	13:30	13:00	13:30	F	14:00
OP6	11:30	7:00	F	11:00	9:30	10:00	7:00	7:00	6:00	F	5:30	5:00	6:00	10:00	F
OP7	14:00	F	9:30	12:30	12:00	F	7:00	11:00	14:00	11:30	F	F	F	13:00	11:30
OP8	20:00	15:30	15:30	F	F	F	12:30	20:00	15:30	F	15:30	13:30	15:30	20:00	15:30
OP9	F	20:00	20:00	F	F	F	20:00	F	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	F	20:00
OP10	10:30	F	6:00	6:30	6:00	7:30	F	6:30	5:30	6:30	F	F	F	8:30	10:00
OP11	F	7:30	5:00	11:30	10:30	13:30	10:00	F	9:30	8:00	6:30	5:00	7:00	10:30	F
OP12	6:00	5:30	2:00	5:30	F	5:00	5:00	2:00	F	5:00	5:30	2:00	F	5:30	10:30
	D16	D17	D18	D19	D20	D21	D22	D23	D24	D25	D26	D27	D28	D29	D30
OP1	7:30	11:30	9:00	F	9:30	13:00	11:00	F	11:30	8:00	8:30	11:30	F	12:00	10:00
OP2	2:00	F	6:00	6:00	8:00	5:00	F	5:30	6:00	2:00	2:00	2:30	F	7:00	6:00
OP3	14:00	11:30	F	F	F	14:00	12:00	13:30	F	13:30	12:00	12:30	12:00	F	14:00
OP4	F	2:00	2:00	2:00	2:30	F	2:00	2:00	2:00	F	F	F	2:00	2:00	2:00
OP5	15:30	14:00	13:30	13:00	F	20:00	15:30	15:30	14:00	F	F	F	13:00	13:30	15:30
OP6	5:30	5:00	F	F	F	7:00	9:30	7:00	F	6:00	5:30	9:30	7:00	9:00	F
OP7	12:00	F	9:30	8:00	12:30	14:00	F	11:00	12:30	11:30	9:00	10:30	10:30	F	12:00
OP8	F	15:30	15:30	13:00	15:30	F	12:30	F	15:30	15:30	14:00	15:30	20:00	15:30	F
OP9	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	F	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	F	20:00	20:00
OP10	5:00	F	6:30	7:00	8:30	6:00	6:00	F	10:30	5:30	5:00	8:30	5:30	F	9:30
OP11	6:30	10:30	F	F	F	9:30	11:00	9:30	F	8:00	7:00	10:00	10:00	10:00	F
OP12	F	5:30	5:30	5:30	7:00	2:00	F	5:00	5:00	F	F	F	5:30	5:00	5:30

ABE
LA 4
-
Escal
a
obtid
a
após
proce
sso
de
perm
utas

Tendo em vista esse problema, conforme foi exposto anteriormente, foram realizadas permutas entre os horários de forma que essa restrição seja atendida. Por exemplo, o OP1, que entraria de 2:00 entrará de 9:30, horário inicial do OP2. Realizando as permutas dessa forma, o custo total da escala é mantido. A escala obtida após esse processo é observada na Tabela 4.

Por conta desse processo ser realizado manualmente, o tempo para a obtenção da escala pela metodologia apresentada foi aumentado. Considerando que foi gasto trinta minutos para realizar as permutas, somados aos quinze minutos da elaboração da escala inicial, o tempo total para a elaboração da escala foi de quarenta e cinco, 45, minutos. Apesar de parecer alto, esse tempo ainda é muito menor do que o que era levado ao utilizar os métodos tradicionais, que poderia chegar até dez horas. Isso representa uma redução de 92,5% no tempo de elaboração da escala.

4.2 Comparação com o método adotado na empresa

Foi utilizada uma escala elaborada pelo método empírico adotado na empresa para comparação com a escala com base no modelo desenvolvido, exposta na Tabela 5 abaixo.

TABELA 5 - Escala elaborada por método da empresa

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18	D19	D20	D21	D22	D23	D24	D25	D26	D27	D28	D29	D30
OP1	7	6	6	F	F	F	6	6	F	6	6	6	6	6	F	6	6	F	6	6	F	6	6	6	6	6	6	F	6	6
OP2	6	F	5	6	F	6	7	5	6	5	F	F	F	5	6	7	F	5	5	5	6	7	F	5	7	7	7	6	F	10
OP3	5	5	F	5	5	5	5	F	5	F	5	5	5	F	5	5	5	F	F	F	5	5	5	F	5	5	5	5	5	5
OP4	23	23	23	23	23	F	23	23	23	23	F	F	F	F	23	23	F	23	F	23	F	23	23	23	F	23	23	23	F	
OP5	F	14	14	F	F	F	14	14	14	F	14	14	14	14	F	14	14	14	16	16	16	14	F	14	14	14	14	14	14	F
OP6	16	F	16	16	16	16	16	F	16	16	16	16	16	F	16	16	F	16	F	20	20	20	20	20	F	F	F	16	16	16
OP7	13	13	F	13	13	13	13	F	13	13	13	13	13	13	F	13	13	F	F	F	14	13	14	F	13	13	13	11	F	13
OP8	14	F	13	14	14	14	F	16	13	14	F	F	F	16	13	14	F	13	14	14	F	16	16	16	16	16	16	F	13	14
OP9	7	7	7	F	7	7	F	7	7	7	F	7	7	7	7	F	7	7	12	12	12	F	12	12	F	F	F	7	7	7
OP10	8	8	F	7	6	8	8	8	F	8	7	8	8	8	F	8	8	6	7	7	7	F	7	7	F	F	F	8	F	8
OP11	F	20	20	F	F	F	23	20	20	F	20	23	23	23	20	F	16	20	20	23	F	8	8	8	F	23	20	20	20	23
OP12	20	16	F	20	20	20	F	15	20	F	20	20	20	20	F	20	20	23	F	F	F	8	8	8	20	20	F	15	15	20

A escala da Tabela 5 foi elaborada por um gestor com experiência no desenvolvimento de escalas, realizando esse processo nas escalas dos últimos dois anos. Isso significa que existe um conhecimento acumulado nessa pessoa que não é distribuído para a companhia (falha na gestão de conhecimento). Foram gastas quatro horas para a elaboração da escala de forma a atender todas as restrições. O custo total da escala foi de 2260 unidades monetárias, porém durante o processo de elaboração essa variável não foi levada em consideração como apoio a decisão. O gestor não realizou nenhuma verificação sobre o atendimento da demanda, para isso o elaborador fixou alguns horários (5, 6, 7, 13, 14, 16, 20 e 23 horas) de forma distribuir os funcionários durante o dia. Apesar de ser uma boa estratégia, a oscilação da demanda pode gerar sobrecarga ou ociosidade nos operadores.

A primeira análise a ser realizada é referente ao custo das escalas. Apesar de, nesse

questo, não apresentar uma grande diminuição o custo da nova escala, aproximadamente 2% menor, já representa em números absolutos uma boa economia, pois o custo de mão-de-obra é o maior gasto operacional da companhia. Outro ponto a ser considerado é o custo indireto da escala. Ao não se verificar se a demanda está realmente sendo atendida pela escala, possíveis custos podem ser adicionados. Esses podem ser classificados como custos de não qualidade e são representados por multas de atrasos, perda de clientes eventuais por não possuir capacidade de atendimento e o impacto disso na reputação e marca da empresa.

A economia de tempo na elaboração corresponde a uma redução de 85%. Parte desse tempo pode ser devolvida ao processo ao ser utilizado para melhoria da escala, analisando o impacto de possíveis mudanças quanto a atendimento de restrições e no custo total. No que tange o assunto sobre gestão de conhecimento, o novo método descentraliza o processo e o conhecimento sobre escalas, tornando o processo mais suscetível a melhorias e representando uma melhora para a empresa, pois é uma atividade extremamente importante, mas apenas uma pessoa consegue executá-la bem.

Ao utilizar o modelo desenvolvido o processo também se torna mais informatizado. São geradas novas variáveis e ferramentas de apoio à decisão desconsideradas anteriormente na empresa. A partir do modelo, o gestor pode inferir o impacto de decisões acerca de custo, satisfação de funcionários, atendimento de demanda, dentre outros. Também é possível rastrear qual o impacto de uma mudança de programação repentina, e rapidamente uma nova escala ser elaborada.

5. Conclusão

Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um modelo de programação ótima da escala de funcionários de uma empresa sujeita ao atendimento de restrições identificadas. Os resultados da aplicação do modelo a um caso real mostraram-se satisfatórios, representando uma redução em custo, tempo de elaboração e insatisfação dos colaboradores. O modelo representa uma alternativa viável para a automatização do processo manual de elaboração de escalas adotado na empresa.

Como trabalhos futuros, seria interessante integrar o modelo ao desenvolvimento de indicadores gerenciais, como capacidade máxima atendida com os recursos disponíveis, capacidade ociosa dos colaboradores em uma escala, produtividade por operador, entre outros que agreguem valor ao processo de tomada de decisão. A incorporação de novas metodologias e ferramentas, assim como a remodelagem do modelo com outras restrições

também se apresenta como um ponto forte para a busca da melhoria contínua, mantendo o modelo sempre atual e retratando da melhor forma a realidade empresarial.

Referências

- BURKE, E. K.; CAUSMAEKER, P.; BERGHE, G. V.; LANDEGHEM, H. V. The state of the art of nurse rostering. *Journal of Scheduling*, v.7, n.6, p.441-499, 2004.
- CHEANG, B.; LI, H.; LIM, A.; RODRIGUES, B. Nurse rostering problem: a bibliographic survey. *European Journal of Operations Research*, v.151, n.3, p. 447-469, 2003.
- DECHTER, R. *Constraint Processing*. Elsevier, 2003.
- DOMINGUEZ, L.A.R. *Programação de escalas usando algoritmos evolutivos: aplicação em empresas de transporte rodoviário*. 201 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade de campinas, Campinas, 2000.
- GÓES, A.R.T.; COSTA, D. M. B.; STEINER, M. T. A. Otimização na programação de horários de professores/turmas: Modelo Matemático, Abordagem Heurística e Método Misto. *Revista Eletrônica de Sistema e Gestão*, v.5, n.1, p.50-66, 2010.
- GOMES, W. P.. *Programação de tripulantes de aeronaves no contexto brasileiro*. 140f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- HARRIS, G.; BOHLE, P. A benchmark for automated roster generation algorithms. *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 21, p. 243-247, 1998.
- LAPORTE, G. The art and science of designing rotating schedules. *The Journal of the Operational Research Society*. v. 50, n. 10, p.1011-1017, 1999.
- SANTOS, H. G.; TOFFOLO, T.A.M.; GOMES, R.A.M.; RIBAS, G.S. Integer programming techniques for the nurse rostering problem. *Annals of Operations Research*. v.239, n.1, p.225-251, 2016.