



**Simpósio de Métodos
Numéricos em Engenharia**

25 a 27 de outubro, 2017

Modelo Matemático para a Escala de Trabalho de Anestesiologistas do Hospital Universitário da UFPR

Adriana Alves Fressato

Mestranda do Programa de Pós-graduação em Métodos
Numéricos em Engenharia
UFPR
Curitiba, Brasil

José Eduardo Pécora Junior

Professor Doutor do Departamento de Administração Geral
e Aplicada
UFPR
Curitiba, Brasil

Gustavo Valentin Loch

Professor Doutor do Departamento de Administração Geral
e Aplicada
UFPR
Curitiba, Brasil

Alisson Segatto de Souza

Mestrando do Programa de Pós-graduação em Métodos
Numéricos em Engenharia
UFPR
Curitiba, Brasil

Resumo—O Hospital das Clínicas da Universidade Federal do Paraná é um dos principais centros médicos do estado, recebendo mais de um milhão de pacientes anualmente. Dentre os vários profissionais que atuam no hospital, os anestesiologistas representam um papel importante para a área cirúrgica e uma boa alocação deste pessoal é imprescindível para o bom funcionamento de todo o hospital. Atualmente, um dos objetivos é a melhor alocação dos anestesiologistas para melhorar o atendimento e aumentar o número de procedimentos realizados. Neste trabalho foi proposto um modelo matemático para a alocação dos anestesiologistas, considerando as preferências de trabalho de cada médico e buscando uma repetição semanal dos procedimentos cirúrgicos para garantir uma melhor organização da equipe de trabalho. O modelo foi resolvido com a utilização de um *solver* de programação linear inteira para o horizonte de um mês, obtendo resultados que podem ser usados como base para a alocação de anestesiologistas do hospital.

Palavras-chave: *anestesiologistas; timetabling; programação linear;*

I. INTRODUÇÃO

O Hospital das Clínicas da Universidade Federal do Paraná (HC) é o maior prestador de serviços do Sistema Único de Saúde (SUS) do Estado do Paraná. Foi criado para suprir a necessidade da UFPR de possuir um hospital para o treinamento dos alunos de medicina e do Estado para ter um hospital que atendesse a população, iniciando suas operações em 1961.

Na área cirúrgica do hospital, os anestesiologistas são médicos indispensáveis para os procedimentos médicos, pois permanecem ao lado do paciente, durante e após a cirurgia, monitorando a pressão arterial, ritmo cardíaco e outras funções vitais.

Atualmente no HC, o planejamento do centro cirúrgico é realizado em função da disponibilidade e alocação dos anestesiologistas. Este agendamento é realizado manualmente, com 48h de antecedência e considerando apenas o conhecimento pessoal empírico do responsável pela escala de trabalho. Este procedimento faz com que o HC fique totalmente dependente deste responsável e também torna difícil o controle da carga horária dos anestesiologistas, uma vez que não é considerado um planejamento prévio da escala da semana.

Neste trabalho propomos um modelo matemático de Programação Linear Inteira (PLI) para a elaboração da grade horária mensal dos anestesiologistas no HC, considerando as 14 salas do centro cirúrgico e os diversos procedimentos de exames. Além disso, foram contemplados os quatro vínculos empregatícios aos quais os anestesiologistas estão submetidos, cada um com suas próprias peculiaridades de custo, cargas de trabalho e preferências.

O modelo foi desenvolvido com base em adaptações de outros trabalhos de *timetabling* disponíveis na literatura e para

as suas resoluções foi utilizada a versão 7.0.2 do *solver* Gurobi, disponível na versão acadêmica.

Este trabalho é este organizado da seguinte maneira. No capítulo II temos uma breve revisão de literatura, no capítulo III definimos o problema estudado e apresentamos o modelo proposto. No capítulo IV apresentamos os parâmetros utilizados e os resultados obtidos, e finalmente no capítulo V apresentamos uma reflexão sobre os resultados apresentados.

II. REVISÃO DE LITERATURA

O problema de alocação de pessoal é um problema comum na área pesquisa operacional. No setor de saúde é usada para fazer a designação de enfermeiras, médicos, pacientes e materiais cirúrgicos. Diferente de outras instituições em que a escala é feita em períodos diários, hospitais devem funcionar 24 horas por dia, durante 7 dias por semana e horários de disponibilidades muito particulares para seus funcionários [1].

Em [1] é realizada a alocação de médicos em salas de emergência para o hospital Judeu de Montreal, no Canadá. É apresentado um modelo e um método de resolução híbrido combinando as meta-heurísticas Algoritmo Genético e Busca Tabu. O modelo apresentado 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. O método híbrido foi capaz de garantir que todas as restrições contratuais dos médicos fossem respeitadas, mostrando que é uma ótima ferramenta para o problema. Os resultados foram ainda superiores ao usar um controlador Fuzzy que fez com que o algoritmo se adequasse ainda melhor ao problema.

Em [2] é realizado o estudo de alocação de enfermeiros para um grande hospital dos EUA. 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 6 semanas.

Em [3] é considerado 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 estão 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.

Em [4] é proposto um modelo para o agendamento de médicos anestesistas em 2 níveis, os residentes considerados com baixa experiência e os médicos especialistas com alto nível de experiência. Para validar o modelo, foram utilizados dados do departamento de anesthesiologia de um hospital com 1100 camas e resolvido usando uma heurística baseada em geração de colunas. Como resultado o modelo se mostrou uma ótima ferramenta de apoio a decisão para o gerenciamento de instituições hospitalares.

A referência [5] apresenta três modelos para *Master Physician Scheduling Problem*. O primeiro e segundo modelo

buscam 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 6 instâncias aleatórias. 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 em [6], é 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 é aplicado um método composto de duas fases: na primeira é decidido 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 é 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 a 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.

Em [7] o objetivo é 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 apresenta 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 modelo de programação inteira mista busca maximizar a pontuação de continuidade ao mesmo tempo que minimiza 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 propõem considerar o desgaste e fadiga dos profissionais, que pode ser os principais responsáveis por erros médicos.

Em [8] é proposto um modelo genérico para resolver três situações de agendamento de cirurgias: agendamento diário, agendamento semanal e planejamento para admissão. Além disso, foi apresentado um método de pesquisa para resolver o modelo, usando aprendizado on-line para balancear cargas computacionais entre uma construção e um método de melhoria, buscando encontrar soluções de alto nível. O modelo foi testado para instâncias de um hospital de médio porte da Noruega. Como resposta foram feitas relaxações na modelagem para avaliar a instância, obtendo boas soluções sem necessidade de modificação off-line ou sintonização de parâmetros.

Em [9] dois modelos são propostos: um que lista os procedimentos a serem realizados pelos médicos durante um

período de 24 horas e possíveis atrasos, enquanto o segundo designa 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, 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.

Em [10] é proposto um modelo para os médicos do Centro Médico Universitário de Tennessee, que busca maximizar as preferências de cada médico sem desprezar a carga de trabalho. Como resultado foi obtido de 6,3 a 8,5% de acréscimo na satisfação dos médicos.

III. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA E MODELO

O setor de anestesiologia do HC é composto de 57 anestesistas 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 à Área de Saúde (COPAS). Cada um dos contratos está sujeito a suas próprias custos e restrições. Os anestesistas das categorias RJU, Funpar e Ebserh são previamente contratados pelo hospital, de forma que não geram custos adicionais de alocação. Já os anestesistas da categoria COPAS são contratados para suprir o déficit de anestesistas e geram um custo adicional por cada período em que trabalham, sendo necessário reduzir o máximo possível o uso destes profissionais.

O grande problema para a alocação dos anestesistas é o déficit de profissionais, que mesmo com a utilização dos médicos da categoria COPAS, nem sempre são capazes de atender a demanda de pacientes, fazendo com que o modelo matemático seja infactível. Portanto foi necessário criar um anestesista fictício denominado 'coringa', para atender as cirurgias que não poderiam ser atendidas por anestesistas reais. Este anestesista não está sob influência da maioria das restrições, podendo ser alocado por vários períodos consecutivos e em várias cirurgias ao mesmo tempo. Porém, o seu custo de alocação é muito alto, pois significa que o procedimento não poderá acontecer, causando o cancelamento da cirurgia.

O hospital está em funcionamento 24 horas por dia durante todos os dias da semana. Porém, as cirurgias são marcadas apenas para os dias úteis das 7 às 19 horas. Os outros horários são considerados plantões e tem período mínimo de 12 horas e máximo de 24 horas. A TABELA I apresenta os turnos de trabalhos considerados.

TABELA I. TABELA DE TURNOS

Turno	Início	Fim	Aplicação
M	7h	13h	Dias de Semana
T	13h	19h	Dias de Semana
MT	7h	19h	Todos os Dias
N	19h	7h	Todos os Dias

Ao total são 27 procedimentos que podem ser realizados por um anestesista, variando desde entrevistas com os pacientes no

ambulatório até cirurgias complexas. Por este motivo, 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 otimização por impactar na qualidade do serviço e satisfação dos profissionais.

Além disso, os anestesistas preferem atuar nas mesmas salas e procedimentos durante todo o mês, pois assim podem interagir melhor com a equipe de cirurgia e até mesmo com os próprios pacientes. Portanto, é desejável que o anestesista trabalhe na maior parte das semanas em um procedimento que ocorre em algum período específico. Por exemplo, se o anestesista atende uma cirurgia de oftalmologia na segunda-feira de manhã em alguma semana, é desejável que ele atenda procedimentos dessa mesma especialidade em todas as segundas-feiras do horizonte de planejamento.

O atendimento dos procedimentos está sujeito à disponibilidade dos anestesistas. Cada anestesista tem a disponibilidade fixa entre segunda e sexta-feira. As disponibilidades de plantões de fim de semana também devem ser consideradas, sendo que estas variam em relação a semana do mês. Por exemplo, um anestesista pode estar disponível para o plantão noturno de sábado somente na terceira semana de cada mês. Como a grande maioria dos anestesistas trabalham em outros hospitais, seus horários de disponibilidades necessitam ser respeitadas. Porém, é possível alocar um anestesista fora de seu horário de disponibilidade previamente definido quando há necessidade do hospital. Essa alocação está sujeita ao aceite do anestesista.

TABELA II. NOTAÇÃO USADA

Símbolo	Definição
Conjunto	
A^T	Conjunto de anestesistas sob regime trabalhista de 12x36 horas
A^I	Conjunto de anestesistas das categorias RJU, Funpar e Ebserh
A^C	Conjunto de anestesistas da categoria COPAS
A^J	Conjunto de 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
S^N	Conjunto dos eventos que ocorrem a noite

S^{MT}	Conjunto dos eventos que ocorrem pela manhã e tarde consecutivamente
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
Esp	Conjunto de especialidades

Parâmetros

c	Custo por período da alocação de cada anestesista Coringa
γ	Custo por período da alocação de cada anestesista da Categoria COPAS
ϑ	Quantidade de semanas do horizonte de planejamento
θ	Custo por número de períodos em que o anestesista deixa de repetir uma escala de eventos semanais
ω	Custo por hora excedida em relação a carga horária semanal contratada
ρ	Custo por hora não cumprida em relação a carga horária semanal contratada
μ	Custo por período por alocar anestesistas em horários não disponíveis previamente
δ_{as}	Custo de preferência do anestesista a pela especialidade s
H_a	Carga horária semanal contratada para o anestesista a
Can_s	Quantidade de procedimentos da especialidade s que ocorrem durante a semana

Variáveis

x_{aewp}	Variável binária que indica se o anestesista a atende o evento e na semana w durante o período p
HR_{aw}	Variável inteira que indica o número de horas trabalhadas pelo anestesista a na semana w
β_{aw}	Variável inteira que indica quantas horas sobraram da carga horária a ser atendida pelo anestesista a na semana w
α_{aw}	Variável inteira que indica quantas horas faltaram para que a carga horária do anestesista a na semana w seja completamente atendida
DV_{awp}	Variável binária que indica se o anestesista a está disponível na semana w durante o período p
$Cmax$	Variável inteira que registra o número de coringas usado pela especialidade que mais usou coringa

$Cmin$	Variável inteira que registra o número de coringas usado pela especialidade que menos usou coringas
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
b_{awd}	Variável inteira que indica se o anestesista a trabalha 0, 6 ou 12 horas durante o dia d 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

A carga horária dos anestesistas é contratada com 20 ou 40 horas semanais, o que é incompatível as 6 horas de cada turno de trabalho, fazendo com que os anestesistas sempre terminem a semana ou com horas a menos, ou com horas a mais do que a contratada. Portanto o modelo deve considerar esta característica e buscar equilibrar a diferença entre a carga horária contratada e a carga horária realizada semanalmente por cada anestesista, evitando que ocorra grandes excessos ou déficits de horas trabalhadas.

O problema 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. 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 6 horas de trabalho.

Consideramos 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.

O objetivo é 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, desejamos 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.

O modelo usado neste trabalho é descrito a seguir.

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

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

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

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

$$O_4 = \sum_{a \in A} \sum_{w \in W} \omega \beta_{aw} \quad (5)$$

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

$$O_6 = \sum_{a \in A} \sum_{w \in W} \sum_{p \in P} \mu DV_{awp} \quad (7)$$

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

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

Sujeito à

$$x_{aewp} \leq DV_{awp} \quad \forall a, e, w, p \quad (10)$$

$$x_{aewp} - x_{aewp+1} = 0 \quad \forall a, w, p \in P^N, e \in S^N \quad (11)$$

$$\sum_{a \in A} x_{aewp} \leq 1 \quad \forall e, w, p \quad (12)$$

$$\sum_{e \in E} x_{aewp} \leq 1 \quad \forall a \in A^R, w, p \quad (13)$$

$$\sum_{a \in A} x_{aewp} = 1 \quad \forall w, p, e \quad (14)$$

$$x_{aewp} - x_{aewp+1} = 0 \quad \forall w, p \in P^D, e \in (S^{MT} \cap E^P) \quad (15)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{e \in E} 6x_{aewp} = Hr_{aw} \quad \forall w, a \in A^R \quad (16)$$

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

$$Hr_{aw} \geq H_a - \alpha_{aw} \quad \forall a \in A^R, w \quad (18)$$

$$\beta_{aw} \leq 30 \quad \forall a \in A^R, w \quad (19)$$

$$\beta_{aw} \leq 30 \quad \forall a \in A^R, w \quad (20)$$

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

$$\sum_{e \in E} x_{aewp} \leq Y_{awd} \quad \forall a, w, d, p \in P^Z \quad (22)$$

$$\sum_{e \in E} x_{aewp} \geq Yn_{awd} \quad \forall a, w, d, p \in P^4 \quad (23)$$

$$\sum_{e \in E} x_{aewp} \leq Yn_{awd} \quad \forall a, w, d \quad (24)$$

$$\sum_{p \in P^Z} \sum_{e \in E} x_{aewp} - x_{aewp-1} = b_{awd} \quad \forall a \in A^R, w, d \quad (25)$$

$$b_{awd} = 0 \quad \forall a \in A^T, w, d \quad (26)$$

$$Y_{awd} + Y_{awd+1} \leq 1 \quad \forall a \in A^T, w, d \quad (27)$$

$$Yn_{awd} + Yn_{awd+1} \leq 1 \quad \forall a \in A^T, w, d \quad (28)$$

$$Y_{awd} + Yn_{awd+1} \leq 1 \quad \forall a \in A^T, w, d \quad (29)$$

$$Yn_{awd} + Y_{awd+1} \leq 1 \quad \forall a \in A^T, w, d \quad (30)$$

$$\sum_{a \in A^C} Y_{awd} \leq 6 \quad \forall w, d \quad (31)$$

$$\sum_{e \in E^S} \sum_{w \in W} \sum_{p \in P} x_{aewp} \geq C_{min} \quad \forall s, a \in A^J \quad (32)$$

$$\sum_{e \in E^S} \sum_{w \in W} \sum_{p \in P} x_{aewp} \leq C_{max} \quad \forall s, a \in A^J \quad (33)$$

$$\sum_{e \in E^{S3}} \sum_{p \in P} x_{aewp} \leq 1 \quad \forall w, s, a \in A^J \quad (34)$$

$$\sum_{e \in E^{S3}} \sum_{p \in P} x_{aewp} \leq \left\lfloor \frac{Can_s}{2} \right\rfloor \quad \forall w, s, a \in A^J \quad (35)$$

$$x_{aewp} \leq g_{aep} \quad \forall a \in A^R, w, p, e \quad (36)$$

$$k_{aep} = \vartheta g_{aep} - \sum_{w \in W} x_{aewp} \quad \forall a \in A^R, p, e \quad (37)$$

A função objetivo (1) é dividida em 8 partes. A expressão (2) se refere ao custo dada as preferências dos anestesiistas internos, referente a categoria RJU, Funpar e Ebserh; a expressão (3) se refere ao custo de alocação e das preferências dos anestesiistas externos, referente a categoria COPAS; a expressão (4) se refere ao custo de alocação de anestesiista coringa, equivalente ao custo de cancelar um procedimento. As expressões (5) e (6) referem-se às penalidades de falta e excesso de carga horária semanal, respectivamente, em relação a carga horária prevista em contrato. A expressão (7) se refere a disponibilidade dos anestesiistas, que precisa ser variável pois mesmo que um anestesiista não esteja disponível em determinado período, a falta de anestesiistas obriga que alguns sejam escalados em dias fora da sua escala original, e isto gera um custo. Expressão (8) busca equilibrar o cancelamento dos procedimentos de forma justa, para que nenhuma especialidade seja mais prejudicada do que outra. A expressão (9) visa minimizar os períodos em que os anestesiistas não repetem a escala. A função objetivo é penalizada caso o anestesiista, 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 período p. Não há penalização caso o anestesiista seja escalado em mais de 70% das semanas do mesmo evento e período.

O conjunto de restrições (10) garante que anestesiistas sejam alocados em períodos disponíveis. Se o anestesiista a está disponível na semana w durante o período p, $DV_{awp} = 1$. Consideramos que o anestesiista pode trabalhar fora dos horários previamente disponíveis, penalizando o uso na função objetivo. As restrições (11) garante continuidade noturna, para que os dois períodos noturno sejam atendidos pelo mesmo anestesiista. O conjunto de restrições (12) garante que cada evento será atendido somente por um anestesiista. O conjunto de restrições (13) garante que o anestesiista atenda no máximo um único evento por período. Esta restrição não é considerada para o anestesiista coringa, pois este pode estar presente em diversos eventos ao mesmo tempo. As restrições (14) garantem que todos os eventos sejam atendidos. As restrições (15) garantem que eventos que ocorram de manhã e tarde devem ser obrigatoriamente atendidos pelo mesmo anestesiista nos dois períodos.

O conjunto de restrições (16) define o número de horas trabalhadas na semana w por cada anestesiista a. Os conjuntos de restrições (17) e (20) limita o banco de horas semanal. As restrições (17) e (18) determina que cada anestesiista excede β_{aw} horas da carga horária semanal contratada ou deixa de

cumprir α_{aw} horas durante a semana. As restrições (19) e (20) 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 (21) e (22) definem se o anestesista a trabalha nos períodos diurnos do dia d , ou seja, manhã e tarde, na semana w . Os conjuntos de restrições (23) e (24) definem se o anestesista a trabalha nos períodos noturnos do dia d .

Os conjuntos de restrições de (25) à (30) são aplicadas aos anestesistas da categoria Ebserh. Os anestesistas da categoria Ebserh precisam trabalhar por 12 horas seguidas, tendo direito de 36 horas de descanso após isto. As restrições (25) definem a variável auxiliar b_{awd} . Se o anestesista a trabalha no período diurno (manhã e tarde consecutivamente) ou não trabalha no dia d , a variável auxiliar será igual à 0. Caso o anestesista seja escalado somente para o período da manhã, $b_{awd} = -1$. E caso o anestesista seja escalado somente no período da tarde do dia d , temos que $b_{awd} = 1$. As restrições (26) garantem que o anestesista a cumpra as 12 horas de trabalho previstas. Os conjuntos de restrições (27)-(30) garantem o período mínimo de 36 horas de descanso após os turnos realizados por cada anestesista.

As restrições (31) limitam o uso de anestesistas COPAS a no máximo 6 por dia, conforme o contrato do HC com a cooperativa de anestesistas.

Os conjuntos de restrições de (32) à (35) são referentes ao anestesista coringa, usado para garantir a factibilidade do modelo. Os conjuntos de restrições (32) e (33) controlam o número de coringas usados em cada procedimento. Os conjuntos de restrições (34) e (35) buscam distribuir os coringas 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. Por exemplo, oftalmologia tem 10 procedimentos toda semana e tireoide tem apenas 2. 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. Dessa forma, as restrições (34) 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 (35), 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 (36) e (37) são usadas para o controle mensal da escala dos anestesistas e estão relacionadas a (9). O conjunto de restrições (36) 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 (37) 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.

IV. RESULTADOS COMPUTACIONAIS

Para a resolução do modelo proposto foi usado o *solver* GUROBI 7.0.2 em sua versão acadêmica, com os algoritmos implementados em VB.net. Adotamos o tempo limite de 20.000 segundos. Os testes foram feitos em 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. Os valores usados para os parâmetros foram definidos com base em experimentos computacionais e são $c = 50$, $\gamma = 10$, $\vartheta = 4$, $\theta = 10$, $\omega = 2$ e $\rho = 1$. O parâmetro μ , referente às disponibilidades dos anestesistas, é igual à 0 se o anestesista está previamente disponível para trabalhar no período (p, w) e é igual à 30, caso contrário. O parâmetro δ_{as} , referente às preferências dos anestesistas, é igual à 0 se o anestesista a tem preferência pela especialidade s , 50 se prefere não trabalhar em procedimentos da especialidade s e 2 caso ele seja neutro. As variáveis β_{aw} e α_{aw} foram limitadas a no máximo 30 horas excedidas ou deixadas de serem cumpridas. Os testes foram realizados considerando um período de quatro semanas, sendo que o *solver* não foi capaz de encontrar a solução ótima dentro do tempo limite. A solução utilizada para os resultados desse trabalho foi encontrada em 5592 segundos com gap de 0,77%.

TABELA III. RESULTADOS

	Q	D	Preferência			β_{aw}	α_{aw}
			A	B	C		
RJU	334	90	12	229	23	108	184
Funpar	48	2	12	8	28	306	0
Ebserh	226	63	0	218	8	36	12
COPAS	135	0	0	123	16	834	0
Coringa	-	-	-	-	-	-	-
Total	743	155	24	644	75	1284	196

Na TABELA III podemos observar os resultados computacionais do modelo proposto. Na coluna Q vemos o número de períodos trabalhados pelos anestesistas de cada categoria. Podemos observar que os anestesistas RJU possuem o maior número de períodos trabalhados, o que coincide com o fato de possuírem a maior carga horária, que na maioria é de 40 horas semanais. A segunda maior carga horária são dos anestesistas Ebserh com 24 horas semanais.

A Coluna D representa o número de períodos em que um anestesista trabalhou fora de seus períodos de disponibilidade. Isto acontece com frequência no HC, pois devido à falta de profissionais é necessário que alguns médicos atuem em turnos diferentes para tentar suprir a demanda de pacientes. Os anestesistas RJU e Ebserh também são os que mais trabalham fora de seu período de disponibilidade, isto acontece pois muitos dos anestesistas não apresentam disponibilidade suficiente para cumprir o número de horas exigidas por contrato, principalmente por parte dos anestesistas RJU. O modelo busca fazê-los cumprir sua carga horária, alocando-os em períodos de indisponibilidade. Já os anestesistas Funpar e

COPAS não possuem carga horária a cumprir, portanto quase não trabalham fora de sua disponibilidade.

As colunas de Preferências estão organizadas de forma que A representa o número de vezes em que o anestesista atuou em um procedimento ao qual tem maior preferência, a coluna C representa o número de vezes em que o anestesista atuou em um procedimento do qual não gostaria de atuar, e a coluna B representa as vezes em que um anestesista é indiferente ao procedimento em que atuou. Apenas 24 preferências foram atendidas enquanto 75 precisaram trabalhar em procedimentos que não os agradavam.

Os que possuem maior carga em excesso são os anestesistas das categorias Funpar e COPAS, isso ocorre pois eles não possuem carga horária a cumprir, assim todos os períodos em que trabalham são períodos de excesso.

Não foi necessário o uso do anestesista coringa, de forma que todos os procedimentos foram cumpridos.

Para calcular a repetição dos procedimentos semanais foram usados uma penalização de 30%, ou seja, a escala deve ser repetida ao menos 70% do período de planejamento para que não seja penalizado em (9). Como neste trabalho consideramos quatro semanas como horizonte de planejamento, a escala deve ser repetida por pelo menos três semanas. Neste trabalho, há 282 procedimentos à serem atendidos semanalmente. As escalas deixaram de ser repetidas em apenas 108 vezes entre os 1128 procedimentos existentes no horizonte de planejamento, sendo um excelente resultado. Dentre esses, somente 89 foram penalizados na função objetivo, por representarem mais de 30% das semanas sem repetição. Na prática, por mais que essa repetição semanal seja desejável, ela não acontece. Por ser feita a mão, não é realizada nenhuma consulta ao histórico de agendamentos passados, e como é feito com apenas 48 horas de antecedência, também é feita sem considerar o cronograma futuro.

Para validar o modelo, comparamos com a escala realizada no HC durante o mês de Junho de 2017.

TABELA IV. COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS OBTIDOS E OS OBSERVADOS NO HC

	HC Junho			Computacional		
RJU	137			334		
Funpar	40			48		
Ebserh	160			226		
COPAS	172			135		
Coringa	234			0		
Disponibilidade	63			155		
Preferências	20	487	2	24	644	75

Podemos ver pela TABELA IV que os resultados computacionais foram superiores em todos os sentidos. Os anestesistas das categorias RJU, Funpar e Ebserh representam um custo fixo ao hospital, então explorar sua mão de obra da melhor forma possível. Já os anestesistas COPAS representam um custo variável, portanto reduzir o uso desta categoria gera benefícios ao hospital.

Com relação aos procedimentos realizados fora da disponibilidade dos anestesistas, o resultado computacional resultou em um maior número destes eventos. Porém, o resultado computacional não utilizou o uso de nenhum anestesista coringa, sendo que o resultado observado na prática

deixou de atender procedimentos 234 vezes. Mesmo que, no pior dos casos, os 155 anestesistas alocados fora de suas disponibilidades não aceitem realizar o procedimento designado, ainda sim o número de cancelamentos será inferior ao observado.

Outro fator a ser considerado é que se um procedimento for cancelado por falta de profissionais ou equipamentos, outro pode ser iniciado para substituí-lo, desde que tenham os pré-requisitos necessários. Também ocorre de um mesmo anestesista atuar em dois procedimentos diferentes no mesmo turno, desde que os procedimentos ocorram em horários diferentes, o que não acontece em nosso modelo. Estes dois fatores fazem com que, na prática, os procedimentos agendados para cada dia se tornem diferentes dos que os usados como dados de entrada para o programa.

V. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi proposto um modelo para a alocação de médicos anestesistas com repetição de escala aplicado ao Hospital das Clínicas da Universidade Federal do Paraná. Para isto foram considerados os quatro vínculos empregatícios existentes no hospital e as preferências de trabalho de cada médico. O modelo foi testado e comparado ao agendamento manual referente ao mês de Junho e foi capaz de obter resultados superiores, podendo ser usado como base para agendamentos futuros.

Como trabalhos futuros, pretendemos fazer um agendamento anual considerando férias dos anestesistas. Também indicamos a aplicação de heurísticas para a solução do problema, diminuindo o tempo de processamento e visando melhorar a qualidade da solução.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a CAPES pelo suporte financeiro, ao Hospital de Clínicas da UFPR por oferecer os dados utilizados neste trabalho e ao grupo de pesquisa GTA0 por todo apoio, suporte e amizade.

REFERÊNCIAS

- [1] J. E. Pécora Jr, "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, UNICAMP, 2002.
- [2] J. F. Bard, H. W. Purnomo, "Preference Scheduling for Nurses Using Column Generation", *European Journal of Operational Research*, vol. 164, pp. 510-534, March 2004.
- [3] F. Dexter, R. E. Wachtel, R. H. Epstein, J. Ledouter, M. M. Todd, "Analysis of Operating Room Allocation to Optimize Scheduling of Specialty Rotations for Anesthesia Trainees", *Anesthesia & Analgesia*, vol. 111, pp. 520-524, August 2010.
- [4] J. O. Brunner, G. M. Endenharter, "Long Term Staff Scheduling of Physicians with Different Experience Levels in Hospitals Using Column Generation", *Health Care Management Science*, vol. 14, pp. 189-202, April 2011.
- [5] A. Gunawan, H. C. Law, "Master Physician Scheduling Problem", *Journal of the Operational Research Society*, vol. 64, pp. 410-425, May 2012.
- [6] M. C. Villarreal, P. Keskinocak, "Staff Planning for Operating Rooms with Different Surgical Services Lines", *Health Care Management Science*, vol. 19, pp. 144-169, November 2014.
- [7] H. K. Smalley, P. Keskinocak, A. Vats, "Physician Scheduling for Continuity: An Application in Pediatric Intensive Care", *Interfaces*, vol. 45(2), pp. 133-148, March 2015.

- [8] A. Riise, C. Mannino, E. K. Burke, "Modelling and solving generalized operational surgery scheduling problems", *Computers & Operations Research*, vol. 66, pp. 1-11, July 2015.
- [9] A. Fugener, J. O. Brunner, A. Podtschaske, "Duty and workstation rostering considering preferences and fairness: a case study at a department of anaesthesiology", *International Journal of Production Research*, vol. 53, pp. 7465-7487, September 2015.
- [10] M. R. Bowers, C. E. Noon, W. Wu, J. K. Bass, "Neonatal Physician Scheduling at the University of Tennessee Medical Center", *Interfaces*, vol. 46(2), pp. 168-182, April 2016.
- [11] M. Erhard, J. Schoenfelder, A. Fugener, J. O. Brunner, "State of the art in physician scheduling", *European Journal of Operational Research*, vol. 0, pp. 1-18, June 2017.