

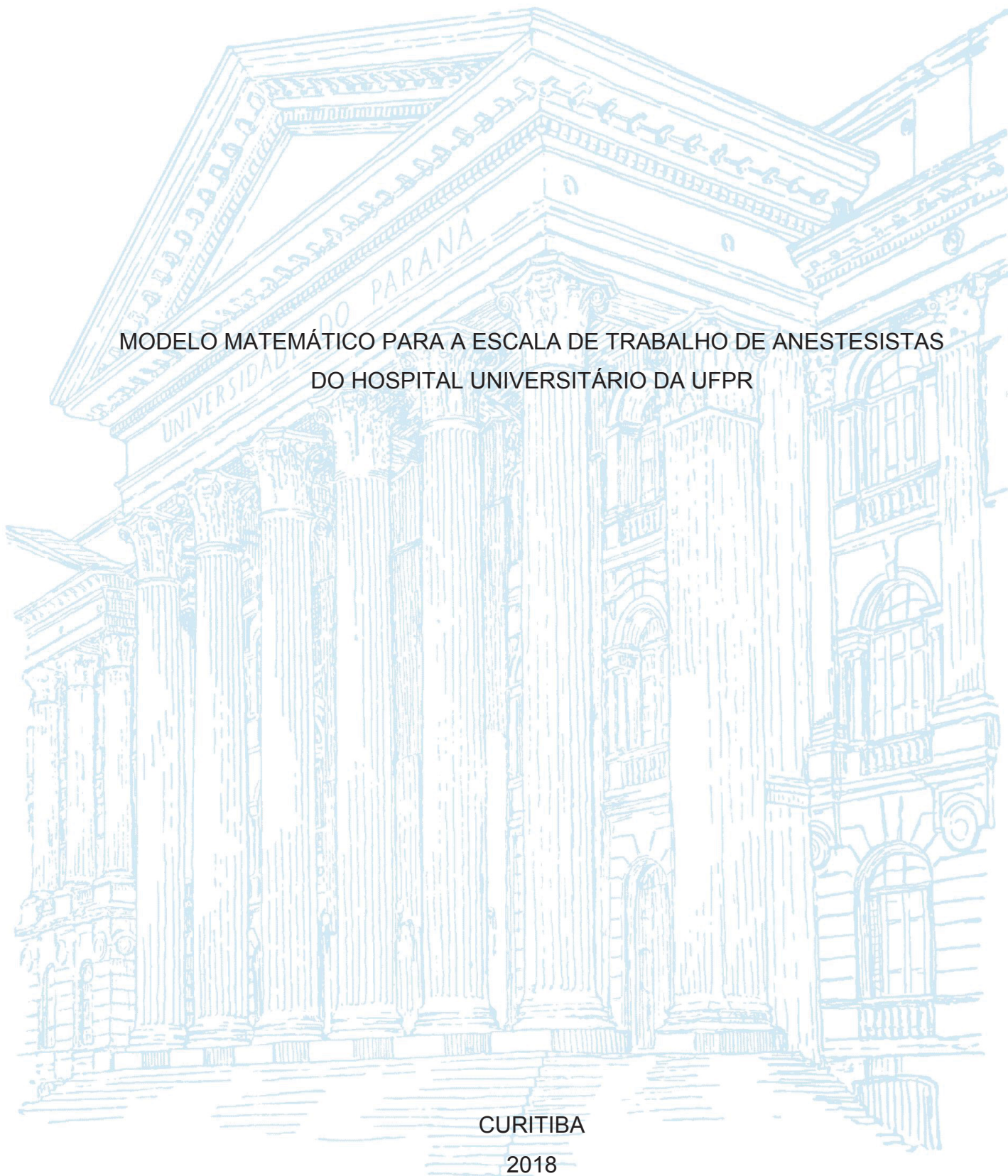
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ADRIANA ALVES FRESSATO

MODELO MATEMÁTICO PARA A ESCALA DE TRABALHO DE ANESTESISTAS
DO HOSPITAL UNIVERSITÁRIO DA UFPR

CURITIBA

2018



ADRIANA ALVES FRESSATO

MODELO MATEMÁTICO PARA A ESCALA DE TRABALHO DE ANESTESISTAS
DO HOSPITAL UNIVERSITÁRIO DA UFPR

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia, Setor de Tecnologia e Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Métodos Numéricos em Engenharia.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Valentim Loch
Coorientador: Prof. Dr. José Eduardo Pécora Junior

CURITIBA

2018

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

F887m

Fressato, Adriana Alves

Modelo matemático para a escala de trabalho de anestesistas do Hospital
Universitário da UFPR / Adriana Alves Fressato. – Curitiba, 2018.

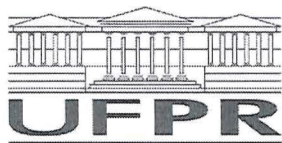
Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Exatas
e Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em
Engenharia, 2018.

Orientador: Gustavo Valentim Loch – Coorientador: José Eduardo
Pécora Junior.

1. Horário de trabalho. 2. Sistema de turno de trabalho. 3. Anestesistas. 4.
Taguchi, Métodos (Controle de qualidade). I. Universidade Federal do
Paraná. II. Loch, Gustavo Valentim. III. Pécora Junior, José Eduardo. IV.
Título.

CDD: 331.2570981

Bibliotecário: Elias Barbosa da Silva CRB-9/1894



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR CIÊNCIAS EXATAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MÉTODOS NUMÉRICOS
EM ENGENHARIA

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em MÉTODOS NUMÉRICOS EM ENGENHARIA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **ADRIANA ALVES FRESSATO** intitulada: **MODELO MATEMÁTICO PARA A ESCALA DE TRABALHO DE ANESTESISTAS DO HOSPITAL UNIVERSITÁRIO DA UFPR**, após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 08 de Fevereiro de 2018.


GUSTAVO VALENTIM LOCH

Presidente da Banca Examinadora (UFPR)


ROBERTO ZANETTI FREIRE
Avaliador Externo (PUC/PR)


CASSIUS TADEU SCARPIN
Avaliador Interno (UFPR)

RESUMO

O Complexo Hospital das Clínicas da Universidade Federal do Paraná (CHC-UFPR) é um dos principais centros médicos do estado, atendendo milhares de pessoas todo os meses. O Complexo HC disponibiliza diversas consultas com especialistas, exames e procedimentos cirúrgicos à população e o atendimento é realizado exclusivamente pelo Sistema Único de Saúde (SUS).

Os médicos anestesistas são indispensáveis para área cirúrgica do hospital, pois são os profissionais responsáveis por sedar e/ou bloquear a dor do paciente durante um procedimento invasivo, proporcionando maior conforto e segurança. Ao todo, 15 especialidades cirúrgicas são oferecidas no HC, além de oito tipos de exames, que só podem ser realizados com a presença de um médico anestesista. Portanto, a alocação adequada destes profissionais é fundamental, pois possibilita um maior número de procedimentos atendidos e, conseqüentemente, aumenta a qualidade de vida e bem estar dos usuários do sistema de saúde público brasileiro.

Atualmente o HC conta com a disponibilidade de anestesistas de quatro vínculos empregatícios distintos, sendo que cada um deles apresenta restrições contratuais e custos próprios. Os anestesistas contratados pela EBSEH, com carga horária semanal de 24 horas, estão sujeitos à Consolidação das Leis do Trabalho (CLT). Esse tipo de anestesista não gera custos adicionais de alocação. Também não geram custos adicionais a alocação de anestesistas da Fundação de Apoio da Universidade Federal do Paraná (FUNPAR) e os anestesistas do Regime Jurídico Único (RJU). No caso dos anestesistas do RJU, a carga horária semanal contratada pode ser de 20 ou 40 horas.

Caso não haja disponibilidade de anestesistas EBSEH, FUNPAR ou RJU para atender algum procedimento, é possível contratar um anestesista externo ao hospital para atendê-lo. Diferentemente dos demais contratos, a alocação de anestesistas externos gera custos adicionais.

Todos os anestesistas que atuam no hospital devem ter uma duração máxima de turno trabalhado e um período mínimo de descanso entre os turnos respeitado, conforme o contrato que o médico se enquadra.

Neste trabalho foi proposto um modelo matemático multiobjetivo para a alocação dos anestesistas, considerando as restrições referentes aos quatro vínculos empregatícios aos quais os anestesistas estão submetidos, preferências individuais de cada profissional, restrições trabalhistas de jornada de trabalho e restrições operacionais do CHC-UFPR.

Para auxiliar na definição dos pesos na função objetivo do modelo, duas metodologias foram utilizadas: Método do Arranjo Ortogonal de Taguchi e *Analytic Hierarchy Process*. Com o uso do modelo, a escala de uma semana pode ser definida em menos de 15 minutos e a escala mensal em até uma hora. As soluções obtidas foram validadas pelos gestores do hospital e podem ser utilizadas como base para a alocação de anestesistas, possibilitando maior satisfação dos médicos anestesistas e redução de custos.

Palavras Chaves: Anestesistas, Timetabling, Programação Inteira, Analytic Hierarchy Process, Método do Arranjo Ortogonal de Taguchi.

ABSTRACT

The Clinical Hospital Complex of the Federal University of Paraná (CHC-UFPR) is one of the main medical centers in the state, serving thousands of people every month. The HC Complex provides several consultations with specialists, examinations and surgical procedures to the population and the care is performed exclusively by the Unified Health System (SUS).

Anesthesiologists are indispensable for the surgical area of the hospital, as they are the professionals responsible for sedating and / or blocking the patient's pain during an invasive procedure, providing greater comfort and safety. In all, 15 surgical specialties are offered in HC, in addition to eight types of exams, which can only be performed with the presence of an anesthesiologist. Therefore, the adequate allocation of these professionals is fundamental, since it allows a greater number of procedures and, consequently, increases the quality of life and well being of the users of the Brazilian public health system.

Currently the HC counts on the availability of anesthesiologists from four different employment links, each of which presents contractual restrictions and own costs. The anesthesiologists contracted by EBSEH, with a weekly workload of 24 hours, are subject to the Consolidation of Labor Laws (CLT). This type of anesthetist does not generate additional allocation costs. The anesthesiologists of the Federal University of Paraná Support Foundation (FUNPAR) and the anesthesiologists of the Unique Legal Regime (RJU) also do not incur additional costs. In the case of RJU anesthetists, the weekly workload contracted may be 20 or 40 hours.

If EBSEH, FUNPAR or RJU anesthesiologists are not available to attend any procedure, it is possible to hire an anesthetist outside the hospital to assist you. Unlike the other contracts, the allocation of external anesthetists generates additional costs.

All anesthesiologists working at the hospital should have a maximum length of shift worked and a minimum rest period between the shifts respected, according to the contract that the doctor fits.

In this work, a multiobjective mathematical model was proposed for the allocation of anesthesiologists, considering the restrictions related to the four employment relationships to which the anesthesiologists are submitted, individual preferences of each professional, working day restrictions and operational restrictions of the CHC-UFPR.

To help define the weights in the objective function of the model, two methodologies were used: Taguchi Orthogonal Array Method and Analytic Hierarchy Process. With the use of the model, the scale of one week can be set in less than 15 minutes and the monthly scale in up to one hour. The solutions obtained were validated by the hospital managers and can be used as a basis for the allocation of anesthesiologists, allowing greater anesthesiologists' satisfaction and cost reduction.

Keywords: Anesthetists, Timetabling, Integer Programming, Analytic Hierarchy Process, Taguchi Orthogonal Array Designs.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – ARRANJO ORTOGONAL L_4 (23)	21
TABELA 2 – ARRANJO ORTOGONAL L_8 (27)	22
TABELA 3 – ESCALA PADRÃO USADA NO AHP.....	23
TABELA 4 – VALORES DE R_I DE ACORDO COM O NÚMERO DE FATORES	25
TABELA 5 – MATRIZ DE COMPARAÇÃO ENTRE FATORES	27
TABELA 6 – TURNOS DE TRABALHO DOS ANESTESISTAS.....	32
TABELA 7 – TABELA DE TURNOS.....	34
TABELA 8 – NOTAÇÃO USADA PARA CONJUNTOS.....	38
TABELA 9 – NOTAÇÃO USADA PARA PARÂMETROS	39
TABELA 10 – NOTAÇÃO USADA PARA VARIÁVEIS	40
TABELA 11 – FATORES E NIVEIS CONSIDERADOS.....	47
TABELA 12 – RESULTADO DOS TESTES DO ARRANJO ORTOGONAL DE TAGUCHI USANDO ANOVA	50
TABELA 13 – VALOR SUGERIDO PARA OS PARÂMETROS	52
TABELA 14 – MATRIZ DE PRIORIDADES (GERENTE ADMINISTRATIVO).....	53
TABELA 15 – MATRIZ DE PRIORIDADES (GERENTE OPERACIONAL).....	53
TABELA 16 – PESOS UTILIZADOS.....	55
TABELA 17 – RESULTADOS OBTIDOS PARA UMA SEMANA.....	57
TABELA 18 – GAP E TEMPO DE EXECUÇÃO PARA OS MODELOS SEMANAIS	59
TABELA 19 – RESULTADOS OBTIDOS PARA QUATRO SEMANAS	60
TABELA 20 – REPETIÇÃO DE ESCALA.....	61
TABELA 21 – RESULTADOS MENSAIS	61
TABELA 22 – COMPARAÇÃO ENTRE A ESCALA REALIZADA E OS RESULTADOS COMPUTACIONAIS OBTIDOS.....	62

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - DECOMPOSIÇÃO HIERÁRQUICA DO PROBLEMA	26
FIGURA 2 - ANÁLISE TAGUCHI PARA O USO DO PARÂMETRO REFERENTE AO CORINGA.....	51
FIGURA 3 - RESULTADO AHP	54

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
1.1	OBJETIVO	8
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO	9
2	REVISÃO DE LITERATURA	10
2.1	O PROBLEMA DE <i>TIMETABLING</i>	10
2.2	O PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DE MÉDICOS	12
2.3	MÉTODO DO ARRANJO ORTOGONAL DE TAGUCHI	19
2.4	ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP)	23
3	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	29
3.1	ANESTESIOLOGIA	29
3.2	O SETOR DE ANESTESIOLOGIA DO HC	31
4	MODELO MATEMÁTICO	37
5	ESTUDO DE PESOS NA FUNÇÃO OBJETIVO	46
5.1	MÉTODO DO ARRANJO ORTOGONAL DE TAGUCHI	46
5.2	ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP)	52
6	RESULTADOS	55
6.1	PLANEJAMENTO SEMANAL	55
6.2	PLANEJAMENTO MENSAL	59
7	CONCLUSÕES	64
	REFERÊNCIAS	66

1. INTRODUÇÃO

O Hospital de Clínicas da Universidade Federal do Paraná (HC-UFPR) é um dos maiores centros médicos do estado do Paraná, atendendo milhares de pessoas todos os meses. Inaugurado em 1961, a partir da necessidade de disponibilizar um local para o treinamento dos alunos de medicina e oferecer atendimento médico à população, foi um dos primeiros hospitais certificados pelo Ministério da Educação e Cultura e Ministério da Saúde como Hospital de Ensino. Em 2001, a Maternidade Victor Ferreira do Amaral passou a fazer parte da Universidade Federal do Paraná como hospital universitário da UFPR.

Em 2014, foi formado o Complexo Hospital de Clínicas da Universidade Federal do Paraná (CHC-UFPR) com a integração dos dois hospitais universitários da UFPR à rede de hospitais com gestão compartilhada com a Empresa Brasileira de Serviços Hospitalares (EBSERH, 2018). O Complexo HC é considerado um dos maiores hospitais didático-pedagógicos do país, pelo volume de pacientes atendidos e pelas especialidades que disponibiliza. O atendimento no CHC-UFPR é realizado exclusivamente pelo Sistema Único de Saúde (SUS).

Segundo a Empresa Brasileira de Serviços Hospitalares (EBSERH), o Hospital de Clínicas realizou, em média, 840 cirurgias por mês em 2016. Para a realização destes procedimentos cirúrgicos, além de alguns exames, é necessária a utilização de anestesia e, portanto, a presença de um anestesista é obrigatória.

O anesthesiologista, também chamado de anestesista, é um médico formado pelas Faculdades de Medicina com especialização em Anestesiologia e possui vasto conhecimento em anatomia, fisiologia e farmacologia. São profissionais indispensáveis em procedimentos invasivos, em que há necessidade de ação anestésica para maior conforto e segurança do paciente.

Os anestesistas são profissionais capacitados para trabalhar em diversos procedimentos cirúrgicos e exames e atendem pacientes de todas as idades e condições. Sua formação abrangente os capacita à trabalhar com diversas técnicas e medicamentos, com competência para realizar o procedimento anestésico com segurança, utilizando métodos de monitoramento altamente tecnológicos e precisos. A

presença de anestesistas é necessária desde antes do procedimento anestésico e até a recuperação do paciente após a realização da cirurgia ou exame. Devido ao risco anestésico, o anestesista responsável deve acompanhar somente um paciente por vez e estar alerta à qualquer alteração do paciente.

Atualmente, o CHC-UFPR possui quatro tipos de contrato de anestesistas, dos quais, três não geram custos adicionais de alocação. É o caso dos servidores da UFPR, contratados via Regime Jurídico Único (RJU), dos funcionários da Fundação de Apoio da Universidade Federal do Paraná (FUNPAR) e dos funcionários contratados pela EBSEH. Caso a demanda do hospital seja maior do que o número de anestesistas disponíveis, é possível contratar anestesistas externos para aumentar o número de atendimentos. Essa contratação é realizada por procedimento e gera custos ao CHC-UFPR, conforme condições firmadas por contrato entre o hospital e a Cooperativa Paranaense das Entidades Prestadoras de Assistência à Área da Saúde (COPAS).

Caso, mesmo com a alternativa de alocação de anestesistas da cooperativa, não haja anestesista disponível para atender um determinado procedimento, o mesmo deve ser cancelado, pois não é possível realizá-lo sem o acompanhamento de um anestesista.

Devido à importância dos anestesistas no atendimento das cirurgias e exames, a má utilização de sua mão de obra afeta as operações do hospital, podendo prejudicar os pacientes, em caso de não atendimento de procedimento, e gerar prejuízos financeiros, caso a contratação de anestesistas externos seja recorrente.

Atualmente, a escala de trabalho dos anestesistas do HC é realizada manualmente, com 48 horas de antecedência por um médico responsável, que utiliza unicamente seu conhecimento empírico e experiência na tomada de decisão. Mas, por representar uma mão de obra cara e especializada, atribuir tarefas de Gestão de Operações à médicos é ocupar um tempo precioso que poderia ser usado no atendimento de pacientes (Volland *et al.*, 2017). Além disso, esses médicos normalmente não possuem formação específica para desempenhar essa tarefa. O processo de definição da escala dos anestesistas do CHC-UFPR leva cerca duas horas para ser finalizado. É um processo difícil pois considera as 14 salas do centro cirúrgico e os diversos procedimentos de exames e especialidades cirúrgicas que devem ser atendidos, além de contemplar os quatro vínculos empregatícios aos quais os anestesistas estão

submetidos, cada um com suas próprias peculiaridades de custo e cargas de trabalho. As preferências individuais de cada profissional e seus períodos de indisponibilidade também são levados em consideração, dificultado ainda mais a definição empírica da escala.

Portanto, a necessidade de realizar a alocação dos médicos de forma automática, usando metodologias de programação matemática, é de extrema importância para aumentar a satisfação dos médicos e minimizar os custos do hospital.

1.1 Objetivo

Propor um modelo matemático de Programação Linear Inteira (PLI) para a grade horária mensal dos anestesistas do HC.

Como objetivos específicos da presente dissertação, pode-se destacar:

- Descrever o funcionamento do setor de Anestesiologia do HC e apresentar dados do problema da definição de escala de anestesistas realizado no hospital.
- Realizar um levantamento bibliográfico sobre as particularidades e restrições a serem consideradas no modelo.
- Pesquisar trabalhos correlatos e abordagens aplicáveis ao problema tratado.
- Criar um modelo matemático adequado ao funcionamento do hospital, possibilitando o suporte na tomada de decisão.
- Utilizar metodologias para a definição das penalidades da função objetivo do modelo, buscando reproduzir a dinâmica do hospital da melhor maneira possível.
- Implementar computacionalmente o modelo.
- Realizar análises e comparações entre os resultados obtidos computacionalmente em relação à escala realizada no hospital.

1.2 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho está dividido em sete capítulos, sendo que o capítulo 2 é composto por referenciais teóricos; o capítulo 3 apresenta as características do problema de alocação dos anestesistas do CHC-UFPR; o capítulo 4 apresenta o modelo matemático proposto; o capítulo 5 apresenta o estudo de pesos da função objetivo e os capítulos 6 e 7 apresentam os resultados computacionais obtidos e conclusões do trabalho.

2 . REVISÃO DE LITERATURA

O problema de alocação de recursos é comum em todas as áreas da literatura, inclusive no setor de saúde. Podem ser abordados para a designação de médicos, enfermeiras, pacientes, materiais cirúrgicos, entre outros. Neste capítulo, são apresentados alguns trabalhos usados como base para construção do modelo proposto na presente dissertação.

2.1 O problema de *Timetabling*

O problema de *timetabling* é um problema clássico da literatura de Programação Linear Inteira (PLI), sendo abordado inicialmente por Dantzig (1954) para designar a escala de trabalho de funcionários de um posto de pedágio portuário.

O problema é composto basicamente por um intervalo de tempo, um conjunto finito de recursos, um conjunto de encontros a serem atendidos e restrições específicas do problema. (BURKE *et al.*, 2003). Este intervalo de tempo pode estar disponível em horas, períodos, dias, semanas e meses, de acordo com a adaptação necessária ao problema. Os recursos podem ser qualquer elemento necessário para a execução do serviço, como salas, profissionais e outros. Os encontros consistem na união do intervalo de tempo com os recursos, de modo que o serviço a ser prestado possa ser executado, podendo ser cirurgias, aulas, postos de serviço, jogos esportivos, entre outros. As restrições representam as limitações impostas ao problema, como disponibilidade, preferências e espaço físico. O problema de *timetabling* consiste em designar, da melhor forma possível, encontros e recursos em um determinado intervalo de tempo respeitando um certo conjunto de restrições. (BURKE *et al.*, 2003).

O problema de construção de grade horária tem sido estudado desde a década de 50 e vários métodos de resolução já foram empregados para o problema, sejam métodos exatos ou heurísticas. Devido sua natureza combinatória, torna-se difícil obter soluções ótimas ou, até mesmo, factíveis para o problema. (BUCCO, 2014).

Segundo BUCCO (2014), algoritmos exatos podem ser usados para resolvê-lo, sendo necessário uso de técnicas heurísticas à medida que o problema cresce em número de variáveis e restrições.

Existem várias ramificações deste problema, cada uma com suas próprias ramificações, características e restrições. Cada uma possui sua própria maneira de dividir os intervalos de tempo e definir seus próprios recursos e encontros, variando também de acordo com os objetivos do gestor. Algumas destas variações são o *School Timetabling Problem* (escolas), *Physician Scheduling* (hospitais), *Sports Timetabling* (esportes), *Transportation Timetabling* (transporte) e *Entertainment Timetabling* (entretenimentos diversos), e cada uma destas tem suas subáreas de estudo. (BUCCO, 2014).

Tipicamente, os problemas de *timetabling* apresentam diversos objetivos. Por exemplo, no problema de definição de grade horária de escolas, o objetivo inicial pode ser atender todas as aulas de forma a minimizar os dias trabalhados pelos professores. Porém, o problema pode ser melhor adaptado à realidade e incluir também os objetivo de minimizar o períodos de ociosidade dos professores entre as aulas e dar preferências à aulas geminadas.

Neste caso, o modelo é dito multiobjetivo ou multicritério. Além disso, os objetivos considerados no problema de otimização podem ser conflitantes entre si. O conflito entre os objetivos é uma noção fundamental da tomada de decisão multicritério. (DIAKOULAKI *et al.*, 1995).

O objetivo de um problema de otimização multiobjetivo geral é

$$\underset{x}{\text{minimizar}} F(x) = [F_1(x), F_2(x), \dots, F_k(x)]^T$$

onde k é o número de funções objetivos, x é o vetor das variáveis do problema e $F(x)$ é um vetor de funções objetivos $F_i(x)$.

Uma abordagem comum é combinar as funções objetivos $F_i(x)$ em uma única função de custo total. (GENNERT & YUILLE, 1988). Essa função de custo total pode ser escrita como uma soma ponderada das funções objetivos $F_i(x)$. O método de soma ponderada é um método fácil de ser aplicado e fornece uma aproximação linear da função de hierarquia dos objetivos. (MARLER & ARORA, 2010). Ao utilizar o método de soma ponderada para resolver o problema multiobjetivo, é necessário selecionar pesos w_i e minimizar a função objetivo composta $U = \sum_{i=1}^k w_i F_i(x)$. Muitas vezes, os pesos são

vistos como medidas gerais da importância relativa de cada função objetivo (MARLER & ARORA, 2010).

A definição dos pesos adequados consiste em uma tarefa difícil, pois é necessário avaliar a importância de cada objetivo em relação aos outros. Para isso, alguns métodos de definição de pesos podem ser utilizados, como por exemplo, o *Analytic Hierarchy Process* (AHP).

A importância relativa de cada objetivo depende do método utilizado para definir os pesos e do julgamento subjetivo tomador de decisão. Diferentes tomadores de decisão apresentarão diferentes pesos com o mesmo método, pois eles tem percepções diferentes sobre a importância relativa de cada critério. (DIAKOULAKI *et al.*, 1995).

2.2 O problema de alocação de médicos

Os médicos são, em geral, as ferramentas mais valiosas de um hospital, pois são profissionais altamente treinados e capacitados tornando difícil substituí-los. Além dos contratos padrões de cada instituição, é comum que os empregadores façam acordos específicos para cada médico, gerando restrições diferenciadas. Devido a isto, dar atenção a detalhes como as preferências de cada funcionário e a questão de justiça entre turnos é de grande importância na programação dos médicos. (ERHARD *et al.*, 2017).

Diferente de outras instituições em que a escala é feita em períodos interruptos, hospitais devem funcionar 24 horas por dia, durante 7 dias por semana e horários de disponibilidades muito particulares para seus funcionários. (PÉCOR JR, 2002).

Instituições que trabalhem com escassez ou excesso de médicos normalmente possuem grandes problemas. A escassez irá restringir o número de procedimentos atendidos e sobrecarregar os médicos contratados. Já o excesso irá aumentar os custos de mão de obra do hospital e a ociosidade dos profissionais (ERHARD *et al.*, 2017).

O problema de definição de escala de trabalho de médicos se destaca em meio ao conjunto de problemas de *timetabling*, pois apresenta diversas características próprias. Segundo Erhard *et al.* (2017), as características deste problema são:

- Recurso com alto custo;
- Escassez de médicos/dificuldade de substituição;

- Diversidade de contratos;
- Atendimento de preferências;
- Educação contínua e diferenças entre níveis de experiência.
- Diversidade de tarefas;
- Composição de equipe;
- Horário de funcionamento 24 horas por dia e 7 dias por semana, sendo necessário definir períodos de descanso;
- Distribuição desigual de carga de trabalho e
- Estocasticidade em emergências e cirurgias.

Algumas dessas características podem ser encontradas em outros problemas de *timetabling* na indústria, porém a combinação de todos esses aspectos é única e cria complexidade e diversidade para o problema de alocação de médicos.

Segundo Brunner e Edenharter (2011), o problema de alocação de médicos pode ser classificado em três categorias de acordo com o horizonte de planejamento e nível de decisão. O *staffing problem* é referente à alocação de médicos residentes, que apresentam pouca experiência. Esses profissionais devem atuar em todos os procedimentos de forma igual, com o acompanhamento de um médico especialistas, para adquirir experiência. Normalmente, o *staffing problem* é realizado para um horizonte de planejamento de longo prazo (ERHARD *et al.*, 2017).

O *rostering problem* tipicamente é realizado para horizonte de planejamento de curto prazo e pode ser dividido entre nível tático e operacional *off-line* (ERHARD *et al.*, 2017). Os objetivos mais utilizados são aumentar a qualidade de atendimento e atender preferências individuais de cada profissional. Aspectos de justiça também podem ser considerados, como designar um número similar de turnos impopulares para todos os médicos, como plantões noturnos e de fim de semana.

Por último, o *re-planning problem* é utilizado quando eventos imprevisíveis ocorrem, como a ausência de um profissional ou a ocorrência de alguma cirurgia emergencial (ERHARD *et al.*, 2017).

Os modelos de alocação de médicos podem considerar objetivos financeiros ou não financeiros. Como exemplo de objetivo financeiro tem-se a minimização de horas extras pagas aos médicos. Já o objetivo de maximizar a preferência individual dos

médicos visa aumentar a qualidade do serviço prestado, porém não influencia financeiramente as operações do hospital.

Dentre os objetivos, podem-se destacar condições que devem ser obrigatoriamente respeitadas e outras em que o seu atendimento é desejável, dividindo-se em restrições *hard* e *soft*.

As restrições *hard* são aquelas que devem ser satisfeitas, enquanto as restrições *soft* são aquelas que podem ser violadas, mas devem ser satisfeitas sempre que possível (DORNELES *et al.*, 2014).

As restrições *hard* garantem a factibilidade da solução do modelo. Como por exemplo, a condição que um médico pode atender somente um procedimento por período. As restrições *soft* são restrições desejáveis de serem atendidas, sem comprometer a factibilidade da solução.

Tipicamente, a qualidade de uma solução está associada diretamente à satisfação das restrições *soft*. Quanto mais restrições *soft* forem satisfeitas, melhor a solução é considerada. (DORNELES *et al.*, 2014).

O atendimento das preferências dos médicos é um exemplo de restrição *soft*. É desejável alocá-los em procedimentos preferidos, porém uma alocação fora da preferência é aceitável. O não atendimento de restrições *soft* pode ser penalizado na função objetivo para que seja respeitada assim que possível.

Os problemas de alocação de médicos é normalmente multiobjetivo, contemplando tanto objetivos financeiros quanto não financeiros. Pode-se então utilizar o método de soma ponderada, onde o não atendimento das restrições *soft* não prejudicam a factibilidade do modelo. A contribuição de cada restrição *soft* no custo da função objetivo recebe um peso e esses pesos devem ser ajustados para alcançar o *trade-off* desejado entre os objetivos considerados (GENNERT & YUILLE, 1988). Dessa forma, é necessário definir uma hierarquia entre as restrições *soft* e priorizar o atendimento das mais importantes, a partir da opinião dos gestores responsáveis pela definição da escala dos médicos.

O problema *timetabling* aplicado à alocação de médicos começou a ser explorado na década de 80. Vassilacopoulos (1985) propôs um método para alocar médicos do departamento de acidentes e emergência de um hospital inglês. Para isso, considerou

que a demanda varia conforme a hora, semana e mês. O objetivo foi definir o número ótimo de médicos necessários para atender os turnos, de forma a minimizar o tempo de espera de atendimento dos pacientes, utilizando programação dinâmica.

Rosenberg (1988) considerou as preferências por turnos para definir a escala de psicólogos de um hospital francês. O autor considerou também um número limitado de alocações para cada profissional, além de duração máxima de turno de trabalho.

Badri e Hollingswoth (1992) propõem um método de previsão para a organização de uma sala de emergência, considerando o processo de mudanças nas práticas de agendamento, o número de médicos, o número de enfermeiros, o número de leitos, as regras de prioridade do paciente e as mudanças na demanda de uma sala de emergência, buscando diminuir o tempo de espera dos pacientes. O método foi testado em um hospital com 600 leitos nos Emirados Árabes Unidos. O modelo permitiu antecipar o impacto de mudanças na escala de pessoal e a eficiência dos métodos atuais. Como resultado, foi constatado que a prioridade adotada para o atendimento do paciente e o número de médicos são os principais fatores que afetam o desempenho do sistema de emergência.

Pécora Jr (2002) realizou a alocação de médicos em salas de emergência para o hospital Judeu de Montreal, no Canadá. O autor apresenta um modelo e um método de resolução híbrido combinando as meta-heurísticas Algoritmo Genético e Busca Tabu. O modelo é acíclico e engloba férias, folgas e as preferências de cada médico relacionadas aos turnos de trabalho. O autor também mostra preocupação com o ritmo circadiano, responsável pelo ritmo biológico humano, principal afetado por excesso de trabalho noturno.

Bard e Purnomo (2004) realizaram o estudo de alocação de enfermeiros para um hospital de grande porte nos Estados Unidos da América. Um algoritmo de geração de colunas foi utilizado em conjunto com uma heurística que efetua a mudança de períodos entre simples e duplo de acordo com as preferências dos enfermeiros. O método foi capaz de resolver em poucos minutos um problema com 100 enfermeiros para um horizonte de tempo de seis semanas.

Dexter *et al.* (2010) consideraram o agendamento de rotação entre residentes de anestesistas. Residentes são estudantes de medicina que participam de diferentes

cirurgias para adquirir experiência nos diversos procedimentos que devem atuar após formados. Muitas vezes estes residentes são alocados para realizar treinamento em um determinado tipo de cirurgia, porém, acabam sendo realocados para outro procedimento por motivos externos, o que acaba comprometendo sua experiência nas diferentes áreas de atuação profissional. O modelo proposto foi capaz de maximizar o tempo dos residentes em suas rotas de atuação.

Brunner e Edenharter (2011) propuseram um modelo para o agendamento de médicos anestesistas em 2 níveis de experiência: residentes e os médicos especialistas. Para validar o modelo, foram considerados dados do departamento de anestesiologia de um hospital com 1100 leitos. O problema foi resolvido usando uma heurística baseada em geração de colunas.

Gunawan e Law (2012) apresentam três modelos para *Master Physician Scheduling Problem*. O primeiro e segundo modelo buscaram minimizar o número de cirurgias não realizadas, enquanto o terceiro modelo estabelece uma fronteira de Pareto para minimizar o número de cirurgias não realizadas e maximizar as preferências dos médicos de um hospital de Singapura. Os modelos foram testados em seis instâncias geradas aleatoriamente. Para instâncias maiores, foi necessário o uso de uma heurística de busca local, na qual se parte de uma solução visitando sua vizinhança até encontrar o ótimo local. Por fim, os modelos foram capazes de encontrar respostas que atendiam 70% das cirurgias considerando as preferências médicas.

Já no trabalho de Villarreal e Keskinocak (2014), foi realizado o agendamento dos diferentes profissionais envolvidos em uma operação, considerando enfermeiras, cirurgiões e técnicos de limpeza, de forma que estes profissionais podem ser agrupados para um determinado procedimento ou encaminhados a procedimentos diferentes, caso necessário. Para isso foi aplicado um método composto de duas fases: na primeira decide-se o número de funcionários permanentes para cada tipo de equipe, e cada equipe atribuída a um tipo de procedimento cirúrgico, podendo ser reagrupados caso outra equipe tenha alguns membros faltando. Para esta fase foi proposto um modelo que utiliza os dados históricos semanais do hospital para prever o número de horas trabalhadas e os possíveis crescimentos de demanda. Usando os cenários de demanda encontrados foi possível minimizar a mão de obra contratada sem aumentar o número de

horas extras; na segunda fase os funcionários são designados para seus turnos e dias, atendendo os requisitos de pessoal e agendamentos relacionados aos turnos. Para solucionar a esta fase é usada uma heurística de relaxação para as variáveis binárias, diminuindo o tempo de atraso entre turnos e procedimentos.

No trabalho de Smalley *et al.* (2015), o objetivo foi maximizar a continuidade de tratamento de um paciente com o mesmo médico, pois a transferência de um paciente para médicos diferentes pode prejudicar seu tratamento. O autor apresentou um modelo e solução para maximizar a continuidade, aplicado a unidade de terapia intensiva pediátrica do hospital “Children’s Healthcare” de Atlanta, Estados Unidos. O método proposto trabalha com uma pontuação relacionada a continuidade dos pacientes, de forma que o modelo de programação inteira mista buscou maximizar a pontuação de continuidade ao mesmo tempo que minimizava a violação das preferências dos médicos. O modelo foi validado usando uma instância com 16 médicos em um horizonte de 51 semanas. O resultado foi satisfatório, pois, além de ser muito mais veloz que o método manual usado, aumentou a continuidade em 3,4%. Como trabalho futuro os autores propuseram considerar o desgaste e fadiga dos profissionais, que pode ser os principais responsáveis por erros médicos.

Riise *et al.* (2015) apresentaram um modelo genérico para resolver três situações de agendamento de cirurgias: agendamento diário, agendamento semanal e planejamento para admissão. O modelo foi testado em um hospital de médio porte da Noruega. Como resposta foram feitas relaxações na modelagem, obtendo boas soluções sem necessidade de modificação *off-line* ou sintonização de parâmetros.

No trabalho de Fugener *et al.* (2015), dois modelos foram propostos: um que listou os procedimentos a serem realizados pelos médicos durante um período de 24 horas considerando possíveis atrasos, enquanto o segundo foi responsável por designar postos de trabalho para os médicos, sendo que a saída do primeiro é parâmetro para o segundo. Em ambos os casos são consideradas restrições trabalhistas e regras internas do hospital, além das preferências de cada médico. Foram utilizados dados do departamento de anestesiologia de Augsburg, na Alemanha, com 120 médicos. Foram testadas 5.800 instâncias para validação do modelo. Os resultados obtidos se mostraram muito superiores em relação a escala obtida manualmente pelo hospital.

Bowers *et al.* (2016), propuseram um modelo para os médicos do Centro Médico Universitário de Tennessee, que busca maximizar as preferências de cada médico sem desrespeitar a carga de trabalho. Como resultado foi obtido de 6,3 a 8,5% de acréscimo na satisfação dos médicos.

Volland *et al.* (2017) sugeriram a contratação de profissionais chamados 'Assistentes logísticos' para o trabalho de transporte, alocação e gestão de equipamentos e pessoas, e propõe um modelo de minimização para determinar o número de profissionais necessários para gestão logística do hospital. O modelo é resolvido por um algoritmo de geração de colunas aplicado em dados reais de um hospital com 1800 leitos e 5300 funcionários. O modelo foi testado em 48 instâncias reais e geradas artificialmente, atingindo um ganho em eficiência de 40% a 49%.

Em todos os trabalhos citados anteriormente, considera-se que a oferta de médicos é maior do que a demanda de atendimento. No caso do HC, a quantidade de procedimentos em que os anestesistas devem realizar é maior do que a oferta de profissionais, sendo necessário contratar anestesistas externos para garantir o maior número de atendimento. Além disso, há restrições impostas ao modelo como, por exemplo, disponibilidade dos profissionais, preferências de trabalho e horários de descanso entre turnos. Essas restrições podem reduzir o número de alocações possíveis, tornando o problema mais complexo e de maior dificuldade de resolução. Contudo, algumas dessas restrições podem ser violadas dependendo da necessidade do hospital. Por exemplo, a disponibilidade previamente informada pelos médicos. Caso nenhum anestesista esteja previamente disponível para atender determinado procedimento, o gestor pode contatá-los, verificar se algum anestesista pode atender excepcionalmente o procedimento e, em caso de aceite, negociar individualmente a compensação deste turno.

Mesmo com o suporte dos anestesistas externos e com as eventuais violações de restrições, nem sempre é possível atender toda a demanda e, em último caso, o procedimento (cirurgia ou exame) não é realizado.

2.3 Método do Arranjo Ortogonal de Taguchi

Após o fim da Segunda Guerra Mundial, foi fundada a *Electrical Communication Laboratories* (ECL) no Japão, com o propósito de aumentar a produtividade e qualidade dos equipamentos exportados, tendo como responsável por coordenar as pesquisas o Dr. Taguchi. Começaram-se então a desenvolver as técnicas que hoje são conhecidas como Métodos de Taguchi. Estes métodos não trabalham com modelos matemáticos, mas sim com o layout dos experimentos. (ROY, 1990).

O método de Taguchi (1987) foi criado para melhorar a qualidade de produtos e processos onde a performance depende de muitos fatores. Seu método utiliza um conjunto de dados chamados de Arranjos Ortogonais que podem ser usados para delinear quais configurações devem ser testadas para melhor representar todo o conjunto de combinação. Os layouts dos testes podem ser desenvolvidos utilizando uma lógica simples que permite uma boa combinação de fatores ao longo de certo intervalo. (ROY, 1990).

A técnica de design de experimentos foi inicialmente proposta por Fisher em 1920 e ficou conhecida como '*Factorial Design Experiments*'. O design do fatorial completo identifica todas as possíveis combinações de fatores que podem ser realizados sobre um produto. Porém, na maioria das vezes o número de fatores é muito grande, impossibilitando testar todas possíveis combinações de testes. O ideal é que poucos testes sejam realizados (Roy, 1990). Mais tarde, Frank Yates e Oscar Kempthorne aperfeiçoaram a técnica chamando-a de *fractional factorial experiments*, técnica capaz de usar uma fração do *factorial design experiments* e ainda ser capaz de identificar os principais efeitos de cada fator. A maior contribuição realizada por Taguchi foi desenvolver e usar um conjunto especial de arranjos ortogonais para o design dos experimentos. (ROY, 2001).

Arranjos ortogonais são conjuntos de tabelas numéricas que podem ser usadas para estabelecer o design de experimentos. O uso destes arranjos se tornou a chave para a aplicação do *factorial design experiments* por tornar viável o número de testes a serem feitos. (ROY, 2001).

Os resultados normalmente são expressos de forma quantitativa, como resistência ou força, em certa unidade de medida, mas a resposta também pode ser expressa de

forma qualitativa como sucesso/fracasso ou excelente/bom/ruim. Porém, mesmo estes resultados qualitativos podem ser expressos de forma quantitativa como 0 ou 1 no caso de sucesso/fracasso. (ROY, 2001).

Quando o problema possui um único objetivo simples, o resultado também será único. Porém, se o problema estudado possui múltiplos objetivos, o resultado pode variar de simples ou múltiplo, dependendo dos critérios de avaliação. Como por exemplo na fabricação de um bolo em que os objetivos onde os fatores são temperatura, quantidade de açúcar e quantidade de fermento, o resultado pode tanto ser quais os níveis ideais de cada um dos três ingredientes como também pode ser um binário 0 ou 1 indicando se os níveis são aceitáveis ou não. Um problema com múltiplos objetivos requer uma análise mais detalhada de seus resultados. (ROY, 2001).

O design do experimento é o que define quais são os testes que devem ser realizados para representar o maior número possível de combinações, porém identificar quais dos testes irão compor o design pode ser uma tarefa muito trabalhosa e levaria muitas horas. Pensando nisso, Taguchi deixou pré-estabelecidos os testes a serem feitos baseado no número de fatores e níveis de cada problema. (ROY, 2001).

Um fator é qualquer característica que possa influenciar no desempenho do produto ou processo. Pode ser uma variável, um parâmetro, um ingrediente ou qualquer dado que possa ser inserido como entrada ao problema. Na verdade, decidir previamente quais são os fatores que impactam de forma significativa o problema é um pré-requisito crucial para garantir a eficácia do método. Esta decisão deve partir de todos os envolvidos no processo e divide os possíveis fatores em duas categorias: fatores contínuos e fatores discretos. (ROY, 2001).

Os fatores são considerados contínuos quando é possível ajustar seus valores de forma contínua para realizar os testes. Como exemplo, a temperatura de cozimento de um forno ou o tempo de exposição a luz em uma fotografia. Todos estes valores são dados de forma quantitativa. Os fatores discretos normalmente não são quantificáveis, como exemplo os tipos de farinha usados para fazer um bolo ou o corte usado em uma chapa de aço. (ROY, 2001).

Outro importante conceito utilizado no método de Taguchi é o de nível. Níveis são os valores que cada fator pode assumir durante um experimento. Cada fator deve ter dois

ou mais níveis. Se o tempo é um fator de um dado experimento e o experimento durou 10 ou 20 minutos, considera-se esses valores como os dois níveis relacionados a este fator. (ROY, 2001).

O menor arranjo ortogonal é chamado L_4 , usado para experimentos que possuam 3 fatores com dois níveis cada. Nesta notação, o 'L' se refere a *Latin Square* e o índice '4' se refere ao número de linhas na tabela que descreve este design de experimento, ou seja, o número de testes do experimento. O método de Taguchi também possui uma notação numérica que indica o número de fatores envolvidos e o número total de combinações. O L_4 por exemplo pode ser descrito como (2^3) . Neste caso, o número total de combinações possíveis é 8 utilizando-se 3 fatores (do expoente) e 2 níveis (valor da base). (ROY, 2001).

A TABELA 1 mostra o arranjo ortogonal L_4 , onde as quatro linhas são os testes realizados, nas colunas estão os 3 fatores e no corpo da tabela os níveis de cada fator variando entre 1 e 2.

TABELA 1 – ARRANJO ORTOGONAL L_4 (2^3)

TESTE	COLUNA (FATORES)		
	1	2	3
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	2
4	2	2	1

FONTE: ROY (2001).

Os arranjos são descritos como ortogonais devido a forma como são construídos. Cada coluna é balanceada para possuir o mesmo número de cada nível, como por exemplo na TABELA 1, onde cada coluna tem dois níveis 1 e dois níveis 2. Além disso as colunas seguem um certo padrão ordenado que pode ser notado ao observarmos verticalmente. Este padrão fica ainda mais claro se observarmos o L_8 na TABELA 2.

Outra característica de ortogonalidade é identificada ao analisarmos duas colunas de cada vez. Desta forma podemos observar que cada padrão de combinação irá se repetir exatamente o mesmo número de vezes independente das colunas escolhidas. Também é importante notar que a primeira linha de cada tabela sempre é composta

exclusivamente por níveis 1, mas nenhuma das linhas é composta exclusivamente por níveis 2 ou qualquer outro. (ROY, 2001).

TABELA 2 – ARRANJO ORTOGONAL $L_8 (2^7)$

TESTES	COLUNAS (FATORES)						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

FONTE: ROY (2001).

Após todos os testes dos experimentos serem realizados inicia-se a fase da análise de resultados. Esta análise é realizada utilizando-se cálculos realizados sobre os resultados obtidos por cada teste e nos auxilia na tomada de decisão. Dependendo da complexidade dos testes feitos a análise pode ser dividida em duas fases: Uma análise simples e uma análise da variância. (ROY, 2001).

A análise simples utiliza matemática simples para avaliar a influência que cada fator exerce sobre o produto, as condições ótimas para atingir o nível de qualidade desejado e o desempenho esperado nas melhores condições. (ROY, 2001).

A análise da variância (ANOVA) nos auxilia a obter uma melhor visão sobre o problema quando existem mais de três fatores a serem comparados. Esta análise é capaz de realizar uma melhor comparação entre os fatores para avaliar sua influência na variação de cada resultado, atribuir um intervalo de confiança para garantia da melhor performance e dos principais efeitos dos fatores. Portanto, quanto mais dependente for sua pesquisa da influência de um fator ou quão sensível seus resultados são a diferentes fatores, mais necessário será o uso de uma ANOVA. (ROY, 2001).

2.4 Analytic Hierarchy Process (AHP)

O AHP é um método utilizado para resolver problemas multicritério. Este método foi desenvolvido por Thomas Saaty (1980) e desde então é aplicado a problemas de tomada de decisão. É um método amplamente conhecido para classificar alternativas de decisão e selecionar qual é a melhor quando o tomador de decisões possui múltiplos objetivos. Baseado em um sistema de comparações, é possível classificar os pesos relacionados a cada critério de decisão e, desta forma, desenvolver uma hierarquia entre as alternativas. (SBEITY *et al.*, 2014).

Psicólogos cognitivos identificaram que somos capazes de realizar apenas dois tipos de comparação: absoluta e relativa. Nas absolutas as comparações são realizadas a partir da memória, baseada na experiência de cada um. Nas relativas as comparações são feitas em pares, baseadas em um comparativo comum. O AHP utiliza dessas duas comparações para encontrar uma escala de medida entre os fatores analisados. (SAATY & VARGAS, 2001)

O primeiro passo ao aplicar o AHP é determinar quais critérios serão usados. Após isso, realiza-se a análise dos critérios e a análise das alternativas disponíveis, através de comparações realizadas em pares.

Para cada comparação de critérios, define-se um valor baseado em uma escala de nove números, que representam a prioridade de um critério à outro. Os valores utilizados estão listados na TABELA 3.

TABELA 3 – ESCALA PADRÃO USADA NO AHP

Nível de Preferência	Valor Numérico
Igualmente importante	1
Moderadamente mais importante	3 ⁺
Mais importante	5 ⁺
Muito mais importante	7 ⁺
Extremamente mais importante	9 ⁺

FONTE: ADAPTADO DE SBEITY, 2014.

Os valores 3⁻, 5⁻, 7⁻ e 9⁻ são inversamente proporcionais aos valores descritos na TABELA 3, indicando a falta de preferência entre os critérios. Desta maneira, se ao

compararmos duas opções A e B, decidirmos que A é mais importante que B, fica subentendido que B é menos importante que A, e esta comparação não precisa ser feita.

Existem muitas maneiras de se obter o vetor de prioridades¹ da matriz de comparações, mas as técnicas mais usadas utilizam a representação por autovetores. (SAATY & VARGAS, 2001).

A partir dos autovalores da matriz de comparações entre critérios, escolhe-se o maior autovalor encontrado, denominado λ_{max} . Através deste se calcula o autovetor relacionado a λ_{max} e o normaliza para obter o vetor de prioridades da matriz. A normalização é realizada ao dividir cada valor pela soma de todos os valores, isso transforma os valores em notação de porcentagem, tornando simples a comparação. (SAATY, 2004).

O próximo passo é analisar a consistência dos dados, verificando se os tomadores de decisão deram suas opiniões de forma coerente ao analisar as opções. Para ilustrar o caso de inconsistência vemos a seguinte situação: Dados 3 fatores F, G e H. Se a pessoa que está tomando a decisão avalia que F é melhor que G, que G é melhor que H e que H é melhor que F cria-se um ciclo, no qual o método acaba se tornando incapaz de avaliar de forma correta a opinião da pessoa.

Para calcular o índice de consistência (*CI*) é utilizado a seguinte fórmula:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

onde *n* é o número de fatores usado na matriz de comparação. Para verificar se o *CI* é adequado para a análise é usado a taxa de consistência (*CR*) que varia de acordo com o número de fatores usados. Esta taxa é obtida pela razão do índice de consistência e o índice de consistência aleatório (*RI*), sendo considerada consistente se o valor obtido for abaixo de 0,1. (SAATY, 2005).

$$CR = \frac{CI}{RI} < 0,1$$

Os valores de *RI* são tabelados e podem ser encontrados na TABELA 4.

¹ O vetor de prioridades (ou vetor de Eigen) apresenta os pesos relativos entre os critérios e é obtido através da média aritmética dos valores de cada um dos critérios.

TABELA 4 – VALORES DE *RI* DE ACORDO COM O NÚMERO DE FATORES

Número de Fatores	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valor de <i>RI</i>	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

FONTE: Adaptado de GOMEDE & BARROS, 2012.

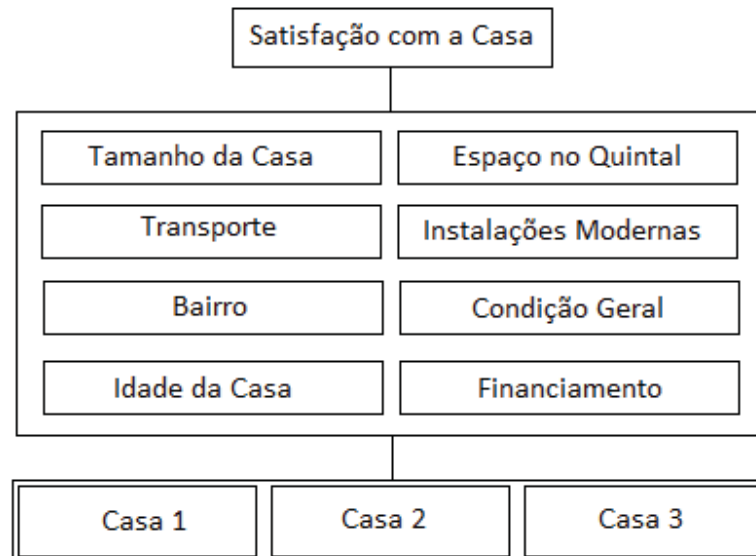
No caso de inconsistência, é recomendado realizar o estudo novamente, modificando os valores de comparação dos critérios. É possível também resolver um sistema de equações homogêneas lineares para obter o principal autovetor para as prioridades para identificar em qual critério está a inconsistência.

Saaty & Vargas (2001) propõem o seguinte exemplo para ilustrar o processo do AHP:

Uma família com uma renda média gostaria de comprar uma casa e estudam três opções. A família identifica oito fatores a serem considerados na escolha da casa, divididos em três categorias: econômica, geográfica e física. Embora se possa priorizar uma destas categorias para o processo de escolha, a família decide trabalhar com todos os fatores de forma idêntica. Desta forma buscam selecionar uma das casas candidatas. (SAATY & VARGAS, 2001).

Para aplicar o AHP o processo é dividido em três hierarquias onde a primeira consiste em escolher o objetivo global de gerar a satisfação para os membros da família, o segundo é composto pelos oito fatores selecionados e o terceiro se trata das três casas candidatas a compra, conforme ilustrado na FIGURA 1.

FIGURA 1 - DECOMPOSIÇÃO HIERÁRQUICA DO PROBLEMA



FONTE: Adaptado de SAATY & VARGAS (2001).

Os fatores importantes para a família são:

- Tamanho da casa: espaço de armazenamento; tamanho dos quartos; número de quartos; área total da casa.
- Transporte: conveniência e proximidade do serviço de ônibus.
- Bairro: grau de tráfego, segurança, impostos, condição física dos edifícios circundantes.
- Idade da casa: autoexplicativa.
- Espaço no quintal: inclui espaço frontal, traseiro e lateral e espaço compartilhado com vizinhos.
- Instalações modernas: máquina de lavar louça, eliminação de lixo, ar condicionado, sistema de alarme e outros itens similares.
- Condição geral: extensão em que os reparos são necessários; condição das paredes, tapete, cortinas, fiação; limpeza.
- Financiamento: financiamento de vendedor ou financiamento bancário.

O próximo passo é realizar a análise comparativa. A família que está comparando a casa analisa os fatores escolhidos em pares e decide quais deles são os mais

importantes buscando alcançar o objetivo geral de satisfação. (SAATY & VARGAS, 2001).

As perguntas que devem ser feitas a cada comparação é qual dos dois fatores é mais importante e o quão mais importante ele é em relação a satisfação da família? (SAATY & VARGAS, 2001).

Os julgamentos devem ser inseridos na matriz usando a escala fundamental, de acordo com seu valor numérico. A matriz de comparações deste exemplo pode ser vista na TABELA 5.

TABELA 5 – MATRIZ DE COMPARAÇÃO ENTRE FATORES

	1	2	3	4	5	6	7	8	AUTOVETOR
1	1	5	3	7	5	5	1/3	1/3	0,1701
2	1/5	1	1/3	5	3	3	1/5	1/7	0,0521
3	1/3	3	1	7	3	5	7	1/5	0,2131
4	1/7	1/5	1/7	1	1/3	1/5	1/7	1/9	0,0161
5	1/5	1/3	1/3	3	1	1	1/5	1/7	0,0320
6	1/5	1/3	1/5	5	1	1	1/5	1/7	0,0324
7	3	5	1/7	7	5	5	1	1	0,1756
8	3	7	5	9	7	7	1	1	0,3083

$$\lambda_{max} = 9,7992 \quad CR = 0,1822$$

FONTE: Adaptado de SAATY & VARGAS (2001).

Pela TABELA 5 é possível notar que quando um fator é comparado consigo mesmo, diagonal principal, ele recebe o valor 1 de igualmente importante. Porém, ao compararmos o fator tamanho da casa com o fator transporte, posição (1,2), o valor atribuído é 5, ou seja, o fator tamanho é mais importante do que o fator transporte, sendo que na posição inversa da matriz, onde se compara o fator transporte com o fator tamanho da casa, posição (2,1), o valor 1/5 deve ser atribuído automaticamente pois fica subentendido que o fator transporte é menos importante do que o fator tamanho da casa, de forma que os tomadores de decisão precisam preencher apenas a parte triangular superior da matriz.

Ao analisar o autovetor vemos que o fator mais importante para a família é o financiamento, linha 8, com 30,83% da preferência, seguido pelo fator bairro, linha 3, com 21,31%. Entretanto, a razão de consistência CR é maior que 0,1 indicando que existe

alguma inconsistência na tomada de decisão. É necessário identificar o maior fator de inconsistência e então modificá-lo caso haja flexibilidade no julgamento da família. Caso isto não reduza o valor do *CR* é necessário buscar o segundo maior fator de inconsistência, e assim por diante.

Após obter consistência é necessário avaliar as opções de casas para verificar quais melhor satisfaz cada um dos oito fatores. Esta etapa do AHP não será utilizada neste trabalho, pois não serão considerados diferentes produtos para comparar, bastando somente identificar os parâmetros para o modelo matemático. Para mais detalhes sobre este método, sugere-se a leitura do livro de Saaty & Vargas (2001), onde foi desenvolvida toda a análise matemática e a continuidade a este exemplo.

3 . DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Neste capítulo, o problema de alocação de anestesistas é descrito. Na seção 3.1, é apresentada uma breve descrição do trabalho realizado pelos anestesistas. Na seção 3.2 são apresentadas as principais informações e características que devem ser consideradas no modelo matemático proposto neste trabalho.

3.1 Anestesiologia

A anestesia é um procedimento médico que visa bloquear temporariamente sensação de dor do paciente. A sensação de dor inicia-se nos receptores, chamados nervos sensitivos, que estão presentes na pele e em órgãos dos sentidos (visão, audição, tato, olfato e paladar). Quando algum estímulo é causado aos nervos sensitivos, como corte ou queimadura, um impulso nervoso é transmitido para a medula espinhal. Esses sinais são finalmente transmitidos ao cérebro, onde a sensação de dor é reconhecida.

A primeira demonstração pública de anestesia foi feita em 1846, no *Massachusetts General Hospital da Harvard University*. Desde então, a sua utilização permite que grande quantidade de procedimentos invasivos sejam realizados com segurança e com desconforto mínimo ao paciente. A utilização de medicamentos anestésicos também permite controlar reflexos, bloquear a musculatura e causar amnésia, possibilitando que o procedimento ocorra sem traumas posteriores ao paciente.

Há diversos tipos de anestésias, variando de sedações e a escolha do tipo de anestesia adequado depende do procedimento a ser realizado. A sedação é utilizada para o paciente dormir, sem haver bloqueio da dor, sendo utilizada para reduzir os reflexos do paciente e imobilizá-lo durante o procedimento. A anestesia local é aplicada no local exato da lesão e bloqueia os receptores da dor. É utilizada para procedimentos menores como, por exemplo, exame de endoscopia para reduzir o desconforto causado pela passagem do endoscópio. Na anestesia regional, o bloqueio é realizado na medula espinhal, impedindo que o impulso seja transmitido ao cérebro, causando perda reversível de sensibilidade na região anestesiada. Na anestesia geral, os medicamentos atuam no cérebro e geram um estado de inconsciência reversível. É realizado o bloqueio

neuromuscular, para impedir o movimento e, normalmente, a respiração é realizada artificialmente.

Durante todo o procedimento, o anestesista monitora funções vitais do paciente, tais como pressão arterial, frequência e ritmo cardíaco, quantidade de oxigênio no sangue e temperatura. Além disso, com a tecnologia disponível atualmente, é possível verificar a atividade cerebral do paciente em tempo real.

Caso alguma dessas funções apresente comportamento indesejável durante o procedimento, o anestesista age imediatamente, alterando a dose ou o medicamento utilizado para que as funções voltem ao normal.

Os riscos inerentes aos procedimentos cirúrgicos estão altamente relacionados as condições do paciente e ao tipo de cirurgia que ele será submetido. De acordo com a Resolução 1.802/2006 do Conselho Federal de Medicina, todo paciente que será submetido a um procedimento anestésico deve ser avaliado por um anestesista em uma consulta anterior ao procedimento. Nessa consulta, o anestesista se informa a respeito das características pessoais do paciente, tais como alergias, medicamentos utilizados no período e outros fatores que possam aumentar o risco anestésico. Exames complementares podem ser requisitados, para que o anestesista tenha todas as informações relevantes e possa identificar o medicamento que poderá ser ministrado e a dose adequada para que o procedimento cirúrgico seja executado da maneira mais segura possível. Além disso, nesta consulta o paciente pode esclarecer dúvidas sobre o procedimento. O anestesista que realizar a consulta pré-anestésica não é necessariamente o anestesista que atenderá o paciente no procedimento futuro.

A presença de anestesista é extremamente importante em procedimentos que envolvam risco, como exame de cateterismo. Nesses procedimentos há um risco considerável de ocorrências adversas, como parada cardiorrespiratória. Situações críticas durante o procedimento podem ocorrer dependendo do estado físico do paciente, da cirurgia realizada e de alterações decorrentes do processo anestésico. Em caso de emergência, o anestesista presente deve agir de forma ágil e eficaz, pois sua formação abrange intervenções de emergência, como reanimação e ressuscitação. As primeiras técnicas e manobras de ressuscitação foram desenvolvidas em 1960 por um anestesista americano, combinando respiração boca a boca com compressões torácicas para criar a

ressuscitação cardiopulmonar. Atualmente, há equipamentos disponíveis para auxiliar o profissional em caso de realização de procedimentos de recuperação cardiorrespiratória, como desfibrilador, além de fármacos destinados a esse fim.

No pós-operatório, o anestesista auxilia na recuperação do paciente, realizando o controle da dor e monitoramento de pressão arterial, batimentos e ritmo cardíacos, oxigenação e estado de consciência, até o paciente estar totalmente recuperado da anestesia e receber alta do anestesista que o acompanhou durante o procedimento.

Devido ao vasto conhecimento sobre dor e tratamentos para a mesma, os anestesistas também atuam fora do ambiente cirúrgico auxiliando pacientes que sofrem de dores crônicas ou agudas.

3.2 O Setor de Anestesiologia do HC

O setor de anestesiologia do HC é um dos mais importantes do hospital e normalmente é o setor responsável por definir quais as cirurgias poderão ou não ser atendidas, dado que todos os procedimentos cirúrgicos dependem da presença de um anestesista na sala. Atualmente, 60 anestesistas atuam no HC, divididos em quatro categorias de contrato: Regime Jurídico Único (RJU), Fundação de Apoio da Universidade Federal do Paraná (Funpar), Empresa Brasileira de Serviços Hospitalares (Ebserh) e Cooperativa Paranaense das Entidades Prestadoras de Assistência a Área de Saúde (COPAS). Cada contrato possui características únicas, que o difere dos demais. É necessário levar em consideração os diferentes custos e restrições de cada um deles.

Os anestesistas das categorias RJU, Funpar e Ebserh não geram custos adicionais de alocação, pois estão vinculados ao HC. Os anestesistas da categoria COPAS são contratados para garantir o maior número de atendimentos e geram um custo por cada período trabalhado. Por meio do contrato definido entre o HC e a cooperativa, a utilização de anestesistas COPAS é limitada à seis profissionais dessa categoria por dia. Visando a redução dos custos de operação do hospital, é necessário minimizar o uso de anestesistas COPAS e priorizar o uso dos anestesistas de outras categorias.

Em relação à duração máxima de turno e descanso mínimo, também consideramos as diferenças entre cada vínculo empregatício. Anestesistas contratados

via Ebserh atuam sob o regime trabalhista 12x36, isto é, após um turno de 12 horas, o anestesista deve descansar 36 horas até o próximo turno. Foi considerado que o número de períodos trabalhados antes de um intervalo de descanso é fixo e igual para todos os anestesistas dessa categoria, bem como a duração do intervalo de descanso. Na TABELA 6 estão listados o turno máximo, turno mínimo e mínimo de descanso entre turnos para cada vínculo. Para os anestesistas da FUNPAR, considera-se que os turnos trabalhados terão duração de seis a 18 horas, com descanso mínimo de 12 horas entre eles. Consideramos que os anestesistas COPAS podem trabalhar em turnos de no máximo 18 horas, sendo que deve descansar pelo menos 12 horas entre eles.

TABELA 6 - TURNOS DE TRABALHO DOS ANESTESISTAS

VÍNCULO	TURNO MÍNIMO	TURNO MÁXIMO	MÍNIMO DE DESCANSO
RJU	6h	18h	12h
FUNPAR	6h	18h	12h
EBSERH	12h	12h	36h
COPAS	6h	18h	12h

FONTE: A autora (2018).

A carga horária dos anestesistas RJU é contratada com 20 ou 40 horas semanais, o que é incompatível as seis horas de cada turno de trabalho, fazendo com que os anestesistas trabalhem, semanalmente, algumas horas a mais ou menos em relação à carga horária contratada. Portanto, no modelo deve-se considerar esta condição e equilibrar a diferença entre a carga horária contratada e a carga horária realizada semanalmente por cada anestesista, evitando que ocorram expressivos excessos ou déficits de horas trabalhadas. A carga horária semanal dos anestesistas Ebserh é de 24 horas, podendo exceder ou não completar a carga horária semanal contratada em até 30 horas, como no caso dos médicos do RJU. Para os demais vínculos, não consideramos carga horária a ser cumprida.

Como a grande maioria dos anestesistas trabalha em outros hospitais além do HC, seus horários de disponibilidades necessitam ser respeitados, pois influenciam no trabalho do médico em outro local. Porém, o hospital pode requisitar o trabalho do anestesista em turnos de trabalho fora do horário definido previamente como disponível pelo médico. Esta alocação está sujeita ao aceite do médico e a carga horária trabalhada

excedente pode ser compensada em um turno futuro. Dessa forma, o modelo deve dar prioridade às alocações dentro do horário informado previamente, considerando a possibilidade de trabalho fora desses horários somente em caso de necessidade.

Ao total são 27 procedimentos que podem ser realizados por um anestesista, variando desde entrevistas com os pacientes no ambulatório até cirurgias de alto risco, como as cirurgias cardíacas. As especialidades podem ser visualizadas no QUADRO 1.

QUADRO 1 – PROCEDIMENTOS REALIZADOS

SIGLA	PROCEDIMENTO/ESPECIALIDADE
OFTALMO	Cirurgia oftalmológica
ORTO	Cirurgia ortopédica
ORL	Cirurgia otorrinolaringológica
CIR. PLAST	Cirurgia plástica
CARDÍACA	Cirurgia cardíaca
URO	Cirurgia urológica
NEURO	Cirurgia neurológica
CAD	Cirurgia do aparelho digestivo
CIR. PED	Cirurgia pediátrica
COLOPROC	Exame de colonoscopia
VASCULAR	Cirurgia vascular
CIR. GERAL	Cirurgia geral
DERMATO	Cirurgia dermatológica
TIREÓIDE	Cirurgia de tireoide
BIÓPSIA	Exame de biópsia
ENDOSC	Exame de endoscopia
HEMOD	Exame de hemodinâmica
HEMATOPED	Exame de hematopediatria
TOMOG	Exame de tomografia
RESSON	Exame de ressonância magnética
OBST	Cirurgia obstétricas
GINEC	Cirurgias ginecológicas
EMERG CC	Emergência Centro Cirúrgico
EMERG CO	Emergência Centro Obstétrico
BIÓPSIA/CATETER	
AMB	Atendimento no ambulatório
REPAI	Centro de recuperação pós-anestésica imediata

FONTE: A autora (2018).

Os procedimentos realizados são agendados somente para os dias úteis, entre as 7 e 19 horas, compreendendo dois turnos de seis horas de duração cada. Outros horários são considerados plantões, com duração de 12 horas ou 24 horas. A TABELA 7 apresenta os turnos considerados no problema.

TABELA 7 – TABELA DE TURNOS

TURNO	INÍCIO	FIM	APLICAÇÃO
M	7h	13h	Dias Úteis
T	13h	19h	Dias Úteis
MT	7h	19h	Todos os dias
N	19h	7h	Todos os dias

FONTE: A autora (2018).

A demanda de procedimentos a serem realizados pelos anestesistas é conhecida previamente, a partir de uma tabela fixa semanal, e repete-se durante todas as semanas do horizonte de planejamento. A demanda de emergência é fixa e definida pelos gestores do hospital, considerando que há uma necessidade maior de médicos para atender emergências do centro cirúrgico do que do centro obstétrico.

Na tabela fixa semanal definida pelo hospital, algumas especialidades têm mais períodos reservados durante a semana enquanto outras ocorrem em menor quantidade. A quantidade de períodos reservados para cada especialidade é definida pela administração do hospital a partir da demanda de pacientes. Por exemplo, o setor de oftalmologia possui dez turnos por semana para realização de procedimentos cirúrgicos dessa especialidade, enquanto procedimentos de tireoide tem apenas dois períodos reservados por semana.

Como nenhum dos procedimentos pode ser realizado sem a presença de um anestesista, o procedimento é cancelado caso não seja possível alocar um anestesista para atendê-lo. Neste caso, é desejável que, em caso de impossibilidade de atendimento, o cancelamento de procedimentos seja feito de forma equilibrada entre as especialidades. Considerando as diferenças de frequências mencionada anteriormente em um exemplo, cancelar um procedimento de oftalmologia, que se repete todos os dias

da semana, não terá tanto impacto como cancelar o procedimento de tireoide, que é ofertada apenas duas vezes na semana.

Considera-se as dez salas de centro cirúrgico disponíveis no período, três salas de centro obstétrico, seis salas para exames, uma sala para atendimento do ambulatório, uma sala para REPAI e três salas fictícias para representar os plantões de emergência, sendo uma para centro obstétrico e duas para centro cirúrgico.

Dentre todos os procedimentos realizados, há alguns relacionados à exames ou ambulatório, onde o anestesista pode atender mais de um paciente em um mesmo período. No caso de atendimento de ambulatório, cada consulta dura em média 30 minutos, tornando possível atender vários pacientes consecutivamente. Porém, neste trabalho, considera-se que a alocação dos médicos é feita por período, independentemente do número de pacientes atendidos durante o turno.

Há também procedimentos referentes a cirurgias mais complexas em que o paciente permanece em atendimento por mais de seis horas. Nestes casos, o procedimento compreende dois períodos de duração: de manhã e tarde. É necessário garantir que o mesmo anestesista seja designado para os dois turnos relacionados ao procedimento, não podendo haver troca de profissional durante o procedimento cirúrgico. Isso se deve ao fato de que o anestesista é legalmente responsável pelo paciente desde o início da cirurgia até a recuperação do mesmo e a troca de profissionais durante a cirurgia não é aconselhada.

Devido à grande variedade de procedimentos realizados no HC, é comum que alguns anestesistas tenham suas próprias preferências e restrições. Um anestesista pode ter se especializado em determinados procedimentos, ao mesmo tempo que não se sente seguro para trabalhar com outros. Este fator deve ser considerado na definição da escala de trabalho, pois impacta na qualidade do serviço e na satisfação dos profissionais.

Além disso, os anestesistas preferem atuar nas mesmas salas e procedimentos durante o mês, pois assim podem interagir melhor com a equipe cirúrgica e até mesmo com os próprios pacientes. Sendo assim, é desejável haver a repetição da escala durante as semanas do horizonte de planejamento.

Este modelo é classificado como *rostering problem*, com nível de decisão operacional *off-line* para um mês de planejamento. Uma possibilidade para o *rostering*

problem é criar uma escala semanal e repeti-la durante todo o horizonte de planejamento, o que caracteriza uma escala cíclica. Porém, no HC considera-se que há médicos que possuem horários de disponibilidade diferentes para cada semana do mês, principalmente em plantões noturnos e de fim de semana. Por exemplo, um determinado médico pode apresentar uma disponibilidade fixa para os dias úteis, mas só pode ser escalado no segundo domingo de cada mês.

Por isso, a escala dos anestesistas do HC não é cíclica pois, apesar da demanda se repetir todas as semanas, pode haver diferença entre as disponibilidades dos médicos durante as semanas do horizonte de planejamento.

4 . MODELO MATEMÁTICO

O problema de alocação dos anestesistas é definido para um conjunto de eventos E que devem ser atendidos. Cada evento representa um procedimento (cirurgia ou exame) e contém informações sobre o dia da semana que o evento ocorre, em qual sala, tempo de duração e especialidade. Estes dados são definidos previamente pelo hospital e se repetem semanalmente. A duração de cada evento é dada com base nos turnos listados na TABELA 7.

Consideramos o conjunto W de semanas do horizonte de planejamento, onde cada semana é particionada em um conjunto de períodos P . Cada dia da semana é composto por quatro períodos. Uma combinação entre a semana $w \in W$ e o período $p \in P$ representa um turno de designação (w, p) com duração de seis horas de trabalho. Portanto, consideramos que cada semana possui 28 períodos. Os dois primeiros períodos de cada dia correspondem à manhã e tarde respectivamente. Os dois últimos, correspondem ao plantão noturno. O mesmo anestesista deverá atender os dois períodos correspondentes ao plantão noturno, compreendendo 12 horas de trabalho.

Devido as características do problema, o modelo matemático pode se tornar infactível por não atender a demanda e/ou não respeitar o período mínimo de descanso dos anestesistas. Considera-se então um anestesista fictício, chamado de 'coringa', que é alocado em procedimentos que não podem ser atendidos por anestesistas reais. A alocação do coringa deve ser evitada, pois significa que o determinado procedimento será cancelado e/ou a sala cirúrgica será fechada. Além disso, é desejável equilibrar de forma justa o uso de coringa entre os procedimentos realizados no hospital, para que não haja alguma especialidade mais prejudicada que outras.

Considera-se também um conjunto de anestesistas A , composto por anestesistas RJU, Ebserh, Funpar, COPAS e o anestesista coringa. Os anestesistas da Ebserh possuem regime trabalhista 12x36 horas, ou seja, devem trabalhar dois turnos seguidos e o intervalo exato de descanso de 36 horas entre os turnos deve ser respeitado.

Os conjuntos, parâmetros e variáveis utilizadas na construção do modelo se encontram na TABELA 8, TABELA 9 e TABELA 10, respectivamente.

TABELA 8 – NOTAÇÃO USADA PARA CONJUNTOS

Símbolo	Definição
A^T	Conjunto de anestesistas da categoria Ebserh
A^I	Conjunto de anestesistas das categorias RJU, Funpar e Ebserh
A^C	Conjunto de anestesistas da categoria COPAS
A^J	Conjunto referente ao anestesista coringa
A^R	Conjunto de anestesistas reais, composto pela união de A^I e A^C
A	Conjunto de todos os anestesistas, composto pela união de A^I , A^C e A^J
E	Conjunto de eventos
E^p	Conjunto de eventos que ocorrem no período p
E^s	Conjunto de eventos relacionados a especialidade s
E^{s3}	Conjunto de eventos cuja a especialidade é ofertada no máximo 3 vezes por semana
E^{sn}	Conjunto de eventos cujo especialidade é ofertada mais de 3 vezes por semana, exceto emergências
E^{MT}	Conjunto dos eventos que ocorrem pela manhã e tarde consecutivamente
E^N	Conjunto dos eventos que ocorrem a noite
W	Conjunto de semanas do horizonte de planejamento
P	Conjunto de períodos da semana
P^N	Conjunto dos primeiros períodos que ocorrem a noite
P^D	Conjuntos dos primeiros períodos do dia
P^4	Conjunto dos períodos múltiplos de 4
P^Z	Conjunto referente aos dois primeiros períodos do dia
S	Conjunto das 27 especialidades

FONTE: A autora (2018).

TABELA 9 - NOTAÇÃO USADA PARA PARÂMETROS

Símbolo	Definição
δ_{as}	Custo de preferência do anestesista a pela especialidade s
γ	Custo por período da alocação de cada anestesista da Categoria COPAS
c	Custo por período de alocação de anestesista coringa
μ_{awp}	Custo por período por alocar anestesistas em horários não disponíveis previamente
θ	Custo por número de períodos em que o anestesista deixa de repetir uma escala de eventos semanais
ρ	Custo por hora excedida em relação a carga horária semanal contratada
ω	Custo por hora não cumprida em relação a carga horária semanal contratada
ξ	Custo de não balanceamento de cancelamento de procedimentos entre as especialidades
θ	Custo por número de períodos em que o anestesista deixa de repetir uma escala de eventos semanais
ϑ	Quantidade de semanas do horizonte de planejamento
H_a	Carga horária semanal contratada do anestesista a
Q_s	Quantidade de procedimentos da especialidade s que ocorrem durante a semana
\underline{p}_a^{shif}	Número mínimo de períodos trabalhados consecutivamente pelo anestesista a
\overline{p}_a^{shif}	Número máximo de períodos trabalhados consecutivamente pelo anestesista a
\underline{p}_a^{rest}	Número mínimo de períodos de descanso entre os turnos trabalhados pelo anestesista a

FONTE: A autora (2018).

TABELA 10 - NOTAÇÃO USADA PARA VARIÁVEIS

Símbolo	Definição
x_{aewp}	Variável binária que indica se o anestesista a atende o evento e na semana w durante o período p
β_{aw}	Variável inteira que indica quantas horas excederam a carga horária contratada do anestesista a na semana w
α_{aw}	Variável inteira que indica quantas horas faltaram para completar a carga horária contratada do anestesista a na semana w
C_{max}	Variável inteira que indica a quantidade de coringa usado pela especialidade que mais usou coringa
C_{min}	Variável inteira que indica a quantidade de coringa usado pela especialidade que menos usou coringa
Y_{awd}	Variável binária que diz se o anestesista a trabalha durante o período da manhã e/ou tarde do dia d
Yn_{awd}	Variável binária que indica se o anestesista a trabalha na noite do dia d na semana w
y_{awp}^{shift}	Variável binária que indica se o anestesista a inicia um turno no período p da semana w
g_{aep}	Variável binária que indica se o anestesista a trabalha ao menos uma vez no evento e no período p durante o horizonte de planejamento
k_{aep}	Variável inteira que indica quantas vezes o anestesista a deixou de cumprir a repetição de escala no evento e no período p
HR_{aw}	Variável inteira que indica a carga horária realizada pelo anestesista a na semana w

FONTE: A autora (2018).

Tem-se então um modelo multiobjetivo para designar um anestesista $a \in A$ a um determinado evento $e \in E$ no turno (w, p) de forma a minimizar os custos de alocação, maximizar a preferência do anestesista pela especialidade do evento e equilibrar o cancelamento de cirurgias de todas as especialidades. Além disso, é desejável reduzir o número de alocações de anestesistas em períodos diferentes daqueles informados previamente e que a carga horária realizada por cada anestesista durante a semana seja próxima à carga horária semanal contratada, havendo repetição da escala durante as semanas consideradas.

A função objetivo (1) é dividida em 8 objetivos. A expressão (2) é referente ao custo de não atendimento das preferências dos anestesistas. A expressão (3) é referente ao custo de alocação dos anestesistas da categoria COPAS. A expressão (4) é referente ao custo de alocação de anestesista coringa, equivalente ao custo de cancelar um procedimento. A expressão (5) é referente aos períodos em que anestesistas foram

escalados fora dos horários previamente disponíveis. Caso o anestesista a esteja disponível em (w, p) , consideramos o peso μ_{awp} nulo. As expressões (6) e (7) referem-se às penalidades de falta e excesso de carga horária semanal, respectivamente, em relação a carga horária prevista em contrato.

A expressão (8) busca equilibrar o cancelamento dos procedimentos proporcionalmente entre as especialidades. A expressão (9) visa minimizar os períodos em que os anestesistas não repetem a escala. A função objetivo é linear por partes e penaliza somente quando o anestesista, que for escalado ao menos uma vez para o evento e no período p durante horizonte de planejamento, trabalhe em menos de 30% das semanas neste mesmo evento e e período p . Não há penalização caso o anestesista seja escalado em mais de 70% das semanas do mesmo evento e período.

$$\text{Min } O_1 + O_2 + O_3 + O_4 + O_5 + O_6 + O_7 + O_8 \quad (1)$$

$$O_1 = \sum_{a \in A^R} \sum_{e \in E} \sum_{w \in W} \sum_{p \in P} \delta_{as} x_{aewp} \quad (2)$$

$$O_2 = \sum_{a \in A^C} \sum_{e \in E} \sum_{w \in W} \sum_{p \in P} \gamma x_{aewp} \quad (3)$$

$$O_3 = \sum_{a \in A^J} \sum_{e \in E} \sum_{w \in W} \sum_{p \in P} c x_{aewp} \quad (4)$$

$$O_4 = \sum_{a \in A} \sum_{e \in E} \sum_{w \in W} \sum_{p \in P} \mu_{awp} x_{aewp} \quad (5)$$

$$O_5 = \sum_{a \in A} \sum_{w \in W} \rho \beta_{aw} \quad (6)$$

$$O_6 = \sum_{a \in A} \sum_{w \in W} \omega \alpha_{aw} \quad (7)$$

$$O_7 = \xi (C_{max} - C_{min}) \quad (8)$$

$$O_8 = \begin{cases} 0 & , \text{ se } k_{aep} \leq 0,3\vartheta \\ \sum_{a \in A^R} \sum_{e \in E} \sum_{p \in P} \theta k_{aep} & , \text{ caso contrário} \end{cases} \quad (9)$$

Sujeito à

$$\sum_{a \in A} x_{aewp} = 1 \quad \forall e, w, p \quad (10)$$

$$\sum_{e \in E} x_{aewp} \leq 1 \quad \forall a \in A^R, w, p \quad (11)$$

$$x_{aewp} - x_{aewp+1} = 0 \quad \forall w, p \in P^D, e \in (E^{MT} \cap E^P) \quad (12)$$

$$x_{aewp} - x_{aewp+1} = 0 \quad \forall a, w, p \in P^N, e \in E^N \quad (13)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{e \in E} 6x_{aewp} = HR_{aw} \quad \forall w, a \in A^R \quad (14)$$

$$HR_{aw} \leq H_a + \beta_{aw} \quad \forall a \in A^R, w \quad (15)$$

$$HR_{aw} \geq H_a - \alpha_{aw} \quad \forall a \in A^R, w \quad (16)$$

$$\beta_{aw} \leq 30 \quad \forall a \in A^R, w \quad (17)$$

$$\alpha_{aw} \leq 30 \quad \forall a \in A^R, w \quad (18)$$

$$\sum_{p \in P^Z} \sum_{e \in E} x_{aewp} \geq Y_{awd} \quad \forall a \in A^C, w, d \quad (19)$$

$$\sum_{e \in E} x_{aewp} \leq Y_{awd} \quad \forall a \in A^C, w, d, p \in P^Z \quad (20)$$

$$\sum_{e \in E} x_{aewp} \geq Yn_{awd} \quad \forall a \in A^C, w, d, p \in P^4 \quad (21)$$

$$\sum_{e \in E} x_{aewp} \leq Yn_{awd} \quad \forall a \in A^C, w, d \quad (22)$$

$$\sum_{a \in A^C} Y_{awd} \leq 6, \quad \forall w, d \quad (23)$$

$$\sum_{e \in E^S} \sum_{w \in W} \sum_{p \in P} x_{aewp} \geq C_{min} \quad \forall s, a \in A^J \quad (24)$$

$$\sum_{e \in E^S} \sum_{w \in W} \sum_{p \in P} x_{aewp} \leq C_{max} \quad \forall s, a \in A^J \quad (25)$$

$$\sum_{e \in E^{S3}} \sum_{p \in P} x_{aewp} \leq 1 \quad \forall w, s, a \in A^J \quad (26)$$

$$\sum_{e \in E^{Sn}} \sum_{p \in P} x_{aewp} \leq \left\lfloor \frac{Q_s}{2} \right\rfloor \quad \forall w, s, a \in A^J \quad (27)$$

$$x_{aewp} \leq g_{aep} \quad \forall a \in A^R, w, p, e \quad (28)$$

$$k_{aep} = \vartheta g_{aep} - \sum_{w \in W} x_{aewp} \quad \forall a \in A^R, p, e \quad (29)$$

$$-\sum_{e \in E} x_{aewp} + y_{awp}^{shift} \leq 0, \quad \forall a \in A^R, w, p \quad (30)$$

$$\sum_{e \in E} x_{aewp-1} + y_{awp}^{shift} \leq 1, \quad \forall a \in A^R, w, p \geq 2 \quad (31)$$

$$x_{aew1} - y_{awp}^{shift} \leq 0, \quad \forall a \in A^R, w \quad (32)$$

$$x_{aewp} - x_{aewp-1} - y_{awp}^{shift} \leq 0, \forall a \in A^R, w, p \geq 2 \quad (33)$$

$$\sum_{\rho=p}^{p+\underline{P}_a^{shift}-1} x_{aew\rho} \geq \underline{P}_a^{shift} y_{awp}^{shift}, \forall a \in A^R, w, p \in \{1, \dots, |P| - \underline{P}_a^{shift}\} \quad (34)$$

$$\sum_{\rho=p}^{|P|} x_{aew\rho} \geq (|P| - p + 1), \forall a \in A^R, w, p \in \{|P| - \underline{P}_a^{shift} + 1, \dots, |P|\} \quad (35)$$

$$\sum_{\rho=p+\underline{P}_a^{shift}}^{p+\overline{P}_a^{shift}} (1 - x_{aew\rho}) \geq y_{awp}^{shift}, \forall a \in A^R, w, p \in \{1, \dots, |P| - \overline{P}_a^{shift}\} \quad (36)$$

$$\sum_{\rho=1}^{p-1} (1 - x_{aew\rho}) \geq (p-1) y_{ewp}^{shift}, \forall a \in A^R, w, p \in \{2, \dots, \underline{P}_a^{rest}\} \quad (37)$$

$$\sum_{\rho=p-\underline{P}_a^{rest}}^{p-1} (1 - x_{aew\rho}) \geq \underline{P}_a^{rest} y_{ewp}^{shift}, \forall a \in A^R, w, p \in \{\underline{P}_a^{rest} + 1, \dots, |P|\} \quad (38)$$

$$x_{aewp} = \{0,1\}, \forall a, e, w, p \quad (39)$$

$$\beta_{aw}, \alpha_{aw} \in \mathbb{Z}^+, \forall a, w \quad (40)$$

$$C_{max}, C_{min} \in \mathbb{Z}^+ \quad (41)$$

$$Y_{awd}, Yn_{awd} = \{0,1\}, \forall a, w, d \quad (42)$$

$$y_{awp}^{shift} = \{0,1\}, \forall a, w, p \quad (43)$$

$$g_{aep}, k_{aep} = \{0,1\}, \forall a, e, p \quad (44)$$

$$HR_{aw} \in \mathbb{Z}^+, \forall a, w \quad (45)$$

O conjunto de restrições (14) define o número de horas trabalhadas na semana w por cada anestesista a . As restrições (15) e (16) determinam que cada anestesista excede β_{aw} horas da carga horária semanal contratada ou deixa de cumprir α_{aw} horas durante a semana. As restrições (17) e (18) limitam a carga horária de trabalho semanal de cada anestesista à no máximo 30 horas excedidas ou faltantes em relação a carga horária contratada.

Os conjuntos de restrições (19) à (23) são válidas somente para anestesistas COPAS. As restrições (19) e (20) definem se o anestesista a trabalha nos períodos diurnos do dia d , ou seja, manhã e tarde, na semana w . Os conjuntos de restrições (21)

e (22) definem se o anestesista a inicia um plantão noturno no dia d . As restrições (23) limitam o uso de anestesistas COPAS a no máximo seis por dia, conforme o contrato do HC com a cooperativa de anestesistas.

Os conjuntos de restrições de (24) à (25) são referentes ao anestesista coringa, usado para garantir a factibilidade do modelo. Os conjuntos de restrições (24) e (25) definem o número de coringas usados pela especialidade que teve menos e mais designação de anestesista coringa, respectivamente. Os conjuntos de restrições (26) e (27) buscam distribuir a quantidade de coringa utilizado de forma justa, considerando o número de vezes que determinado procedimento se repete durante a semana. Na prática, o uso do anestesista coringa em um evento indica que a cirurgia não pode ser atendida por nenhum anestesista, representando, portanto, o cancelamento da mesma. Cada especialidade tem um número determinado de procedimentos durante a semana.

Dessa forma, as restrições (26) garantem que, se a especialidade ocorre até 3 vezes durante a semana, limita-se o uso de coringa à no máximo 1 evento. Para as especialidades que possuem mais do que 3 eventos durante a semana (27), desejamos que o uso de coringa seja limitado a $\lceil \frac{Can_s}{2} \rceil$, onde Can_s representa a quantidade de eventos da especialidade s durante a semana. Esta restrição não é válida para os eventos relacionados a emergências de centro cirúrgico e centro obstétrico. Isso ocorre pois há carência de profissionais e, na prática, é preferível que os anestesistas atendam à cirurgias do que emergências.

As restrições (28) e (29) são usadas para o controle mensal da escala dos anestesistas e estão relacionadas à expressão (9) da função objetivo. O conjunto de restrições (28) verifica se o anestesista foi escalado pelo menos uma vez para atuar no evento e durante o período p no horizonte de planejamento. Já o conjunto de restrições (29) define a variável k_{aep} , que indica o número de vezes em que o anestesista a deixou de repetir sua escala durante o período de planejamento, sendo que $k_{aep} = 0$ apenas se o anestesista a não trabalhou no evento e ou se trabalhou no evento durante todas as semanas de planejamento.

Os conjuntos de restrições (30) à (38) foram adaptados do trabalho de Brunner e Edenharter (2011). Os conjuntos de restrições (30) à (33) definem se o anestesista a inicia um turno em (w, p) , sendo que o turno de trabalho varia entre uma duração mínima

e máxima de períodos que diferem para cada tipo de contrato trabalhista conforme TABELA 6.

As restrições (34) e (35) garantem que o turno do anestesista a tenha no mínimo \underline{P}_a^{shift} períodos de duração. O conjunto de restrições (36) garante que o turno de trabalho de cada anestesista a não ultrapasse \overline{P}_a^{shift} períodos de seis horas. As restrições (37) e (38) garantem que haja \underline{P}_a^{rest} períodos de descanso entre os turnos trabalhados pelo anestesista a .

As restrições (39) à (45) são referentes ao domínio das variáveis do modelo.

5. ESTUDO DE PESOS NA FUNÇÃO OBJETIVO

Neste capítulo são apresentadas duas metodologias para definir o valor dos parâmetros usados na função objetivo do modelo: o método do Arranjo Ortogonal de Taguchi e o Analytic Hierarchy Process.

5.1 Método do Arranjo Ortogonal de Taguchi

Um dos grandes desafios de modelos multiobjetivos é definir os pesos que decidirão a importância de cada objetivo para a solução do problema. Um bom peso para cada componente da função objetivo é aquele que melhor irá aproximar o resultado obtido da realidade, ou do resultado esperado. Porém, testar todas as possíveis combinações de pesos pode ser muito trabalhoso e inviável na grande maioria dos casos, fazendo com que o gestor busque formas de testar o maior número de parâmetros usando o menor número de testes possíveis. (ROY, 2001).

Os fatores para o delineamento de experimentos no presente trabalho são os pesos associados à sete objetivos da função objetivo de nosso modelo. Para cada peso, escolhemos três níveis de valores de acordo com a importância que cada objetivo representa. A TABELA 11 apresenta os níveis escolhidos para cada um dos sete fatores considerados. Os valores médios foram definidos empiricamente, com base na opinião dos gestores do hospital.

TABELA 11 – FATORES E NÍVEIS CONSIDERADOS

FATORES (OBJETIVOS)		NÍVEIS		
Preferências	δ_{as}	6	8	10
Custo dos COPAS	γ	3	5	7
Custo do CORINGA	c	5	10	15
Alocação em períodos de indisponibilidade	μ	10	20	30
Carga horária faltando	ω	0,1	0,16	0,22
Carga horária em excesso	ρ	0,1	0,2	0,3
Balanceamento de cancelamentos	ξ	0,2	1,1	2

FONTE: A autora (2018).

Para cada fator definimos três níveis a serem considerados, de forma que se fossemos testar todas as combinações possíveis teríamos ao total $3^7 = 2187$ combinações diferentes. Um número tão grande de testes é completamente inviável devido ao imenso tempo computacional que seria necessário para calcular todas estas combinações e pela difícil tarefa de analisar a grande quantidade de dados. Utilizando o método dos arranjos ortogonais de Taguchi (1987) diminuimos o número de testes para apenas 27, utilizando o arranjo $L_{27}(3^7)$, gerando uma base confiável para a análise de resultados.

Para esse estudo, tem-se que resolver o modelo matemático para cada teste, com auxílio de um *solver* e, a partir dos resultados obtidos, utilizar o método de Taguchi para identificar a relação entre os objetivos do modelo e os pesos da função objetivo. Dado que os modelos para uma semana de planejamento são mais simples e rápidos de serem resolvidos, eles foram utilizados para a análise, ao invés de modelos com tempo de planejamento maior. Por isso, o objetivo referente à repetição de escala será desconsiderado, pois não é possível definir os valores correspondentes para somente uma semana de planejamento.

Para cada teste listado no QUADRO 2, calcula-se dos valores correspondentes a cada um dos sete objetivos considerados, são eles: a quantidade de turnos em que houve violação de preferência; quantidade de turnos em que os médicos foram alocados em períodos que não estavam previamente disponíveis; quantidade de turnos com alocações

de anestesistas da cooperativa; quantidade de turnos em que o anestesista fictício foi utilizado; o número de turnos em que houve alocação de coringa da especialidade que mais teve esse tipo de alocação (correspondente à variável C_{max}) e o total de horas trabalhadas acima e abaixo da carga horária semanal contratada. Esses valores serão utilizados para indicar o quanto o peso de uma expressão da função objetivo influencia os outros objetivos. Por exemplo, considerando o objetivo de minimizar o número de preferências violadas, resolve-se os 27 testes e realiza a contagem de cada um dos sete objetivos. Espera-se que a quantidade de turnos com preferências violadas seja inversamente proporcional ao valor de δ_{as} . Porém, com a análise de Taguchi é possível verificar se o peso do atendimento da preferência também influencia positiva ou negativamente o resultado dos outros objetivos, como por exemplo, a utilização de anestesista fictício.

Para a realização dos testes foi utilizado um computador com CPU Intel Core i7-6500U e 2.5 GHz, 8 GB de RAM e com sistema operacional de 64 bits, Windows 10. Para a resolução do modelo proposto foi utilizado o *solver* GUROBI 7.0.2 em sua versão acadêmica, com os algoritmos implementados em VB.net e as análises dos Arranjos Ortogonais de Taguchi foram desenvolvidas no *software* Minitab 17.

QUADRO 2 - ARRANJO ORTOGONAL $L_{27} (3^7)$

Testes	Fatores						
	δ_{as}	γ	c	μ	ω	ρ	ξ
1	6,0	3,0	5,0	10,0	0,1	0,1	0,2
2	6,0	3,0	5,0	10,0	0,2	0,2	1,1
3	6,0	3,0	5,0	10,0	0,3	0,2	2,0
4	6,0	5,0	10,0	20,0	0,1	0,1	0,2
5	6,0	5,0	10,0	20,0	0,2	0,2	1,1
6	6,0	5,0	10,0	20,0	0,3	0,2	2,0
7	6,0	7,0	15,0	30,0	0,1	0,1	0,2
8	6,0	7,0	15,0	30,0	0,2	0,2	1,1
9	6,0	7,0	15,0	30,0	0,3	0,2	2,0
10	8,0	3,0	10,0	30,0	0,1	0,2	2,0
11	8,0	3,0	10,0	30,0	0,2	0,2	0,2
12	8,0	3,0	10,0	30,0	0,3	0,1	1,1
13	8,0	5,0	15,0	10,0	0,1	0,2	2,0
14	8,0	5,0	15,0	10,0	0,2	0,2	0,2
15	8,0	5,0	15,0	10,0	0,3	0,1	1,1
16	8,0	7,0	5,0	20,0	0,1	0,2	2,0
17	8,0	7,0	5,0	20,0	0,2	0,2	0,2
18	8,0	7,0	5,0	20,0	0,3	0,1	1,1
19	10,0	3,0	15,0	20,0	0,1	0,2	1,1
20	10,0	3,0	15,0	20,0	0,2	0,1	2,0
21	10,0	3,0	15,0	20,0	0,3	0,2	0,2
22	10,0	5,0	5,0	30,0	0,1	0,2	1,1
23	10,0	5,0	5,0	30,0	0,2	0,1	2,0
24	10,0	5,0	5,0	30,0	0,3	0,2	0,2
25	10,0	7,0	10,0	10,0	0,1	0,2	1,1
26	10,0	7,0	10,0	10,0	0,2	0,1	2,0
27	10,0	7,0	10,0	10,0	0,3	0,2	0,2

FONTE: A autora (2018).

Na TABELA 12 podemos observar os resultados do arranjo ortogonal, onde o valor apresentado é a amplitude dos valores obtidos pela análise da var ANOVA do arranjo ortogonal e o valor entre parênteses é a ordem da importância com que os pesos dos demais fatores influem sobre o valor do parâmetro atual.

Ao observar os valores por linha, constata-se os fatores que influenciam naquela expressão da função objetivo, da mesma forma ao se observar por coluna, pode-se definir quais expressões que são influenciados pelo fator atual. Em destaque estão os fatores

que realmente podem influenciar a expressão se alterados, tendo como base o *p-valor* menor que 0,05.

TABELA 12 – RESULTADO DOS TESTES DO ARRANJO ORTOGONAL DE TAGUCHI USANDO ANOVA

Objetivo	δ_{as}	γ	c	μ	ω	ρ	ξ
O_1	1,222 (4)	4 (2)	4,556 (1)	3,222 (3)	0,444 (6)	0,778 (5)	0,333 (7)
O_2	11,444 (3)	12,889 (2)	32 (1)	2,222 (7)	7,333 (4)	4,889 (5)	2,444 (6)
O_3	5,44 (5)	12,56 (3)	57,56 (1)	22,33 (2)	4,22 (6)	6,67 (4)	2,11 (7)
O_4	6 (3)	3,333 (4)	12,667 (2)	16,333 (1)	2 (6)	2 (6)	2 (6)
O_5	2,11 (3)	0,33 (7)	5,22 (2)	5,56 (1)	1,56 (4)	1,44 (5)	6 (6)
O_6	1,56 (6)	3,11 (2)	14,33 (1)	2,89 (3)	2,56 (4)	1,89 (5)	0,33 (7)
O_7	2 (4,5)	2 (4)	6 (2)	2,667 (3)	1,222 (6)	0,889 (7)	95,444 (1)

FONTE: A autora (2018).

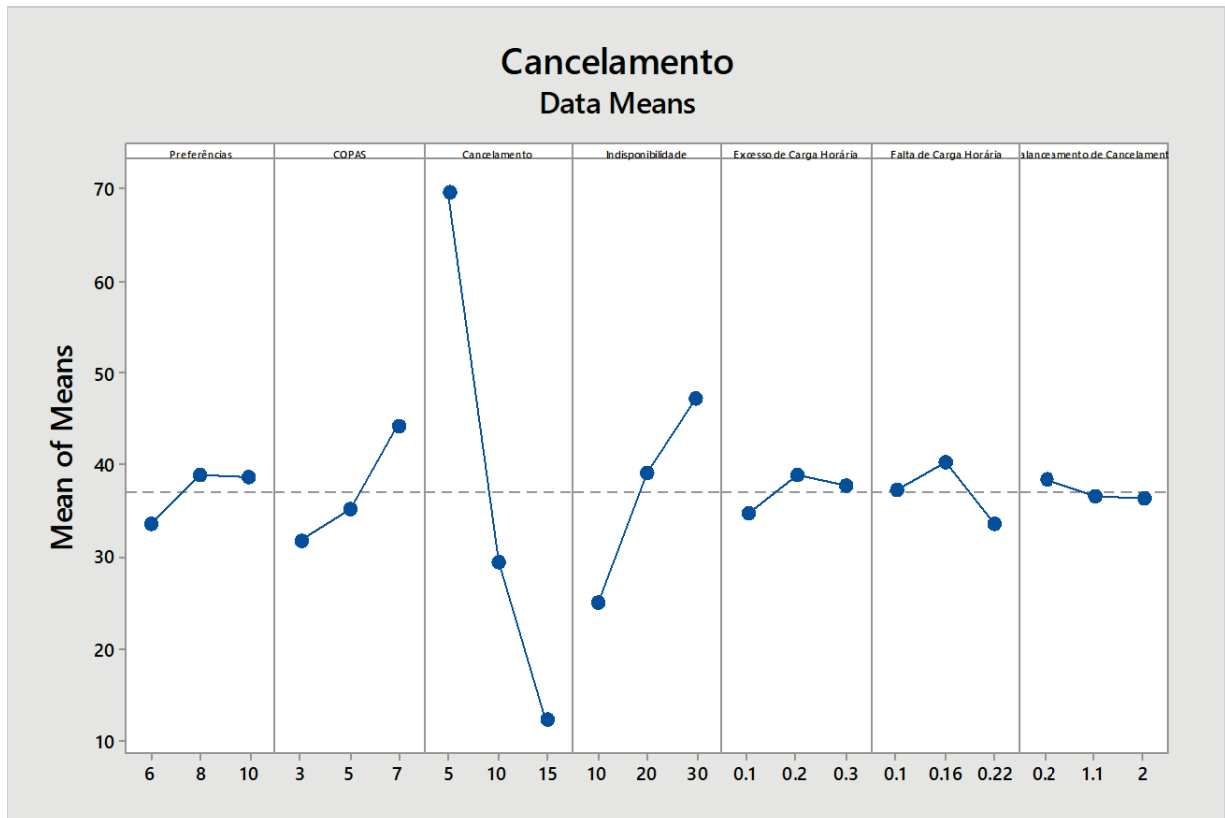
Como exemplo usaremos a expressão O_1 que representa as preferências dos médicos anestesistas. Vemos que o único parâmetro que influencia O_1 é o próprio δ_{as} , porém pela coluna vemos que o parâmetro δ_{as} tem influência estatisticamente significativa sobre as expressões O_1 , O_3 , O_4 e O_5 , ou seja, as próprias preferências, os coringas, disponibilidade e o excesso de carga semanal.

Ao observar as colunas, é possível notar a dependência de um fator com os demais. Por exemplo, considerando a coluna c , referente ao uso de anestesistas coringas, temos que os valores dos níveis deste fator não influenciam apenas na expressão O_3 referente ao uso de coringas, mas também em O_6 , quantidade de carga horária em excesso. Isso se deve ao fato de que, quanto menos o coringa for usado, mais os anestesistas reais precisaram trabalhar para atender a demanda de pacientes, aumentando sua carga horária.

Na FIGURA 2 apresenta-se o gráfico da influência dos demais fatores sobre o parâmetro referente ao anestesista coringa. Para a análise, observa-se os quadros de COPAS, Coringa e Indisponibilidade aos quais são apontados na TABELA 12 como os fatores que mais influenciam o uso de anestesistas fictícios. Para diminuir o uso do coringa é recomendado utilizar os pesos entre os seguintes intervalos $\gamma \in [5,7]$, $c \in [10,15]$ e $\mu \in [10,20]$. Os outros quatro fatores não trariam grandes mudanças na solução

do modelo, mas seus valores poderiam ser $\delta \in [6,8]$, $\omega \in [0.16,0.22]$, $\rho = [0.1,0.16]$ e $\xi \in [0.2,1.1]$.

FIGURA 2 - ANÁLISE TAGUCHI PARA O USO DO PARÂMETRO REFERENTE AO CORINGA



FONTE: A autora (2018).

Seguindo o mesmo raciocínio para os sete fatores restantes, obtém-se os valores da TABELA 13. Todos os pesos foram definidos inicialmente como os pesos médios utilizados na análise e, com o auxílio do p-valor e do gráfico, os valores referentes aos pesos relevantes foram alterados.

TABELA 13 – VALOR SUGERIDO PARA OS PARÂMETROS

FATOR	δ_{as}	γ	c	μ	ω	ρ	ξ
Preferências	10	5	9	23	0.2	0.16	1
COPAS	9	7	9	20	0.2	0.16	1.1
Coringa	8	7	15	15	0.2	0.16	1.1
Falta	8	5	15	20	0.2	0.16	1.1
Excesso	10	5	15	28	0.2	0.22	1.5
Indisponibilidade	9	6	9	30	0.3	0.2	1.1
Equilíbrio	8	5	15	20	0.2	0.16	2

FONTE: A autora (2018).

5.2 Analytic Hierarchy Process (AHP)

Um dos grandes desafios encontrados ao modelar um problema real multiobjetivo é adaptar os parâmetros do modelo de forma a conseguir reproduzir o resultado desejado pelo gestor da empresa. O desafio se torna ainda maior quando existem mais de um gestor e não havendo consenso entre as opiniões. Para solucionar este problema usaremos o método Analytic Hierarchy Process (AHP).

Os critérios considerados na AHP são os objetivos do modelo e são comparados em pares, onde é possível mensurar quanto um critério/objetivo é mais importante em relação a outro. Conforme o número de critérios aumenta, a dimensão da matriz de comparações também aumenta e, portanto, há maior possibilidade de haver inconsistência nos dados.

Pela função objetivo do modelo, o peso de horas em excesso pode ser diferente do peso de horas faltantes. Porém, para a AHP vamos considerar que os dois objetivos apresentam o mesmo custo. Os objetivos de balanceamento e repetição de escala foram desconsiderados na análise, pois são objetivos secundários. Considerou-se então cinco objetivos para a análise: Preferências, COPAS, Cancelamento, Horas e Disponibilidades.

No hospital, há dois gestores responsáveis pela escala de anestesistas: um gerente administrativo, que busca diminuir os custos, do hospital e um gerente

operacional, que busca melhorar a satisfação de trabalho dos anestesistas. As prioridades de cada uma podem ser vistas na TABELA 14 e TABELA 15.

TABELA 14 – MATRIZ DE PRIORIDADES (GERENTE ADMINISTRATIVO)

	<i>Preferências</i>	<i>COPAS</i>	<i>Cancelamento</i>	<i>Horas</i>	<i>Disponibilidade</i>
Preferências	1	7 ⁻	9 ⁻	5 ⁻	7 ⁻
COPAS	7 ⁺	1	9 ⁻	7 ⁺	5 ⁺
Cancelamento	9 ⁺	9 ⁺	1	9 ⁺	9 ⁺
Horas	5 ⁺	7 ⁻	9 ⁻	1	1 ⁻
Disponibilidade	7 ⁺	5 ⁻	7 ⁻	1 ⁺	1

FONTE: A autora (2018).

TABELA 15 – MATRIZ DE PRIORIDADES (GERENTE OPERACIONAL)

	<i>Preferências</i>	<i>COPAS</i>	<i>Cancelamento</i>	<i>Horas</i>	<i>Disponibilidade</i>
Preferências	1	5 ⁻	9 ⁻	5 ⁻	7 ⁻
COPAS	5 ⁺	1	9 ⁻	3 ⁻	5 ⁻
Cancelamento	9 ⁺	9 ⁺	1	3 ⁺	3 ⁺
Horas	5 ⁺	3 ⁺	3 ⁻	1	9 ⁻
Disponibilidade	7 ⁺	5 ⁺	3 ⁻	9 ⁺	1

FONTE: A autora (2018).

Para ajudar na compreensão da TABELA 14 e TABELA 15, pode-se observar a comparação de importância do objetivo de reduzir uso de anestesistas da cooperativa em relação a minimizar as horas trabalhadas além ou aquém da carga horária semanal. Na TABELA 14 podemos ver que o gerente administrativo avalia esta relação com 7⁺, ou seja, reduzir o número de anestesistas da cooperativa é muito mais importante do que não permitir flutuações na carga horária semanal. Já na TABELA 15 o gestor operacional avalia a mesma relação como 3⁻, ou seja, tem peso menor considerando os mesmos objetivos.

O resultado geral da AHP pode ser visualizado na FIGURA 3.

FIGURA 3 - RESULTADO AHP



FONTE: A autora (2018).

Para este trabalho, os valores encontrados foram multiplicados por 100 para utilizar na função objetivo. Portanto, o peso das preferências é nulo se o anestesista deseja trabalhar em determinado procedimento, 4 no caso do anestesista não desejar trabalhar em determinado procedimento e 1 caso o anestesista seja indiferente ao procedimento.

Como as variáveis referentes a carga horária são dadas em horas (excedidas ou faltantes) e as outras variáveis da função objetivo são dadas por turno, divide-se o peso obtido referente ao número de horas em excesso e a cumprir de cada anestesista na AHP por seis, para que um turno de hora extra ou faltante seja penalizado com valor 9,4 na função objetivo. Portanto, os parâmetros ρ e ω serão iguais à 1,56.

A expressão O_7 , referente ao uso equilibrado de anestesista coringa, tem o peso ξ igual a 1. O custo θ , referente a repetição de escala foi fixado com valor 10.

6 . RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos pelo modelo computacional para a primeira semana de junho de 2017 e para as quatro semanas desse mesmo mês. Consideramos que a escala é sempre iniciada na segunda feira. Logo, para o mês de junho de 2017 consideramos que há 4 semanas, iniciadas nos dias 3, 10, 17 e 24.

Com o auxílio das ferramentas apresentadas no capítulo 5, foram gerados nove modelos com pesos distintos na função objetivo. O primeiro corresponde aos valores médios utilizados no método de Taguchi, na seção 5.1. Os pesos utilizados nos sete modelos seguintes podem ser encontrados na TABELA 13 e correspondem a pesos indicados para cada um dos objetivos considerados na análise. Finalmente, o último modelo considera os valores obtidos pela análise Analytic Hierarchy Process (AHP) na seção 5.2.

TABELA 16 - PESOS UTILIZADOS

MODELO	DESCRIÇÃO	δ_{a_s}	γ	c	μ_{awp}	ω	ρ	ξ
M1	Média	8	5	10	15	0.16	0.2	1
M2	Preferências	10	5	9	23	0.16	0.2	1
M3	COPAS	9	7	9	20	0.16	0.2	1.1
M4	Coringa	8	7	15	15	0.16	0.2	1.1
M5	Alocação em indisponibilidade	9	6	9	30	0.2	0.3	1.1
M6	Carga horária faltando	8	5	15	20	0.16	0.2	1.1
M7	Carga horária em excesso	10	5	15	28	0.22	0.2	1.5
M8	Balanceamento de cancelamentos	8	5	15	20	0.16	0.2	2
M9	AHP	4	12.2	51.6	22.8	1.56	1.56	1

FONTE: A autora (2018).

Para resolução, foi utilizado o *solver* GUROBI. O critério de parada adotado foi interromper a resolução caso nenhuma melhoria seja encontrada dentro de 15 minutos.

6.1 Planejamento semanal

Os resultados obtidos para a definição de escala da primeira semana de junho de 2017 podem ser encontrados na .

TABELA 17. A coluna PREF. ATD. indica quantos eventos foram atendidos, sendo que os anestesistas tenham preferência por trabalharem nas especialidades relacionadas. A segunda coluna, indica a quantidade de eventos em que os anestesistas são indiferentes em relação as especialidades. A terceira coluna refere-se aos eventos em que as preferências dos médicos escalados foram violadas.

A coluna COPAS refere-se à quantidade de turnos trabalhados por anestesistas da cooperativa. A coluna FUNPAR indica quantos eventos foram atendidos por anestesistas da FUNPAR. A coluna RJU indica por anestesistas RJU foram escalados durante a semana. A coluna EBSEH indica quantos turnos foram atendidos anestesistas EBSEH.

A coluna COR. indica quantos eventos foram atendidos pelo anestesista coringa, o que significa na prática que não pode ser atendido por nenhum anestesista. A menor quantidade de turnos que o anestesista foi utilizado, considerando especialidade que menos foi atendida pelo anestesista fictício, foi igual à zero para todos os modelos. A maior quantidade de coringa utilizado para atender alguma especialidade está na coluna MAX. COR. A coluna INDSP informa a quantidade de turnos em que os anestesistas foram escalados para trabalhar fora da disponibilidade prévia informada.

As duas últimas colunas da tabela apresentam, respectivamente, a quantidade de horas que faltaram ser cumpridas e horas que foram trabalhados além da carga horária semanal contratada dos anestesistas.

Em destaque, estão os valores referentes ao principal objetivo de cada modelo. Por exemplo, o modelo M2 tem como principal objetivo reduzir as preferências violadas, por isso esse objetivo está em destaque. Para o modelo M9, destacamos o objetivo coringa pois, segundo as gerentes administrativa e operacional, este critério é o mais importante, como pode ser observado na FIGURA 3, referente à análise AHP realizada. Para o modelo M8, referente ao balanceamento de alocação de coringa entre as especialidades, é importante observar a coluna de MAX. COR, pois, em todos os casos o número mínimo de coringa alocado para alguma especialidade foi igual à zero. Logo, o balanceamento é dado somente pela quantidade de anestesista coringa utilizado pela especialidade que mais teve alocação desse anestesista fictício e quanto mais próximo de zero mais equilibrada está a distribuição.

TABELA 17 - RESULTADOS OBTIDOS PARA UMA SEMANA

MODELO	PREF. ATD.	PREF. IND.	PREF. VIOL.	COPAS	FUNPAR	RJU	EBSERH	COR.	MIN. COR.	MAX. COR.	INDSP	CH. DÉF.	CH. EXC.
M1	35	135	5	38	14	61	62	13	0	2	13	18	24
M2	21	123	4	38	9	57	44	40	0	3	0	24	21
M3	27	87	5	2	9	60	48	69	0	9	3	22	10
M4	40	136	5	38	14	65	64	7	0	2	18	17	27
M5	21	88	5	3	9	58	44	74	0	10	0	24	10
M6	35	137	6	39	14	61	64	10	0	2	14	18	26
M7	27	135	8	38	12	60	60	18	0	2	9	18	23
M8	35	137	6	39	14	61	64	10	0	2	14	18	26
M9	36	143	9	15	13	88	72	0	0	0	47	6	28

FONTE: A autora (2018).

Os anestesistas FUNPAR apresentam poucos períodos de disponibilidade. Caso o peso de disponibilidade seja maior do que o de cancelamento, será pouco provável que um anestesista FUNPAR seja alocado ao invés do anestesista coringa. Além disso, não é considerada nenhuma carga horária a ser cumprida pelos anestesistas dessa categoria. Logo, sempre que um anestesista FUNPAR for alocado à algum evento, haverá uma penalização na função objetivo por trabalhar horas além do contratado. Isso pode ser observado nos modelos M1, M4, M6 e M8, que apresentam maior alocação de anestesistas dessa categoria, onde há um alto número de turnos trabalhados fora da disponibilidade e uma quantidade significativa de horas trabalhadas em excesso.

Como pode-se observar na tabela, os modelos M3 e M5 apresentam os menores valores referentes à carga horária trabalhada em excesso. No modelo M5, não há turnos com alocação de anestesista fora da disponibilidade. Logo, pode-se observar que o número de alocações de anestesistas FUNPAR é baixo. O modelo M3 tem como principal objetivo reduzir o número de alocações de anestesistas da cooperativa. De fato, o menor valor desse objetivo é encontrado nesse modelo. Porém, a redução de anestesistas COPAS implica um maior uso de anestesista fictício. O modelo M5 apresenta o mesmo comportamento, pois tem como objetivo reduzir o número de turnos trabalhados em períodos de indisponibilidade e alto custo de horas trabalhadas em excesso.

Os menores valores para preferências violadas foram obtido M2. De fato, o modelo M2 tem como principal objetivo minimizar o número de preferências violadas e apresenta o menor valor desse objetivo em relação aos outros modelos. Como não se considera preferência para o anestesista fictício, pode-se observar em 148 turnos temos contagem de preferências (atendidas, indiferentes e violadas) e os 40 restantes são referentes à alocação de anestesista coringa.

O menor número de alocações de anestesista coringa é encontrado no modelo M9, porém esse modelo apresenta um alto número de alocações fora da disponibilidade. Já o modelo M4, que visa reduzir o número de coringas utilizados, compensa a redução de coringa com um aumento de uso de anestesistas da cooperativa.

Na TABELA 18, estão listados os valores de GAP² e o tempo que o solver foi interrompido. Somente no modelo M3 o solver não encontrou a solução ótima e foi interrompido pelo critério de 15 minutos sem melhoria. A solução foi encontrada rapidamente, em menos de um segundo, mas nos 900 segundos seguintes não houve melhoria, somente aumento do *lower bound* do modelo.

TABELA 18 – GAP E TEMPO DE EXECUÇÃO PARA OS MODELOS SEMANAIS

MODELO	GAP (%)	TEMPO (S)
M1	0	0,94
M2	0	1,44
M3	0,0407	900,90
M4	0	1,48
M5	0	1,05
M6	0	1,06
M7	0	0,97
M8	0	1,05
M9	0	1,44

FONTE: A autora (2018).

6.2 Planejamento mensal

Os resultados obtidos para quatro semanas de junho de 2017, considerando os modelos da TABELA 16, estão listados na TABELA 19.

A TABELA 20 informa quantos eventos não foram atendidos pelos mesmos médicos durante todo o horizonte de planejamento, considerando os 188 eventos que ocorrem a cada semana. O modelo proposto não penaliza eventos que sejam atendidos pelo menos profissional por até 30% das semanas. O horizonte considerado é de quatro semanas portanto, se o evento for atendido pelo mesmo anestesista por pelo menos três semanas, não é penalizado na função objetivo. Em todos os modelos testados, não há penalização na função objetivo.

² GAP é a diferença entre os limites superior e inferior encontrados pelo *solver*.

TABELA 19 - RESULTADOS OBTIDOS PARA QUATRO SEMANAS

MODELO	PREF. ATD.	PREF. IND.	PREF. VIOL.	COPAS	FUNPAR	RJU	EBSERH	COR.	MIN. COR.	MAX. COR.	INDSP	CH. DÉF.	CH. EXC.
M1	140	512	12	136	52	242	234	88	0	26	54	84	89
M2	84	460	0	136	32	226	150	208	0	26	0	108	76
M3	106	332	0	8	36	236	174	298	0	42	11	101	35
M4	152	565	12	140	55	288	246	23	0	4	90	66	114
M5	84	340	12	16	32	230	158	316	0	48	0	108	36
M6	148	539	12	140	53	264	242	53	0	16	60	75	105
M7	108	527	24	136	47	256	220	93	0	16	32	79	96
M8	148	539	12	140	53	264	242	53	0	16	60	75	105
M9	132	584	36	60	51	353	288	0	0	0	183	23	112

FONTE: A autora (2018).

TABELA 20 - REPETIÇÃO DE ESCALA

MODELO	REP. ESC.
M1	8
M2	4
M3	6
M4	27
M5	4
M6	27
M7	31
M8	27
M9	32

FONTE: A autora (2018).

Na TABELA 21 encontram-se os valores de GAP e o tempo computacional que foi necessário para atingir a solução. Também é possível verificar que os pesos utilizados na função objetivo podem alterar significativamente o tempo de resolução.

Na TABELA 22 encontram-se os valores referentes à escala realizada no HC durante as quatro semanas de junho e os resultados obtidos via modelo.

TABELA 21 - RESULTADOS MENSAIS

MODELO	GAP (%)	TEMPO (S)
M1	0	391,87
M2	0	130,67
M3	0,0123	1036,85
M4	0,5582	1024,94
M5	0,0097	124,94
M6	0	656,19
M7	0,0064	851,54
M8	0,4958	1000,87
M9	0,8678	4173,46

FONTE: A autora (2018).

TABELA 22 - COMPARAÇÃO ENTRE A ESCALA REALIZADA E OS RESULTADOS COMPUTACIONAIS OBTIDOS

MODELO	PREF. ATD.	PREF. IND.	PREF. VIOL.	COPAS	FUNPAR	RJU	EBSERH	COR.	INDSP
HC	20	487	2	172	40	137	160	243	63
M1	140	512	12	136	52	242	234	88	54
M2	84	460	0	136	32	226	150	208	0
M3	106	332	0	8	36	236	174	298	11
M4	152	565	12	140	55	288	246	23	90
M5	84	340	12	16	32	230	158	316	0
M6	148	539	12	140	53	264	242	53	60
M7	108	527	24	136	47	256	220	93	32
M8	148	539	12	140	53	264	242	53	60
M9	132	584	36	60	51	353	288	0	183

FONTE: A autora (2018).

Em comparação com a escala realizada no mesmo período, é possível verificar que os modelos apresentaram valores maiores para preferências atendidas, alocação de anestesistas RJU e EBSEH. Em relação as preferências atendidas, os modelos apresentaram valores bem mais altos do que o realizado no hospital. A quantidade de alocações em especialidades em que os médicos são indiferentes quanto à preferência foi similar ao realizado no hospital. Em relação as preferências violadas, os modelos apresentaram valores maiores, na maior parte dos modelos, sendo que na escala real do CHC-UFPR houve somente duas violações. Neste caso, é preferível que esse valor seja o menor possível, porém a diferença entre a maior parte dos modelos e a realizada pelo CHC-UFPR não é muito significativa. Com exceção do modelo M9, que priorizou a alocação de anestesistas fora da preferência e disponibilidade ao invés de utilizar o anestesista fictício.

O número de COPAS utilizados foi menor em todos os modelos, com destaque para M3 e M9. A utilização de anestesistas da FUNPAR foi bem similar entre os modelos e o realizado, sendo que os modelos M2, M3 e M5 apresentaram valores consideravelmente menores e M1, M4, M6 e M8 apresentam valores consideravelmente maiores. Em ambos os casos, variando entre 13 a menos e 10 a mais em relação ao realizado.

Como os anestesistas RJU e EBSEH não geram custos adicionais de alocação, é desejável maximizar a quantidade de turnos atendidos por anestesistas dessas categorias. Em todos os modelos, o número de RJU utilizados foi consideravelmente maior do que o realizado no hospital. Em relação aos anestesistas da EBSEH, somente dois modelos apresentaram valor inferior ao realizado. Porém, ambos os modelos diferem pouco em relação ao realizado. Os modelo M3 e M5 alocaram 150 e 15 anestesistas dessa categoria, respectivamente, enquanto o realizado foi 160.

Como o anestesista coringa representa um anestesista fictício e sua alocação indica que não é possível atender um evento, deseja-se reduzir ao máximo a quantidade de eventos que são atendidos por ele. A maioria dos modelos apresentou redução desse valor em relação ao realizado. Somente os modelos M3 e M5 utilizou um número maior de coringa. O modelo M3 visa reduzir o número de COPAS utilizado, aumentando o número de alocações de anestesista fictício. O modelo M5 visa reduzir o número de turnos atendidos por médicos fora da disponibilidade prévia, ocasionando um aumento expressivo no número de coringa utilizado na solução.

No modelo, consideramos que é possível alocar anestesistas fora da disponibilidade informada previamente por eles. Porém, deve ser visto como uma alocação extraordinária e o seu uso deve ser evitado na medida do possível. Os modelos M4 e M9 foram os únicos que apresentaram um valor maior do que o realizado. O modelo M9 tem peso muito alto para alocação de anestesista fictício, por isso tem um aumento grande no número de turnos atendidos fora da disponibilidade. Já o modelo M4 prioriza reduzir o número de anestesista fictício alocado do que número de alocações fora da disponibilidade.

Essa alocação fora da disponibilidade está sujeita ao aceite do médico. Considerando que, no pior caso, nenhum anestesista aceite trabalhar fora da disponibilidade, o número informado na última coluna informa a quantidade de eventos que não podem ser atendidos.

7. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentado um modelo matemático para auxiliar os gestores de um hospital na definição de escala médica. Foram apresentados diversos pesos que podem ser utilizados na função objetivo do modelo, dependendo das prioridades dos gestores.

Atualmente, no HC a elaboração da escala de um dia de trabalho dos anestesistas leva aproximadamente duas horas para ser definida. É uma tarefa difícil, normalmente é realizada por um anestesista do hospital. Com o uso dos modelos e do *solver*, a escala de sete dias pode ser obtida em menos de 15 minutos e a escala mensal de junho varia de 130 segundos à aproximadamente uma hora para ser definida, sendo que os tempos de resolução dependem de quais pesos são utilizados na função objetivo. A utilização do modelo possibilita que o responsável por definir a escala possa atender procedimentos durante esse período, ao invés de realizar essa tarefa administrativa. Além disso, a definição da escala mensal permite que os médicos saibam com bastante antecedência em quais turnos irão trabalhar.

O modelo foi resolvido com diversos pesos, considerando variações de objetivos prioritários, e apresentados aos gestores do hospital. O modelo se mostrou bastante aderente ao realizado atualmente no hospital, captando corretamente as características operacionais existentes, e poder ser utilizado pelos gestores para auxiliar na definição da escala.

Como trabalho futuro, sugerimos considerar períodos de descanso variável, dado que os anestesistas da categoria EBSERH tem a possibilidade de trabalhar sob o regime 12x36, 6x18 e 24x72, porém neste trabalho consideramos somente o primeiro, pois o número de períodos trabalhados antes de um intervalo de descanso e a duração do intervalo de descanso é fixo.

Sugerimos a elaboração de uma escala de longo prazo, considerando também a escala rotativa de médicos residentes. Com um horizonte de planejamento maior, há também a possibilidade de definir a escala de férias dos médicos, problema este bem difícil de ser tratado pelos gestores do hospital, pois um grande número de médicos deseja agendar suas férias para o mesmo período do ano, normalmente no mês de

janeiro ou julho. Isso faz com que o número de anestesistas disponíveis caia consideravelmente durante esses períodos. Uma alocação de férias mais equilibrada, evitando que haja uma grande redução do número de anestesistas disponíveis em um mesmo período, é de importante para o bom funcionamento do hospital.

Ao considerar essas alterações e, conseqüentemente, aumentar o tamanho do problema, é possível que o solver utilizado não seja capaz de encontrar a solução em um tempo de resolução viável. Com isso, a utilização de metodologias específicas para a resolução do problema podem ser necessárias, como heurísticas ou abordagens híbridas. Na literatura, há também diversos modelos de alocação de médicos em que métodos de decomposição são utilizados, como geração de colunas.

REFERÊNCIAS

- Badri, M.; Hollingsworth, J. **A simulation model for scheduling in the emergency room**. International Journal of Operation and Production Management, vol. 13, n. 3, p. 13- 24, 1993.
- Bard, J. F.; Purnomo, H. W. **Preference Scheduling for Nurses Using Column Generation**. European Journal of Operational Research, vol. 164, p. 510-530, 2004.
- Bartak, R. **On Modeling Planning and Scheduling Problems with Time and Resources**. Proceedings of the twentieth workshop of the UK planning and scheduling special interest group. Edinburg, Old College, University of Edinburg, 2002.
- Bowers, M. R.; Noon, C. E.; Wu, W.; Bass, J. K. **Neonatal Physician Scheduling at the University of Tennessee Medical Center**. Interfaces, vol. 46, n. 2, p. 168-182, 2016.
- Brunner, J. O.; Edenharter, G. M. **Long Term Staff Scheduling of Physicians with Diferent Experience Levels in Hospitals Using Column Generation**. Health Care Management Science, vol. 14, p. 189-202, 2011.
- Bucco, G. B. **Construção de um Modelo de Programação Linear para o University Timetabling Problem**. Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Administração, pelo Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Burke, E.; De Werra, D.; Kingston, J. **Applications to Timetabling**. In: Gross, J. L.; Yellen, J. Graph Theory. [S.1.]: CRC Press, Cap 5, 2003.
- Dantzig, G. B. **A Comment on Edie's "Traffic Delays at toll Booths"**. Journal of the Operations Research Society of America, vol. 2, n. 3, p. 339-341, 1954.
- Dexter, F.; Wachtel, R. E.; Epstein, R. H.; Ledouter, J.; Todd, M. M.; **Analysis of Operating Room Allocation to Optimize Scheduling of Specialty Rotations for Anesthesia Trainees**. Anesthesia & Analgesia, vol. 111, n. 2, p. 520-524, 2011.
- Dorneles, A. P.; Araujo, O. C. B.; Buriol, L. C. **A fix-and-optimize heuristic for the high school timetabling problem**. Computers & Operations Research, vol. 52, p. 29-38, 2014.
- EMPRESA BRASILEIRA DE SERVIÇOS HOSPITALARES (EBSERH). **CHC em Números**. Curitiba, 2017. Disponível em <<http://www.ebserh.gov.br/web/chc-ufpr/hcnumeros>>. Acesso em: 26 jan. 2018.
- Erhard, M.; Schoenfelder, J.; Fugener, A.; Brunner, J. O. **State of the art in physician scheduling**. European Journal of Operational Research, vol. 0, p. 1-18, 2017.

- Fugener, A.; Brunner, J. O.; Podtschaske, A. **Duty and workstation rostering considering preferences and fairness: a case study at a department of anaesthesiology**. *International Journal of Production Research*, vol. 53, p. 7465-7487, 2015.
- Gomede, E.; Barros, R. M.; **Utilizando o Método Analytic Hierarchy Process (AHP) para Priorização de Serviços de TI: Um Estudo de Caso**. VIII Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação (SBSI 2012), 2012.
- Gunawan, A.; Law, H. C. **Master Physician Scheduling Problem**. *Journal of the Operational Research Society*, vol. 64, p. 410-425, 2012.
- Pécora Jr. J. E. **Esquematização de Médicos em Salas de Emergências: Uma Abordagem Híbrida**. Dissertação Apresentada ao Instituto de Matemática Estatística e Computação Científica da Universidade Estadual de Campinas, 2002.
- Riise, A.; Mannino, C.; Burke, E. K. **Modelling and solving generalized operational surgery scheduling problems**. *Computers & Operations Research*, vol. 66, p. 1-11, 2015.
- Rosenberg, S. **Programming medical rosters in Prolog**. *Informatics for Health and Social Care*, 13 (3), 187–198, 1988.
- Roy, R.; **A Primer on the Taguchi Method**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990.
- Roy, R. K. **Design of Experiments Using the Taguchi Approach: 16 Steps to Product and Process Improvement**. New York: John Wiley & Sons, 2001.
- Saaty, T.L. **The Analytic Hierarchy Process**. New York: McGraw Hill, 1980
- Saaty, T. L.; Vargas, L. G. **Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process**. Springer Science more Business Media New York, 2001.
- Saaty, T. L. **Rank for Comparisons and form Ratings in the Analytic Hierarchy/Network Processes**. *European Journal of Operational Research*, vol. 168, p. 557- 570, 2004.
- Saaty, T. L. **Theory and Applications of the Analytic Network Process: Decision Making with Benefits, Opportunities, Costs nad Risks**. Pittsburgh: RWS Publications, 2005.
- Sbeity, I.; Dbouk, M.; Kobeissi, H. **Combining the Analytic Hierarchy Process and the Genetic Algorithm to Solve the Timetabling Problem**. *International Journal of Software Engineering & Applications*, vol. 5, n. 4, p. 39- 50, 2014.

Smalley, H. K.; Keskinocak, P.; Vats, A. **Physician Scheduling for Continuity: An Application in Pediatric Intensive Care**. *Interfaces*, vol. 45, n. 2, p. 133-148, 2015.

Taguchi, G.; Konishi, S. **Taguchi Methods, Orthogonal Arrays and Linear Graphs: Tools for quality engineering**. American Supplier Institute, INC. Library of Congress Number: 87-1374. 1987.

Vassilacopoulos, G. **Allocating doctors to shifts in an accident and emergency department**. *Journal of the Operational Research Society*, 36 (6), 517–523, 1985.

Villarreal, M. C.; Keskinocak, P. **Staff Planning for Operating Rooms with Different Surgical Services Lines**. *Health Care Management Science*, vol. 19, p. 144-169, 2014.

Volland, J.; Fugener, A.; Brunner, J. O. **A Column Generation Approach for the Integrated Shift and Task Scheduling Problem of Logistics Assistants in Hospital**. *European Journal of Operational Research*, vol. 260, p. 316- 334, 2017.