

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA BIOMÉDICA

RAFAEL HENRIQUE DE OLIVEIRA COSTA

**PLANEJAMENTO DAS MANUTENÇÕES PREVENTIVAS EM UNIDADES
HOSPITALARES**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

CURITIBA

2021

RAFAEL HENRIQUE DE OLIVEIRA COSTA

**PLANEJAMENTO DAS MANUTENÇÕES PREVENTIVAS EM UNIDADES
HOSPITALARES**

PREVENTIVE MAINTENANCE PLANNING IN HOSPITAL UNITS

Dissertação de mestrado apresentada como requisito parcial para obtenção do título de “Mestre em Ciências” em Engenharia Biomédica do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Sergio Leandro Stebel.

CURITIBA

2021



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais.

15/06/2021



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Curitiba



RAFAEL HENRIQUE DE OLIVEIRA COSTA

PLANEJAMENTO DAS MANUTENÇÕES PREVENTIVAS EM UNIDADES HOSPITALARES

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Ciências da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Engenharia Biomédica.

Data de aprovação: 27 de Abril de 2021.

Prof Sergio Leandro Stebel, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Joao Antonio Palma Setti, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Marcio Fontana Catapan, Doutorado - Universidade Federal do Paraná (Ufpr)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 15/06/2021.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Sérgio Leandro Stebel, pela dedicação, paciência, confiança depositada em mim e sabedoria na condução desse trabalho.

Ao meu amigo Flávio Araújo Lim-Apo, pelo auxílio no desenvolvimento deste trabalho e por compartilhar sua experiência sobre as ferramentas matemáticas de otimização.

Aos professores do PPGEB e colegas do mestrado.

RESUMO

COSTA, Rafael Henrique de Oliveira. **Planejamento das manutenções preventivas em unidades hospitalares**. 2021. 45 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ciências) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Biomédica (PPGEB), Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Curitiba, 2021. Área de Concentração: Engenharia Biomédica.

A Engenharia Clínica é responsável pelas manutenções preventivas dos equipamentos médicos em unidades hospitalares. Ocorre que em grande parte dos hospitais as manutenções preventivas são programadas empiricamente de forma manual, o que acaba por não fornecer a solução ótima quanto à distribuição equânime das tarefas durante o ano, ocasionando uma demanda variável de mão de obra. O objetivo do presente trabalho é a utilização de ferramenta matemática para reorganização das manutenções preventivas (atividades fixas) de unidades hospitalares, com a consequente possibilidade de se otimizar o quadro de colaboradores dos setores de Engenharia Clínica. São utilizadas técnicas de Programação Linear Inteira (PLI), com inclusão das restrições relacionadas aos colaboradores, horários e periodicidade das preventivas, implementado no solver Lingo 18.0. Para validação do modelo são utilizadas informações obtidas de 4 unidades hospitalares atendidas pela mesma empresa terceirizada na cidade de Curitiba, Paraná, possibilitando a confrontação da solução do modelo com as informações da situação vigente. A solução ótima fornecida pela modelagem confirma que há grande margem para otimização das tarefas e pessoal da Engenharia Clínica com implantação da solução resultante melhor possível, considerando as restrições estabelecidas.

Palavras-chave: PLI, redução de custos, engenharia clínica.

ABSTRACT

COSTA, Rafael Henrique de Oliveira. **Planning of preventive maintenance in hospital units**. 2021. 45 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ciências) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Biomédica (PPGEB), Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Curitiba, 2021. Área de Concentração: Engenharia Biomédica.

Clinical Engineering is responsible for the preventive maintenance of medical equipment in hospital units. It happens that in most hospitals preventive maintenance is empirically programmed manually, which ends up not providing the optimal solution for the equitable distribution of tasks during the year, causing a variable demand for labor. The objective of the present work is the use of a mathematical tool to reorganize preventive maintenance (fixed activities) of hospital units, with the consequent possibility of optimizing the workforce in the Clinical Engineering sectors. Integer Linear Programming (ILP) techniques are used, with the inclusion of restrictions related to collaborators, preventive schedules and frequency, implemented in the Lingo 18.0 solver. To validate the model, information obtained from 4 hospital units served by the same outsourced company in the city of Curitiba, Paraná, is used, making it possible to compare the model's solution with information from the current situation. The optimal solution provided by the modeling confirms that there is great scope for optimization of the tasks and personnel of the Clinical Engineering with implantation of the best possible resulting solution, considering the established restrictions.

Keywords: ILP, cost reduction, clinical engineering.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tipos de manutenção.	17
Figura 2 - Instantâneo da tela do software Lingo após a resolução do modelo com detalhes do resultado ótimo e processamento.....	37
Figura 3 - Comparativo de instâncias através do tempo de processamento do modelo em função do número de variáveis existentes plotado em azul e linha de tendências em vermelho.	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição dos sets.....	27
Tabela 2 - Descrição dos parâmetros.	27
Tabela 3 - Descrição das variáveis de decisão.....	28
Tabela 4 - Entradas e resultados para o Hospital 1.....	33
Tabela 5 - Entradas e resultados para o Hospital 2.....	33
Tabela 6 - Entradas e resultados para o Hospital 3.....	34
Tabela 7 - Entradas e resultados para o Hospital 4.....	35
Tabela 8 - Resultado ótimo obtido quanto à alocação dos funcionários nos respectivos hospitais.....	36
Tabela 9 - Comparativo de instâncias através do tempo de processamento do modelo em função do número de unidades hospitalares e variáveis existentes.	38

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

ABECLin	Associação Brasileira de Engenharia Clínica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
CLT	Consolidação das Leis do Trabalho
EAS	Estabelecimento Assistencial de Saúde
FAB	Força Aérea Brasileira
ILP	Integer Linear Programming
NBR	Norma Brasileira
PEM	Problemas de Escalonamentos de Médicos
PIM	Programação Inteira Mista
PL	Programação Linear
PLI	Programação Linear Inteira
PLIM	Programação Linear Inteira Mista
PO	Pesquisa Operacional
PPGEB	Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 MOTIVAÇÃO DA PESQUISA	11
1.2 OBJETIVOS	12
1.2.1 Objetivo Geral.....	12
1.2.2 Objetivos Específicos.....	12
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1 ENGENHARIA CLÍNICA	13
2.1.1 Histórico da Engenharia Clínica	14
2.1.2 Engenharia Clínica no Brasil.....	15
2.2 MANUTENÇÃO	16
2.2.1 Tipos de Manutenção	17
2.2.1.1 Manutenção Corretiva	17
2.2.1.2 Manutenção Preventiva	18
2.2.1.3 Manutenção Preditiva	19
2.3 PESQUISA OPERACIONAL	19
2.3.1 Programação Linear.....	21
2.3.2 Programação Linear Inteira	22
2.3.3 Aplicações da Programação Linear	22
3 MATERIAIS E MÉTODOS	25
3.1 MATERIAIS UTILIZADOS	25
3.2 MODELO MATEMÁTICO	26
3.2.1 Função Objetivo	28
3.2.2 Restrições.....	28
3.3 PROGRAMA DE COMPUTAÇÃO LINGO	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1 DESEMPENHO	37
4.2 DISCUSSÃO	39
5 CONCLUSÕES	41
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

**APÊNDICE A - MODELO ELABORADO PARA PROCESSAMENTO NO
SOFTWARE LINGO, COM CONEXÃO COM ARQUIVO DO MICROSOFT EXCEL**

..... 47

1 INTRODUÇÃO

Dentre as funções da Engenharia Clínica, cita-se as de especificar, gerenciar e manter os equipamentos de saúde em operação nos hospitais, clínicas, laboratórios ou onde se realize a assistência à saúde (RAMÍREZ et al, 2000). Mas também há obrigações ligadas ao controle documental das atividades, ao inventário dos equipamentos, manutenções preventivas, calibrações, entre outras, na medida em que atualmente hospitais buscam certificações que exigem cuidados e controles profundos (SOUZA et al, 2012).

Nos hospitais a equipe de Engenharia Clínica exerce atividades pré-programadas, como manutenções preventivas e vistorias, bem como, atendimento das ordens de serviço que são geradas diariamente por conta de possíveis inconformidades atribuídas aos equipamentos de saúde no uso diário.

Normalmente as manutenções preventivas dos equipamentos médicos têm periodicidades diferentes entre si, existindo grupos de equipamentos que exigem manutenções preventivas mensais, trimestrais, semestrais ou apenas anuais. As periodicidades diversas das manutenções preventivas estão relacionadas aos usos dos equipamentos, à criticidade, também à confiabilidade, entre outros fatores intrínsecos.

1.1 MOTIVAÇÃO DA PESQUISA

Em grande parte dos hospitais as manutenções preventivas são programadas empiricamente de forma manual, o que acaba por não fornecer a solução ótima quanto à distribuição equânime das tarefas durante o ano. Como resultado, há meses em que há maior exigência de mão de obra para atendimento das rotinas programadas, inclusive com necessidade de plantões e jornadas extraordinárias dos trabalhadores, e por outro lado há meses com menos trabalho, fato que acaba por impactar na equipe necessária par atendimento das unidades hospitalares.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um modelo de Programação Linear Inteira para resolver o problema de gerenciamento da equipe de Engenharia Clínica em Hospitais.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar os parâmetros do problema de planejamento de manutenções preventivas em hospitais;
- Desenvolver um modelo de programação linear inteira para o problema de planejamento de atividades fixas em hospitais num horizonte anual;
- Testar e validar os resultados do modelo de PLI;
- Analisar os resultados obtidos do modelo em diferentes cenários.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 ENGENHARIA CLÍNICA

A Engenharia Clínica objetiva gerenciar as manutenções corretivas, manutenções preventivas e calibrações dos equipamentos médicos, a fim de otimizar a disponibilidade destes e garantir que estejam aptos para o uso (OLIVEIRA, 2016).

Também são funções da Engenharia Clínica a especificação dos equipamentos de saúde, bem como o gerenciamento e manter os equipamentos de saúde em operação nos hospitais, clínicas, laboratórios ou onde se realize a assistência à saúde (RAMÍRES et al, 2004). Mas também há obrigações ligadas ao controle documental das atividades, ao inventário dos equipamentos, manutenções preventivas, calibrações, a avaliação de questões relacionadas à obsolescência do equipamento, quando este não apresenta mais condições de uso, entre outras (SOUZA et al, 2012).

De acordo com a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), compreende-se por equipamento médico todos os equipamentos de uso em saúde com finalidade médica, odontológica, laboratorial ou fisioterápica. No tocante às finalidades, estão inclusos desde o diagnóstico, terapia, reabilitação e monitorização de pacientes. Também os equipamentos utilizados com fins estéticos e encontrados nos ambientes hospitalares são equipamentos médicos (ANVISA, 2017).

No contexto do Estabelecimento Assistencial de Saúde (EAS), a Engenharia Clínica tem como função dar suporte desde o planejamento bem como desenvolvimento de instalações médicas, na tecnologia e nos métodos técnicos relacionados com a assistência à saúde. Brasil (2002) indica as atividades da engenharia clínica, tais como avaliar as necessidades e buscar melhorias aos cuidados com paciente e instalações com adequações às características do hospital; deve verificar a conformidade com requisitos de efetividade e segurança; deve aplicar, desenvolver e/ou modificar tecnologias existentes, de forma a interagir da

melhor forma com os demais setores como enfermagem, os profissionais da limpeza, médicos, pacientes e a administração do estabelecimento.

A Associação Brasileira de Engenharia Clínica (ABECLin) descreve o engenheiro clínico como sendo o profissional que aplica técnicas da engenharia no gerenciamento dos equipamentos de saúde objetivando a garantia da rastreabilidade, da usabilidade, primando pela qualidade, a eficácia, a efetividade, garantindo segurança no desempenho dos equipamentos e dos pacientes (DEL SOLAR, 2017).

2.1.1 Histórico da Engenharia Clínica

Costuma-se afirmar que a engenharia clínica teve início como ciência em janeiro de 1942, na cidade de St. Louis, Estados Unidos, com a criação de um curso de manutenção de equipamentos médicos disponibilizado pelas forças armadas daquele país (GORDON, 1990).

Com a evolução e utilização de equipamentos cada vez mais tecnológicos nos hospitais nas décadas de 1960 e 1970 (lançamento de aparelhos de ultrassom, analisadores químicos do sangue e nascimento da tomografia computadorizada), percebeu-se aumento nos custos com saúde (JURGEN, 1977).

A legislação sobre segurança de equipamentos médicos era superficial, praticamente inexistente. Era comum se adquirir equipamentos que sequer eram acompanhados de manuais de instruções sobre utilização ou mesmo no tocante à manutenção. Assim, a engenharia clínica que nascia passou a ser uma ótima alternativa para a redução de custos nos hospitais (CHRISTIANSEN, 1973).

A engenharia clínica passou a ser ainda mais levada a sério com a notícia divulgada pelo cirurgião Cari W. Walter, da *Harvard Medical School*, no sentido de que morriam cerca de 3 pessoas por dia, ou 1200 por ano, em consequência de choques elétricos em equipamentos médicos nos Estados Unidos no final da década de 60 e começo da década de 70 (DALZIEL, 1972). Ainda que não haja estatística que comprove diretamente estes números, há que se reconhecer que a segurança

dos equipamentos médicos, mais especificamente a segurança elétrica, crescia em importância em todas as instâncias (FRIEDLANDER, 1971).

O destaque dado à segurança elétrica nas décadas de 1960 e 1970 pelos engenheiros clínicos, passou para o custo e eficácia nas décadas de 1980 e 1990. Neste sentido, pode-se descrever as mudanças havidas no mercado norte-americano da seguinte forma:

- Anos 60: segurança elétrica;
- Anos 70: gerenciamento de riscos;
- Anos 80: custo X efetividade;
- Anos 90: balanceamento de orçamentos (SHAFFER et al, 1989).

Desta forma, a Engenharia Clínica evoluiu de um sistema técnico (ligada à manutenção de equipamentos médicos), para outro patamar que engloba gestão de serviços, também o treinamento e educação de equipes, avaliação e gestão de riscos, conhecimento de novas tecnologias, desenvolvimento de equipamentos médicos, busca da garantia da qualidade, entre outros (TERRA et al, 2014).

2.1.2 Engenharia Clínica no Brasil

Diferentemente do que ocorreu nos Estados Unidos, onde a engenharia clínica foi fomentada pela necessidade do aumento da segurança elétrica dos equipamentos médicos, aqui no Brasil a engenharia clínica deve sua promoção ao grande número de equipamentos médicos desativados ou mesmo sem utilização por falta de manutenção, peças de reposição e treinamentos adequados (WANG et al, 1991).

De acordo com dados do Ministério do Bem-estar e da Previdência Social, no ano de 1989 se estimava que entre 20% e 40% dos equipamentos médicos no Brasil não tinham condições de uso por necessitarem de conserto, por falta de peças de reposição, falta de insumos ou suprimentos, ou problemas ligados à instalação (WANG et al, 1991). Ou seja, faltavam recursos humanos treinados para a função, não estava disponível a documentação sobre utilização e segurança elétrica de

equipamentos, bem como a burocracia para se importar peças de reposição ou equipamentos de testes era ainda maior que a enfrentada atualmente.

Com objetivo de reduzir este imenso atraso da engenharia clínica no Brasil se comparado aos países desenvolvidos, o Ministério da Saúde investiu na contratação de Técnicos de Treinamento e Manutenção de Equipamentos Biomédicos no ano de 1992 (TERRA et al, 2014).

Nos anos seguintes foram criados programas de formação de Engenheiros Clínicos em Universidades Federais e Estaduais. Apenas em 2010 a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) publicou a Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 2, a fim de estabelecer os critérios mínimos a serem seguidos nos estabelecimentos de saúde para o gerenciamento de tecnologias (TERRA et al, 2014).

2.2 MANUTENÇÃO

A norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR-5462/1994 (Norma Brasileira) conceitua a manutenção como sendo uma prática que combina ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, com o objetivo de manter ou devolver a um determinado item a capacidade de desempenhar a função requerida (ABNT, 1994).

Sinteticamente é possível se dividir a história da manutenção em três períodos distintos (MOUBRAY, 1997):

- Na manutenção de primeira geração, anterior à Segunda Guerra Mundial, não havia preocupação com a disponibilidade dos equipamentos ou mesmo com a prevenção das falhas.
- Na manutenção da segunda geração houve a implementação de planos de manutenções preventivas, o que é creditado à crescente demanda a produtos e mecanização das indústrias ocorridas período pós-guerra. Começou-se a serem levados em consideração os tempos de parada dos equipamentos

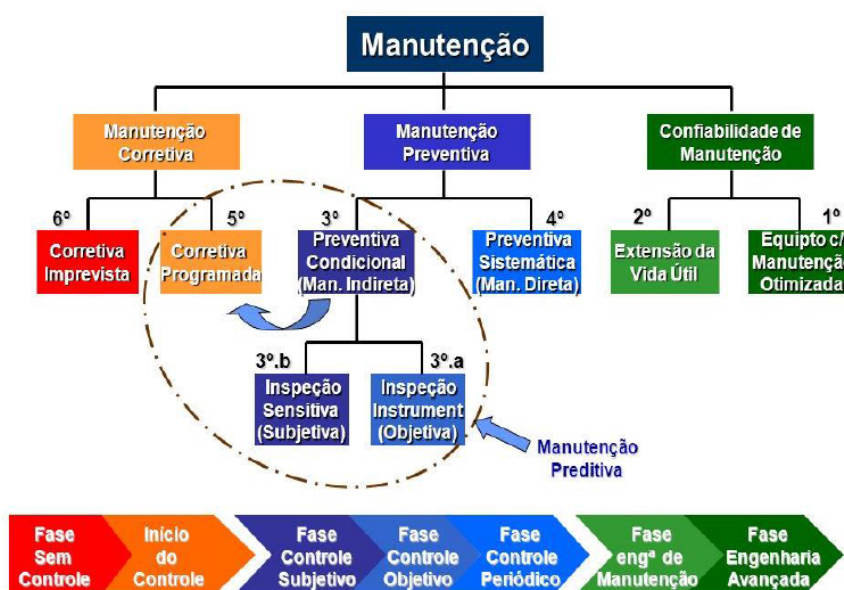
produtivos por conta de falhas e reparos, tendo surgido conceitos como da manutenção preventiva.

- A denominada manutenção de terceira geração, iniciada na década de 1970, incluía a busca por novas maneiras de maximizar a vida útil dos equipamentos, bem como preocupação com a disponibilidade e confiabilidade destes.

2.2.1 Tipos de Manutenção

Existem diferentes formas de intervenções nos equipamentos, sendo que se pode diferenciar tipos de manutenções de acordo com as necessidades e escolhas dos operadores como indicado na Figura 1:

Figura 1 - Tipos de manutenção.



Fonte: DANTAS (2019).

2.2.1.1 Manutenção Corretiva

Conforme a norma ABNT NBR-5462/1994, a manutenção corretiva tem como objetivo recolocar um equipamento em condição de realizar uma função solicitada, após a ocorrência de uma pane (ABNT, 1994).

Ou seja, a manutenção corretiva ocorre após a ocorrência da falha e normalmente é necessária a sua execução de imediato, a fim de se evitar maiores implicações nas máquinas da produção, bem com da segurança dos funcionários e ao meio ambiente (VIANA, 2002).

2.2.1.2 Manutenção Preventiva

A norma ABNT NBR-5462/1994 conceitua a manutenção preventiva como a manutenção efetuada em intervalos de tempo predeterminados, ou então conforme critérios prescritos antecipadamente, com intuito de diminuir as chances de ocorrência de falha ou a deterioração do funcionamento de um equipamento ou máquina (ABNT, 1994).

A manutenção preventiva ocorre em máquinas que estão em condições normais de operação ou mesmo em perfeito estado, seguindo um plano de manutenções pré-determinado (VIANA, 2002).

Para implantação da política de manutenção preventiva há que se avaliar alguns detalhes antecipadamente, tendo em vista os elevados custos inerentes desta modalidade de manutenção, senão vejamos (PINTO et al, 2001):

- avaliar se a manutenção preditiva não é aplicável;
- se a segurança, pessoal ou da instalação, esteja comprometida em caso de falha;
- se há oportunidade de atuação em máquina em estado crítico, bem como que seja crucial para o processo produtivo;
- se há risco para o meio ambiente;
- se o sistema de produção é contínuo e/ou de maior complexidade.

Tendo em vista a criticidade inerente aos equipamentos médicos, a necessidade de se garantir a precisão na utilização pelo profissional de saúde, sendo também imperativa a opção por evitar a falha do equipamento quando em uso

no paciente, entre outros fatores, levam as unidades de saúde a manter planos de manutenção preventiva criteriosos.

2.2.1.3 Manutenção Preditiva

De acordo com a norma ABNT NBR-5462/1994, a manutenção preditiva envolve a aplicação sistemática de técnicas de análise e supervisão centralizados ou por amostragem, com intuito de se reduzir as manutenções preventivas e corretivas (ABNT, 1994).

Com a utilização da manutenção preditiva se objetiva conhecer o momento correto da intervenção mantenedora, de forma a se evitar possíveis desmontagens para inspeção, e conseqüentemente se utilizar dos componentes o máximo possível de sua vida útil com segurança, minimizando custos por evitar trocas de peças e equipamentos desnecessárias como é comum na manutenção preventiva (VIANA, 2002).

Ainda que seja reconhecida a efetividade da manutenção preditiva, há que se frisar que nas unidades hospitalares o uso deste tipo de manutenção seria difícil, custoso e por vezes não indicado por conta da criticidade de determinados equipamentos que não podem falhar em uso, portanto, opta-se por se utilizar de planos de manutenções preventivas e, em caso de intercorrências não previsíveis, da manutenção corretiva nos equipamentos médicos.

2.3 PESQUISA OPERACIONAL

Historicamente a Pesquisa Operacional (PO) surgiu como ciência durante a Segunda Guerra Mundial (1939 – 1945), tendo por objetivo promover a integração de equipes multidisciplinares a fim de se otimizar o uso dos escassos recursos ingleses e americanos na guerra e se extrair máximo proveito (TAVARES et al, 1996). Vale ressaltar que a otimização é interpretada há anos como um sinônimo de Pesquisa Operacional.

A Pesquisa Operacional atualmente é utilizada no planejamento de operações tanto no setor público quanto privado, sempre que se busca otimização em algum grau, como em sistemas de alocação de recursos, de arranjo de postos de trabalho, na programação matemática, até mesmo em casos de ajuda humanitária, por exemplo (KARSU et al., 2015).

Destaca-se que a evolução da computação foi um dos fatores que contribuíram para o crescimento da Pesquisa Operacional, na medida em que é exigido processamento de dados em grande volume e complexidade, normalmente inviáveis de serem feitos tantos cálculos à mão (HILLIER et al, 2010).

Com a popularização da utilização da PO, empresas das mais variadas áreas passam a utilizar estas técnicas para resolver problemas administrativos e apoiar a tomada de decisão para que seus negócios tenham competitividade no mercado. Uma das técnicas mais comuns de PO é a Programação Linear (ANDRADE, 2012).

A fim de se encontrar uma solução ótima, a pesquisa operacional faz uso de modelagem matemática e simulações para representar os problemas reais. A dita solução ótima é conhecida através de cálculos envolvendo algoritmos, normalmente com realização de milhares de iterações até se atingir uma solução melhor possível de acordo com o problema em estudo, posto que se deve respeitar as restrições inerentes e que fazem parte do modelo (TAHA, 2008).

A utilização da ferramenta pesquisa operacional segue as seguintes etapas (TAHA, 2008):

1) Formulação do problema: a fim de se conhecer o problema, deve-se compreender suas condições e limites. Há que se especificar os objetivos que se pretende encontrar, com objetivo a se conhecer alternativas para a solução. Grosso modo, é a descrição textual do problema;

2) Representação do modelo: o problema deve ser representado através de equações matemáticas;

3) Solução do modelo: tendo em vista as restrições impostas, rodam-se os algoritmos para encontrar a melhor solução possível conforme as circunstâncias interpretadas;

4) Validação do modelo: deve-se verificar se a solução conhecida é coerente ante o objetivo formulado. Sugere-se utilizar dados históricos para verificar o desempenho do modelo e a solução ótima apresentada;

5) Implementação dos resultados: uma vez confirmado que o modelo é coerente, que a solução ótima do modelo é aplicável, torna-se possível a implementação dos resultados.

Um modelo é uma simulação simplificada da realidade descrita como equações matemáticas. As variáveis são elementos do modelo que podem ser controladas pelo operador. A função objetivo relaciona as variáveis para se maximizar (lucro, produção, disponibilidade, etc.) ou minimizar (despesas, deslocamentos, investimentos, etc.) algo. Um parâmetro é uma constante associada à variável, não controlável pelo tomador de decisão. São incluídas restrições a fim de indicar limitações dos recursos disponíveis. Com tudo isso é possível montar modelo para auxílio nas tomadas de decisões (COLIN, 2007).

2.3.1 Programação Linear

A programação linear (PL) aborda o problema através de funções lineares. Ressalta-se que o termo programação não está diretamente relacionado com a área computacional, devendo ser assimilado como planejamento. Mas é de fato que se utiliza de ferramentas computacionais para realizar as inúmeras iterações para encontrar a solução ótima ao problema em estudo, a fim de facilitar os cálculos (HILLIER et al, 2010).

Um modelo é considerado de PL se atender os seguintes requisitos:

- Proporcionalidade: as variáveis do modelo necessariamente têm peso equivalente aos valores possivelmente assumidos;

- Aditividade: as variáveis que estão na função objetivo bem como restrições contribuem como um todo para as respectivas propriedades;
- Certeza: as variáveis devem ser determinísticas (TAHA, 2008).

2.3.2 Programação Linear Inteira

Na programação linear inteira as variáveis devem assumir valores inteiros. Podem existir situações nas quais não se necessita de que todas as variáveis sejam inteiras, dando assim origem à característica mista e denominada PLIM (Programação Linear Inteira Mista), quando há variáveis inteiras bem como de outra tipologia, como variáveis binárias, por exemplo (HILLIER et al, 2010).

Nos problemas da vida real há casos em que as variáveis apresentam valores que não poderiam ser contínuos. Cita-se o exemplo de uma situação hipotética em se deve decidir a quantia de caminhões a serem utilizados para o transporte de determinada quantidade de mercadorias. Aqui não seria possível trabalhar com valores fracionados (um caminhão e meio). Mas há ferramentas que possibilitam a aplicação de um relaxamento, como considerar variáveis como contínuas ao invés de inteiras. O algoritmo *Branch and Bound*, utilizado no estudo, tem a propriedade de relaxar condições de integralidade a fim de se chegar a soluções sub-ótimas, facilitando a tomada de decisões de acordo a situação analisada de relaxamento (RAGSDALE, 2009).

2.3.3 Aplicações da Programação Linear

A Programação Linear (PL) é das mais importantes e mais utilizadas técnicas de pesquisa operacional, sendo um importante instrumento para a tarefa de planejamento da alocação da mão de obra (TAHA, 2008).

Cronogramas otimizados da equipe tendem a fornecer enormes benefícios às organizações, porém, requerem sistemas de suporte às decisões implementados de forma cuidadosa. Há requisitos ou restrições que devem ser

atendidos já que cada setor da indústria tem seu próprio conjunto de questões e deve ser visto por si só (ERNST et al, 2004).

Cita-se estudo em que se recorre às técnicas e aos métodos da PL para a criação e atribuição de escalas de serviços para motoristas de transporte coletivo, sendo que o modelo contemplava as restrições operacionais e trabalhistas. Os resultados práticos levaram a reduções da variação das folgas do pessoal e das contratações de motoristas temporários cobre-turnos (MÉLLO et al, 2008).

Na literatura são destacados resultados bem-sucedidos da programação linear no âmbito empresarial quando da otimização envolvendo funcionários. Neste sentido, indica-se o caso da United Airlines no ano de 1983, quando a PL foi eficaz para o planejamento da escala dos funcionários (HILLIER et al, 2010).

Há estudos para elaboração de escalas e distribuição de trabalho que minimizam a demanda não atendida de uma Unidade Básica de Saúde utilizando-se da ferramenta Programação Linear Inteira (MACIEL NETO et al, 2011).

A PLI é utilizada a fim de estabelecer um rodízio da tripulação de ônibus urbano da cidade Belo Horizonte, considerando as restrições legais e operacionais no modelo com o resultando em redução considerável da tripulação total e em consequência minimizando o custo operacional (BOAS et al, 2014).

Em outro estudo se propõe a utilização da PLI para definição do programa de manutenção preventiva de uma frota de aeronaves de treinamento da FAB - Força Aérea Brasileira modelo Neiva T-25, ao longo de todo o ciclo de vida operacional com função objetivo que visa a minimização da indisponibilidade da frota e dos custos operacionais. Apresenta-se resultados que indicam ganho em relação ao método convencional utilizado que representa 6,8% de redução da indisponibilidade das aeronaves (REBOUÇAS et al, 2019).

Cita-se outro problema de Programação Linear Inteira Mista (PLIM) modelado com base em fluxo com múltiplos produtos, com finalidade de planejamento da distribuição de materiais de manutenção em uma malha ferroviária com o menor custo operacional viável. Restrições com vistas a garantir a conservação do fluxo de demanda e do fluxo de trens e atingir uma maior proximidade com o problema real foram impostas, tendo sido obtida solução ótima

que minimiza os custos logísticos deste processo em 20% para o almoxarifado considerado nos testes se comparado com a realidade enfrentada pela empresa (CAMPBELL et al, 2020).

Cita-se o estudo sobre modelo de programação linear inteira visando a alocação de salas de cirurgia do Hospital Mount Sinai, em Toronto, com evidente minimização de custos pela capacidade de produzir rapidamente um plano cirúrgico mestre equitativo (BLAKE et al, 2002).

Também na área da saúde há trabalho que sobre a elaboração de grade horária mensal dos médicos anestesistas no Hospital das Clínicas da Universidade Federal do Paraná, em Curitiba, com utilização de modelo matemático de PLI. O modelo era balizado tomando-se em consideração as salas do centro cirúrgico, diferentes procedimentos de exames, também leva em consideração as preferências cada médico e com limite de uma repetição semanal dos procedimentos. O agendamento obtido como resultado é capaz de obter resultados superiores se confrontado com o agendamento manual de meses anteriores, podendo ser usado como base para agendamentos futuros (FRESSATO, 2018).

Problemas de Escalonamentos de Médicos (PEM) consistem na atribuição de tarefas a médicos relacionado a cobertura de turnos e plantões. Nestas otimizações há que se considerar regras trabalhistas, preferências pessoais e regras organizacionais. São comuns na literatura estudos neste aspecto. Cita-se a proposta de reformulação elaborada por DEVESSE et al (2019) que emprega modelo de Programação Inteira Mista (PIM) especificamente sobre escalonamento de médicos em salas de emergência. Os resultados indicam ganho de 31% considerando custos lineares

Na literatura se encontra aplicações de otimização na área da saúde (PEM) desde salas de emergência até unidades de terapia intensiva, salas de operação para oncologia, dentre outras. ERHARD et al (2018) analisam características dos diversos problemas de PEM existentes na literatura, descrevendo abordagens técnicas utilizadas tanto para tratamento como análise, necessários para definição do problema e restrições.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Busca-se a utilização de ferramenta matemática para reorganização das manutenções preventivas (atividades fixas) unidades hospitalares, com a consequente possibilidade de se otimizar o quadro de colaboradores dos setores de Engenharia Clínica destes hospitais por conta do ajuste equânime das atividades fixas durante o ano.

No estudo se toma dados de 4 hospitais atendidos pela mesma empresa terceirizada, com vistas a otimizar a demanda por mão de obra mês a mês dos setores de Engenharia Clínica. O resultado ótimo uma vez validado confirma a utilidade do modelo genérico utilizado.

As informações necessárias para elaboração do estudo são acessadas no sistema digital “Manuteh Manutenção Hospitalar” sobre o gerenciamento dos equipamentos, vistorias diárias, rotinas de manutenções preventivas e registro de ordens de serviço (manutenções corretivas) com tempos de execução dos trabalhos. O sistema digital “Manuteh Manutenção Hospitalar” é utilizado por todos os 4 hospitais envolvidos no estudo.

Cada equipamento médico tem a respectiva periodicidade de manutenção preventiva especificada pelo fabricante, podendo ser mensal, trimestral, semestral ou anual, bem como de acordo com a criticidade e nível de prontidão exigidos. O tempo necessário para cada serviço é conhecido e consta no sistema digital “Manuteh Manutenção Hospitalar”. Também o histórico das manutenções corretivas é conhecido e consta em detalhes no sistema digital “Manuteh Manutenção Hospitalar”, possibilitando se estimar com certa precisão o tempo necessário para atendimento de ordens de serviço futuras.

Em 2021 as 4 unidades hospitalares são atendidas por 6 profissionais de Engenharia Clínica, sendo que os 2 maiores hospitais contam com 2 profissionais da área lotados em cada um, e os 2 menores hospitais têm 1 profissional de Engenharia Clínica cada.

Por força do contrato entre os hospitais e a empresa terceirizada de Engenharia Clínica envolvidos no estudo, há obrigação de ao menos 1 profissional lotado de forma fixa na respectiva unidade hospitalar.

Objetiva-se equilibrar o planejamento das rotinas mês a mês num horizonte anual, com a reorganização equânime das atividades fixas, a fim de se evitar a ocorrência de plantões e jornadas extraordinárias dos colaboradores.

Utilizando-se de técnicas de Programação Linear implementado no *so/ver* Lingo 18.0, com inclusão das restrições relacionadas aos colaboradores, horários e periodicidade das manutenções preventivas, tempo necessário para realização das manutenções corretivas e vistorias diárias, torna possível o melhor aproveitamento da mão de obra existente com alocação ótima de colaboradores e consequente minimização de custos.

3.2 MODELO MATEMÁTICO

Um modelo de programação linear inteira foi proposto para minimizar o custo de mão de obra no Setor de Engenharia Clínica de 4 hospitais atendidos pela mesma empresa terceirizada. Com a otimização das atividades fixas é possível o aproveitamento ótimo da mão de obra disponível com alocação de número ideal de colaboradores alocados.

Para utilização neste estudo se considera que cada funcionário cumpre jornada de 220 horas mensais, sem labor extra ou noturno. Considera-se também que há custo fixo mensal de R\$ 16.000,00 com pagamento de funcionários, sendo 4 destes com salário mensal de R\$ 3.000,00 cada e 2 com salário mensal de R\$ 2.000,00.

As descrições dos conjuntos constam na Tabela 1, dos parâmetros na Tabela 2, e das variáveis de decisão na Tabela 3 a seguir.

Tabela 1 - Descrição dos sets.

Conjuntos	Índice
Colaborador	c
Serviço	s
Dias	d
Meses	m
Hospital	h

Fonte: Autoria própria (2021).

Tabela 2 - Descrição dos parâmetros.

Parâmetro	Descrição	Unidade
$custo_c$	Custo do colaborador c	$R\$/Colaborador$
$tempo_{h,s}$	Tempo para realização do serviço s no hospital h	$Hora/Serviço$
$horas_c$	Horas de trabalho disponíveis do colaborador c	$Hora/Colaborador$
$maxh_c$	Máximo de hospitais que o colaborador c pode ser alocado	$Hospital/Colaborador$
$tipo_c$	Tipo do trabalhador, definindo a classificação dos hospitais que o colaborador pode atuar	$Sem\ unidade$
$quantidade_{h,s}$	Quantidade de cada serviço s do hospital h	$Equipamentos/Serviço$
$freq_manu_{h,s}$	Frequência de manutenção para cada tipo de serviço s em cada hospital h	$Sem\ unidade$
$bigM$	Parâmetro utilizado para as variáveis binárias	$Sem\ unidade$

Fonte: Autoria própria (2021).

Tabela 3 - Descrição das variáveis de decisão.

Variável	Descrição	Domínio
$alocado_c$	Designação para alocar ou não o colaborador c	$\{0,1\}$
$alocar_{h,s,m,d,c}$	Definição da quantidade de alocação ou não no hospital h do serviço s do mês m do dia d do colaborador c	Z^+
$alhospital_{h,m,c}$	Definição da alocação ou não no hospital h do mês m do colaborador c	Z^+

Fonte: Autoria própria (2021).

3.2.1 Função Objetivo

A equação (1) é a função objetivo do modelo, que busca minimizar o custo total da alocação dos colaboradores em número necessário de acordo com as restrições impostas.

$$MIN Z = \sum_c custo_c * alocado_c \quad (1)$$

3.2.2 Restrições

A inequação 2 estabelece a restrição dos colaboradores quanto ao limite de horas para cada período de trabalho, respeitando-se a jornada de trabalho mensal de cada colaborador a fim de evitar trabalho extraordinário, em finais de semana ou noturno, que poderiam causar gastos extras.

A restrição descrita na inequação 3 permite alocar o colaborador para realizar serviços no hospital somente se o colaborador está alocado naquele local.

Esta restrição é necessária para que não haja resultado do modelo em que um colaborador não alocado em determinada unidade hospitalar preste serviços nesta unidade. A lógica do modelo depende de limites indicados pelas restrições, ainda que pareça confuso, mas na modelagem se mostram necessárias restrições desta natureza.

Associado com a inequação 3, a inequação 4 limita a quantidade máxima de unidades hospitalares em que determinado colaborador pode ser alocado, sendo o número máximo de locais que cada colaborador pode atuar o parâmetro definido por $maxh_c$. A restrição é necessária por conta da distância física entre as 04 unidades hospitalares atendidas e a impossibilidade de o mesmo colaborador executar serviços em mais de uma unidade no mesmo dia sem que sejam considerados os tempos de deslocamentos físicos e custos adicionais que seriam gerados com possíveis deslocamentos entre unidades hospitalares.

Tendo em vista a exigência contratual existente entre os hospitais e a empresa fornecedora da mão de obra de Engenharia Clínica, ao menos 1 colaborador tem que ser fixo em cada unidade hospitalar, e a restrição 5 estabelece que os colaboradores fixos não possam ser alocados em outros hospitais, podendo ser alocado somente no hospital definido na coluna $tipo_c$ indicada nos resultados na Tabela 8.

A restrição 6 faz com que os colaboradores fixos sejam alocados todos os meses. Tendo em vista que os colaboradores normalmente são funcionários com contrato de trabalho normal por tempo indeterminado balizados pela CLT (Consolidação das Leis do Trabalho), esta restrição garante que sejam alocados os trabalhadores fixos e evita resultados que necessitem de trabalhadores temporários e consequentes custos adicionais.

A restrição 7 define a variável $alocado_c$ para que seja igual a 1 quando o colaborador é alocado para que realize serviços ou 0 se o colaborador não é alocado para prestação de serviços. Ou seja, trata-se de modelo de PLIM na medida que também contém variável binária.

As restrições 8, 9, 10, 11 e 12 estão relacionadas à periodicidade das manutenções preventivas dos equipamentos e atividades fixas de cada unidade

hospitalar, sendo utilizadas para definir que os serviços programados, tanto diários (8), mensais (9), trimestrais (10), semestrais (11) ou anuais (12), respectivamente, sejam realizados apenas de acordo com a periodicidade fixada. A realização de cada tipo de serviço ou atividade fixa segue as regras e diretrizes de manutenção preventiva previamente definida pelo fabricante do equipamento ou plano estabelecido pelo hospital de acordo com a criticidade e nível de prontidão exigidos de determinados equipamentos.

O parâmetro $freq_manu_{h,s}$ pode assumir valores que têm significados diferentes, sendo 0 para equipamento que requer serviço diário, 1 para equipamento que requer serviço mensal, 2 para equipamento que requer serviço trimestral, 3 para equipamento que requer serviço semestral ou 4 para equipamento que requer serviço anual.

O parâmetro $tipo_c$ também assume valores com significados diversos, sendo 0 para colaborador móvel ou volante, 1 para colaborador fixo no hospital número 1, 2 para colaborador fixo no hospital número 2, 3 para colaborador fixo hospital número 3 e 4 para colaborador fixo no hospital número 4.

As restrições do modelo de PLIM são representadas a seguir:

$$\sum_{h,s,m} alocar_{h,s,m,d,c} * tempo_{h,s} \leq horas_c \quad \forall h \in H, m \in M, d \in D, c \in C \quad (2)$$

$$\sum_{s,d} alocar_{h,s,m,d,c} \leq alhospital_{h,m,c} * bigM \quad \forall h \in H, m \in M, c \in C \quad (3)$$

$$\sum_h alhospital_{h,m,c} \leq maxh_c * alocado_c \quad \forall m \in M, c \in C \quad (4)$$

$$\sum_{h,s,m,d} alocar_{h,s,m,d,c} = 0 \mid tipo_c \neq h, tipo_c = 1 \quad \forall c \in C \quad (5)$$

$$\sum_{h,s} alocar_{h,s,m,d,c} \geq 1 \mid tipo_c = h \quad \forall m \in M, d \in D, c \in C \quad (6)$$

$$\sum_{h,s,m,d} alocar_{h,s,m,d,c} \leq bigM * alocado_c \quad \forall c \in C \quad (7)$$

$$\sum_c \text{alocar}_{h,s,m,d,c} = \text{quantidade}_{h,s} \quad \forall h \in H, s \in S, m \in M, d \in D \mid \text{freq_manu}_{h,s} = 0 \quad (8)$$

$$\sum_{d,c} \text{alocar}_{h,s,m,d,c} = \text{quantidade}_{h,s} \quad \forall h \in H, s \in S, m \in M \mid \text{freq_manu}_{h,s} = 1 \quad (9)$$

$$\sum_{d,c,m1=m}^{m1+2} \text{alocar}_{h,s,m,d,c} = \text{quantidade}_{h,s} \quad \forall h \in H, s \in S, m \in M \mid \text{freq_manu}_{h,s} = 2 \quad (10)$$

$$\sum_{d,c,m1=m}^{m1+5} \text{alocar}_{h,s,m,d,c} = \text{quantidade}_{h,s} \quad \forall h \in H, s \in S, m \in M \mid \text{freq_manu}_{h,s} = 3 \quad (11)$$

$$\sum_{d,c,m1=m}^{m1+11} \text{alocar}_{h,s,m,d,c} = \text{quantidade}_{h,s} \quad \forall h \in H, s \in S, m \in M \mid \text{freq_manu}_{h,s} = 4 \quad (12)$$

3.3 PROGRAMA DE COMPUTAÇÃO LINGO

Neste estudo foi escolhido o programa de computação Lingo 18.0, *software* da Lindo Systems Inc., com uso de licença educacional para resolver o modelo construído de programação linear. Este programa utiliza linguagem matemática que permite trabalhar com milhares de variáveis, parâmetros, função objetivo e restrições (WINSTON, 2004).

O Lingo tem a capacidade de resolução de uma ampla gama de problemas matemáticos de forma extremamente rápida, ressaltando que a interface com o usuário é fácil e há integração com as planilhas do Microsoft Excel (HILLIER et al, 2012).

No estudo o modelo elaborado no *software* Lingo 18.0 utiliza conexão com arquivo do Microsoft Excel para o registro dos parâmetros e do retorno de variáveis de decisão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A solução obtida no *solver* Lingo revela que a reorganização das manutenções preventivas elimina a execução de plantões e jornadas extraordinárias pelos colaboradores, além de possibilitar a redução de 6 para 5 o número de profissionais da área de Engenharia Clínica que atende aos 4 hospitais envolvidos no estudo.

A readequação de forma equivalente mês a mês das rotinas de manutenções preventivas, num horizonte anual, impede o acúmulo de trabalho em determinados meses e conseqüentemente a sobrecarga da equipe, fato que pode levar a flutuações do nível de demanda de trabalho das equipes. Tendo em vista que os profissionais de Engenharia Clínica são fixos nos postos de trabalho, a situação atual dos planos de manutenções preventivas exige equipes maiores. Mas a redistribuição das rotinas num horizonte anual indica que há espaço para redução em 1 trabalhador, o que significa redução equivalente a 16,67% do quadro de funcionários de Engenharia Clínica.

A Tabela 4 contém a solução ótima para o Hospital 1. Do lado esquerdo em azul há dados fornecidos referentes aos equipamentos médicos (serviços), número total de cada tipo de equipamento (quantidade), periodicidade de manutenções preventivas (0 = tarefa diária; 1 = tarefa mensal; 2 = tarefa trimestral; 3 = tarefa semestral; 4 = tarefa anual), com duração estimada para as tarefas em horas (tempo). Estes dados são importados pelo *solver* Lingo para resolução do modelo, que após a resolução e alcançada a solução ótima, retorna as variáveis de decisão para a planilha do Microsoft Excel a fim de completar o lado direito em verde, com o planejamento anual dos serviços programados referentes às vistorias diárias e manutenções preventivas dos equipamentos médicos do Hospital 1.

Tabela 4 - Entradas e resultados para o Hospital 1.

Hospital	Serviço	Periodicidade	Tempo	Quantidade	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
H1	B01	3	1	6	0	6	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0
	B02	4	1	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	B03	4	1	5	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0
	B04	3	0,5	6	4	2	0	0	0	0	4	2	0	0	0	0
	B05	4	0,25	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80	0	0
	B06	4	0,25	8	1	6	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	B07	3	0,66	5	0	5	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0
	B08	3	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	B09	4	0,66	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	B10	4	0,25	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
	B11	4	0,5	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	B12	4	0,5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0
	B13	3	1	6	0	0	6	0	0	0	0	0	6	0	0	0
	B14	4	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	B15	1	0,75	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	B16	4	0,5	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	B17	4	1	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34	0	0
	B18	4	0,5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	B19	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	B20	2	3	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
	B21	2	1	3	1	0	2	1	0	2	1	0	2	1	0	2
	B22	3	1	14	0	1	0	6	3	4	0	1	0	6	3	4
	B23	3	0,5	9	0	9	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0
VB	0	50	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	

Fonte: Autoria própria (2021).

Da mesma forma como contido na Tabela 4, a seguir na Tabela 5 há dados fornecidos do Hospital 2 referentes aos equipamentos médicos, em marrom. Estes dados são importados pelo *solver* Lingo para resolução do modelo, e após a resolução exporta as variáveis de decisão para a planilha do Microsoft Excel e completa o lado direito em verde com o planejamento anual dos serviços programados, referentes ao Hospital 2.

Tabela 5 - Entradas e resultados para o Hospital 2.

Hospital	Serviço	Periodicidade	Tempo	Quantidade	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
H2	S01	3	2	6	3	3	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0
	S02	1	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	S03	4	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S04	4	1	6	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S05	4	1	2	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	S06	3	2	2	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
	S07	3	2	8	6	0	2	0	0	0	0	6	0	2	0	0
	S08	4	1	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S09	4	2	15	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S10	4	2	6	0	1	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0
	S11	3	1	2	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
	S12	3	1	4	0	4	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0
	S13	4	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S14	3	2	2	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
	S15	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	S16	4	0,5	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S17	4	2	6	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S18	4	2	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	S19	4	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
	S20	4	2	52	23	17	0	0	0	0	2	6	4	0	0	0
	S21	4	2	9	0	2	2	2	0	1	0	0	0	0	0	2
	S22	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	S23	4	2	2	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	S24	3	2	25	21	0	4	0	0	0	21	0	4	0	0	0
	VS	0	50	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Fonte: Autoria própria (2021).

O planejamento anual referente ao Hospital 3 é plotado na Tabela 6, que contém os dados de entrada fornecidos no lado direito em amarelo, e do lado direito em verde há os dados de saída contemplando a solução ótima com planejamento anual das atividades fixas para o Hospital 3.

Tabela 6 - Entradas e resultados para o Hospital 3.

Hospital	Serviço	Periodicidade	Tempo	Quantidade	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
	P01	3	1	7	0	0	4	0	0	3	0	0	4	0	0	3
	P02	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	P03	3	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	P04	3	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	P05	3	1	5	0	0	0	1	1	3	0	0	0	1	1	3
	P06	4	1	140	0	0	11	0	6	56	0	6	6	2	53	0
	P07	4	1	5	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0
	P08	3	1	5	0	1	0	0	4	0	0	1	0	0	4	0
	P09	3	1	16	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	16	0
	P10	4	1	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
	P11	4	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	P12	3	1	8	0	0	2	6	0	0	0	0	2	6	0	0
	P13	3	1	8	6	0	0	0	0	2	6	0	0	0	0	2
	P14	3	1	9	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	9
	P15	4	1	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
	P16	4	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	P17	4	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
H3	P18	4	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	P19	3	1	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2
	P20	4	1	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	P21	3	1	6	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	6	0
	P22	4	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
	P23	3	1	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3
	P24	3	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
	P25	4	1	70	0	0	6	56	0	2	0	0	0	0	0	6
	P26	4	1	6	1	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0
	P28	3	1	11	0	0	0	0	5	6	0	0	0	0	5	6
	P29	3	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	P30	4	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	P31	4	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	P32	3	1	26	3	0	0	0	23	0	3	0	0	0	23	0
	VP	0	50	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Fonte: Autoria própria (2021).

No tocante ao Hospital 4 se apresenta a Tabela 7 com o planejamento anual das atividades fixas. Em verde escuro à esquerda há dados fornecidos e importados pelo solver, e em verde na porção direita da Tabela se apresenta o resultado ótimo alcançado, com dados exportados pelo *solver* Lingo para planilha do Microsoft Excel a fim de indicar o planejamento anual dos serviços programados referentes às vistorias diárias e manutenções preventivas dos equipamentos médicos do Hospital 4.

Tabela 7 - Entradas e resultados para o Hospital 4.

Hospital	Serviço	Periodicidade	Tempo	Quantidade	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
H4	E01	3	1	6	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	6	0
	E02	4	0,5	15	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	3	0
	E03	3	0,5	7	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	7	0
	E04	4	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	E05	4	0,25	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	99
	E06	4	0,25	10	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0
	E07	3	0,66	12	4	0	3	0	5	0	4	0	3	0	5	0
	E08	3	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
	E09	4	0,66	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0
	E10	4	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	E11	3	0,33	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0
	E12	3	0,5	5	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	5	0
	E13	3	0,5	5	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	5	0
	E14	4	0,5	5	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0
	E15	4	1	44	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	41
	E16	4	0,33	6	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0
	E17	4	0,5	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	E18	3	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
	E19	4	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	E20	3	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
	E21	4	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	E22	3	0,5	5	1	0	0	0	4	0	1	0	0	0	4	0
	E23	3	1	12	1	0	0	2	9	0	1	0	0	2	9	0
	E24	4	0,5	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	E25	4	0,5	5	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0
	E26	4	0,5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	E27	4	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	E28	3	3	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
	E29	2	2	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
	E30	4	0,33	5	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0
	E31	3	0,33	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
VE	0	50	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	

Fonte: Autoria própria (2021).

Frise-se que na última tarefa das Tabelas 4, 5, 6 e 7, denominadas VB, VS, VP e VE, respectivamente, estão inclusas as rotinas diárias fixas, como vistorias diárias nos setores (estimadas em 2 horas por dia), bem como e o tempo estimado para manutenções corretivas diárias (pouco mais de 5 horas diárias). A mesma metodologia foi aplicada aos 4 hospitais atendidos.

Ainda em relação às atividades VB, VS, VP e VE das Tabelas 4, 5, 6 e 7, há que se esclarecer que durante a confecção do modelo se percebeu que a alocação diária dos colaboradores em 22 dias úteis por mês eleva para 223.734 o número de variáveis do modelo.

A fim de reduzir o número de variáveis do modelo, foi utilizada a estratégia de se admitir que cada mês tem 3 longos dias (cada “dia longo” equivalente a 7 dias úteis normais de trabalho). Com a alocação diária reduzida para 3 dias por mês se consegue a redução para 32.214 variáveis no modelo. Esta adaptação na modelagem explica o tempo diário do serviço de 50 horas (pouco mais de 7 horas de serviço por dia normal multiplicado por 7). Esta estratégia se mostra muito útil para redução do tempo computacional de resolução do modelo e não traz prejuízos à solução ótima.

Com a reorganização e redistribuição ótima das tarefas fixas num horizonte anual nos 4 hospitais atendidos, há aproveitamento estimado ótimo

também da mão de obra, de forma que o resultado indica que é possível a redução de 1 profissional no setor de Engenharia Clínica, possibilitando efetiva redução de custos com alocação dos funcionários.

O resultado ótimo do modelo indica a necessidade de 4 funcionários fixos, 1 em cada hospital, mais 1 colaborador não fixo em qualquer das unidades, sendo funcionário volante. Assim, é possível a manutenção do atendimento pleno com redução do pessoal, confirmando o espaço para minimização de custo.

Na Tabela 8, referente ao resultado do número necessário de funcionários alocados em cada um dos 4 hospitais (Tipo 0 = alocado em qualquer hospital, Tipo 1 = hospital 1, Tipo 2 = hospital 2, Tipo 3= hospital 3, Tipo 4 = hospital 4), também o funcionário volante (colaborador 5) e exclusão do colaborador 6 (Alocado = 0).

Tabela 8 - Resultado ótimo obtido quanto à alocação dos funcionários nos respectivos hospitais.

Colaborador	Tipo	Fixo	Máx Hospitais	Alocado
Colab_1	1	1	1	1
Colab_2	2	1	1	1
Colab_3	3	1	1	1
Colab_4	4	1	1	1
Colab_5	0	0	2	1
Colab_6	0	0	2	0

Fonte: Autoria própria (2021).

O objetivo do modelo é a redução de custos com alocação de funcionários, mas há que se salientar que o resultado ótimo indica que a capacidade de atendimento da empresa se mostra superior aos 4 hospitais já atendidos após a otimização das tarefas. Desta forma, a outra conclusão possível se relaciona à possibilidade de maximização dos lucros com atendimento de mais uma unidade hospitalar de pequeno porte com os mesmos 6 funcionários que a empresa já possui.

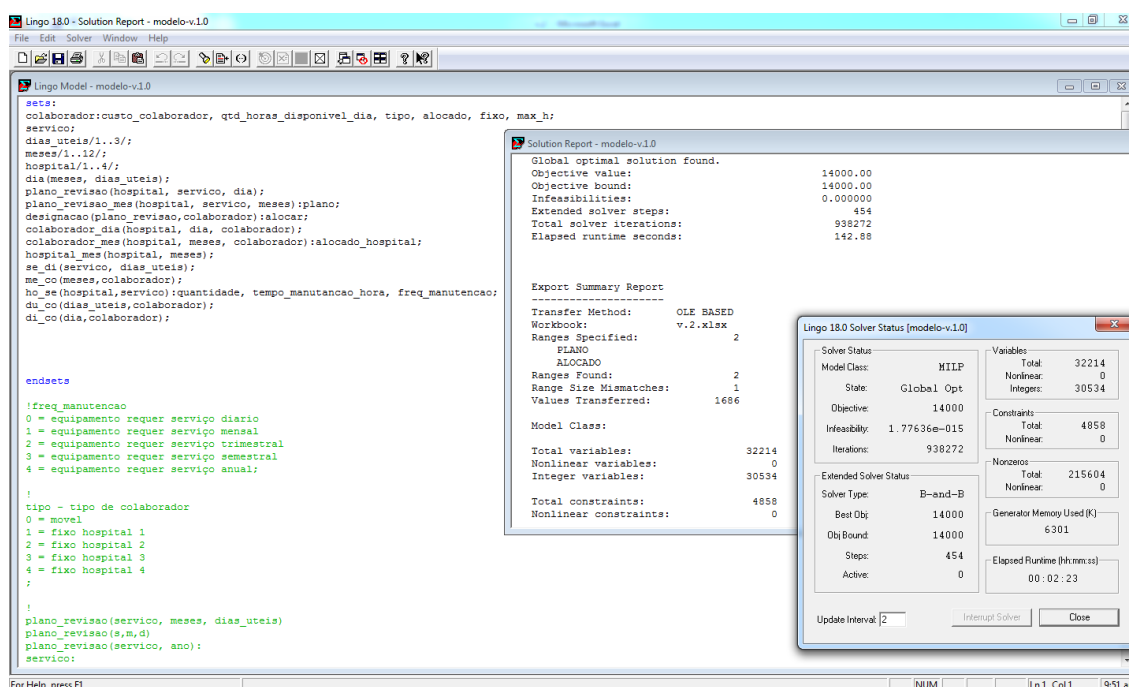
4.1 DESEMPENHO

O modelo é do tipo linear de número inteiro misto, com 32.214 variáveis e 4.858 constantes.

A resolução ocorreu após 938.272 interações e 2 minutos e 23 segundos no *software* LINGO 18.0, com licença educacional. Executado em um computador com o sistema operacional Windows 7 com processador Intel Dual Core 2,60GHZ e 4 GB de memória RAM.

Na Figura 2 é plotado um instantâneo da tela do programa computacional Lingo 18.0 logo após a resolução do modelo, indicando os detalhes do resultado e processamento.

Figura 2 - Instantâneo da tela do software Lingo após a resolução do modelo com detalhes do resultado ótimo e processamento.



Fonte: Autoria própria (2021).

Analisando-se o resultado indicado no programa Lingo, cumpre esclarecer que consta o valor objetivo global encontrado de R\$ 14.000 que significa o custo total com os 5 funcionários, ressaltando-se que foi colocado para fins de estudo que 4 colaboradores têm salário de R\$ 3.000,00 cada e 1 com salário de R\$ 2.000,00, resultando no custo mensal de R\$ 14.000,00.

No lado esquerdo na Figura 2 há parte do modelo matemático que é apresentado na íntegra no Apêndice A, mais ao centro o instantâneo da tela de solução e à direita no quadro menor se encontra o status da solução indicando se tratar de modelo de PLIM, solucionada por algoritmo *Branch and Bound*.

A evolução do tempo computacional para resolução do modelo pode ser analisada em instâncias, inicialmente tendo como objeto apenas 1 unidade hospitalar e após incluindo-se variáveis com a adição de mais unidades hospitalares a cada resolução. Percebe-se que a inclusão de variáveis de forma linear a cada resolução leva a comportamento não linear do tempo computacional para solução do modelo, conforme Tabela 9.

Tabela 9 - Comparativo de instâncias através do tempo de processamento do modelo em função do número de unidades hospitalares e variáveis existentes.

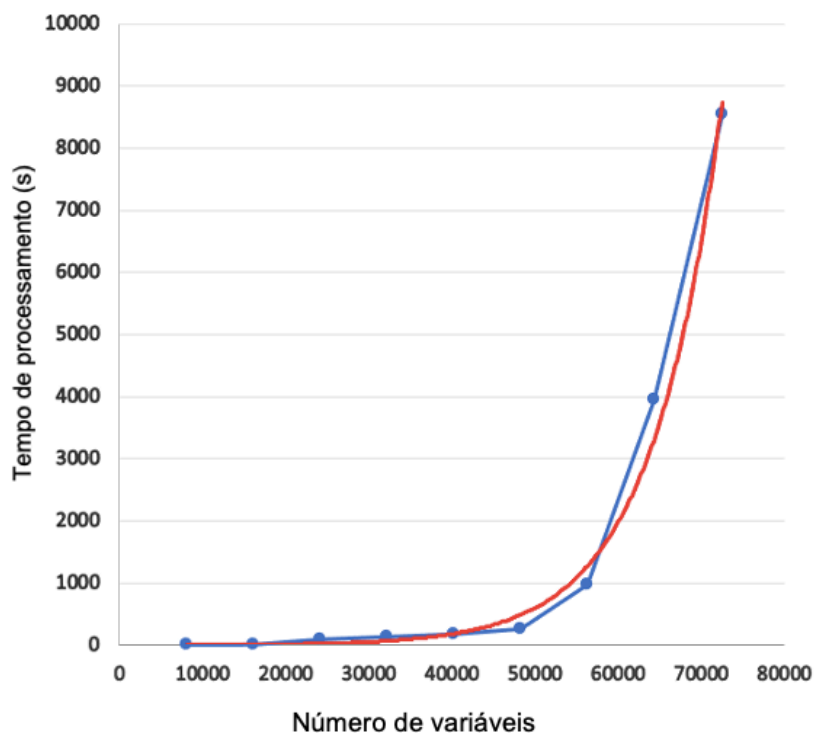
Quantidade de hospitais	Número de variáveis	Tempo de processamento (s)
1	8058	2
2	16110	7
3	24162	103
4	32214	143
5	40266	175
6	48318	257
7	56376	966
8	64434	3955
9	72492	8541

Fonte: Autoria própria (2021).

O comportamento não linear do aumento do tempo computacional a cada resolução se deve ao fato de que ao se acrescentar variáveis no modelo (adição de 8052 variáveis a cada nova solução, equivalente a mais uma unidade hospitalar do modelo proposto) há o consequente aumento não linear do número de interações necessárias para se alcançar a solução ideal.

A seguir se plota a Figura 3 que contempla graficamente o tempo computacional necessário para resolução do modelo em função do aumento das variáveis, obtido através da inclusão de unidades hospitalares no modelo a cada resolução. Cada ponto existente na linha azul indica uma resolução do modelo nos moldes como indicado na Tabela 9. O tempo computacional cresce de forma exponencial a partir de 50.000 variáveis, como se pode derivar através do comportamento da linha de tendências em vermelho.

Figura 3 - Comparativo de instâncias através do tempo de processamento do modelo em função do número de variáveis existentes plotado em azul e linha de tendências em vermelho.



Fonte: Autoria própria (2021).

Confirma-se a robustez do modelo, apenas sendo necessário frisar que a inclusão de variáveis no modelo pode elevar exponencialmente o número de interações e tempo computacional necessários para resolução, chegando a valores impraticáveis como horas ou mesmo dias inteiros para se chegar à solução ideal, indicando a necessidade de utilização de processador computacional mais robusto, bem como uso de novas estratégias na formulação do modelo a depender da quantidade de variáveis existentes.

4.2 DISCUSSÃO

Com base nos dados colhidos referentes aos equipamentos médicos e todas as rotinas, vistorias e manutenções, é possível a construção de modelo matemático que pode proporcionar otimização de tarefas fixas e mão de obra necessária, sendo aplicável no mundo real. São observadas as restrições de tempo de serviço,

disponibilidade de pessoal, limites de jornadas de trabalho, indivisibilidade de tarefas, periodicidade das tarefas fixas e tempo necessário para execução de manutenções corretivas. O resultado ótimo indica que há espaço para minimização de custos com redução de pessoal.

O modelo é genérico e pode ser aplicado para otimização de diferentes tarefas fixas inclusive em ambiente industrial, na medida em que não há qualquer óbice à utilização fora do setor de saúde.

Entretanto, a reorganização total das rotinas para colocação em prática do resultado obtido com o modelo matemático proposto demanda tempo e trabalho com alteração do sistema, etiquetas nos equipamentos médicos, possíveis adiantamentos de manutenções preventivas para adequação ao novo mapa, entre outros pontos que demandam tempo e trabalho.

Também o lado social deve ser levado em consideração, na medida em que o resultado ótimo implica redução da equipe de Engenharia Clínica com desligamento de 1 funcionário, sendo, portanto, uma medida dura sob o aspecto social.

Contudo, é inegável a possibilidade de melhorias no sistema com a utilização de ferramentas de programação matemática, sendo possível alcançar o resultado ótimo para o modelo em poucos segundos ou mesmo minutos. O desafio é modelar o problema de forma a retratar com maior fidelidade possível ao existente no mundo real.

5 CONCLUSÕES

O modelo elaborado neste estudo é capaz de proporcionar melhorias na organização das tarefas fixas do Setor de Engenharia Clínica de Unidades de Saúde, com melhor aproveitamento da mão de obra disponível, tanto para minimização de custos redução do número de colaboradores ou mesmo para fins de maximização dos lucros com a possibilidade de atendimento de maior número de unidades hospitalares com a equipe existente.

O modelo matemático é genérico e facilmente adaptado para a realidade de cada usuário, inclusive em outras áreas além da área da saúde. tendo em vista a utilização do *software* Lingo como solver com conexão com arquivo do Microsoft Excel para o registro dos parâmetros de entrada e do retorno de variáveis de decisão. Também as restrições ao modelo podem ser ajustadas caso a caso.

A aplicação de modelagem matemática neste estudo confirma a possibilidade de ganhos com a indicação da solução ótima com base nos dados disponíveis. Ferramentas de Otimização como o *Lingo* permitem a resolução de modelos complexos com muitas restrições, algo impossível de se alcançar intuitivamente.

A comparação da situação atual com a solução ótima fornecida pela modelagem confirma que há grande margem para otimização das tarefas e pessoal da Engenharia Clínica com implantação da solução resultante melhor possível, considerando as restrições estabelecidas.

Os resultados do modelo de PLI traz uma possível redução de custos no percentual de 16,66% das despesas atuais com funcionários, tendo em vista a possibilidade da redução do time de Engenharia Clínica de 6 para 5 colaboradores, com a implantação da melhor distribuição das tarefas fixas previstas mensalmente num horizonte anual.

Há que se registrar uma interpretação alternativa ao resultado ótimo, no sentido da maximização de lucros ante a possibilidade de atendimento de mais uma unidade hospitalar com a mesma quantidade de colaboradores (6) que atendiam os 4 hospitais, depois de otimizadas as tarefas fixas.

Salienta-se também que a obtenção da solução ideal ocorreu em pouco mais de 2 minutos, algo que é impossível manualmente.

Assim, foram alcançados os objetivos específicos deste trabalho, com a identificação dos parâmetros do problema de planejamento de manutenções preventivas em hospitais e definição da estratégia sobre a otimização necessária. Ato contínuo, foi desenvolvido um modelo de PLI para o problema de planejamento de atividades fixas em hospitais num horizonte anual, que depois de testado foi validado com utilização de dados históricos. Diferentes cenários foram analisados, inclusive com testes de robustez do modelo em instâncias.

Salienta-se que houve a submissão deste estudo no XXVII CBEB Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica de 2020 em Vitória, Espírito Santo, no formato de artigo científico, com o mesmo título desta Dissertação de Mestrado (Planejamento das Manutenções Preventivas em Unidades Hospitalares). O artigo foi aceito, defendido em seção virtual e publicado Anais do evento nas folhas 596-601.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Estudos futuros podem ajustar o modelo matemático para a melhor organização das atividades e seleção de colaboradores a fim de minimizar o custo, ou mesmo alteração das restrições propostas e inclusão de novas variáveis, aproveitando-se da evolução da capacidade computacional e ferramentas de otimização.

Trabalhos futuros podem analisar outro aspecto envolvendo a otimização das tarefas no tocante à capacidade de atendimento da equipe de engenharia clínica existente em função do número de funcionários, de forma a conhecer a capacidade de atendimento da equipe e melhor precificar possíveis novos clientes em outras unidades hospitalares.

Também a implantação da otimização nas rotinas pode ser objeto de estudos, tendo em vista que alteração da rotina já existente em unidades

hospitalares gera gastos extras que devem ser conhecidos de antemão. A transição pode ser objeto de otimização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro, 1994.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Manual para regularização de equipamentos médicos na ANVISA**. 2017.
- ANDRADE, E. L. **Introdução à pesquisa operacional: métodos e modelos para análise de decisões**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 220 p.
- BLAKE, J. T.; DONALD, J. Mount Sinai hospital uses integer programming to allocate operating room time. **Interfaces**, Catonsville, v. 32, n. 2, p. 63-73, 2002.
- BOAS, M. G. V.; SILVA, G. P. Modelos de Programação Inteira para o Problema de Rodízio de Tripulações de Ônibus Urbano. *In*: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 46., Salvador. **Anais [...]**. Salvador: SENAI, 2014. p. 1-12.
- BRASIL. Equipamentos Médico-Hospitalares e o Gerenciamento da Manutenção: capacitação a distância / **Ministério da Saúde, Secretaria de Gestão de Investimentos em Saúde, Projeto REFORSUS**. – Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2002.
- CAMPBELL, H.; MARTINELLI, R.; AGUIAR, E. Otimização da Logística de Manutenção baseada no Planejamento da Distribuição de Materiais em uma Malha Ferroviária. *In*: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 52., João Pessoa. **Anais [...]**. João Pessoa: SOBRAPO. 2020. p. 1-10
- CHRISTIANSEN, D. The health care crisis. **IEEE Spectrum**, Piscataway, v. 10, n. 4, p. 23, 1973.
- COLIN, E. C. **Pesquisa operacional: 170 aplicações em estratégia, finanças, logística, produção, marketing e vendas**. Rio de Janeiro: LTC, 2007. 528 p.
- DALZIEL, C. F. Electric shock hazard. **IEEE Spectrum**, Piscataway, v. 9, n. 2, 1972.
- DANTAS, I. S. **Importância e benefícios do planejamento de gestão da manutenção**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2019.
- DEL SOLAR, J. G. M. **A Engenharia Clínica Brasileira: Objetivos, Responsabilidades, Requisitos**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) - Universidade de Brasília, Brasília. 2017.
- DEVESSE, V. A. P.; ARANTES, M. S.; AKARTUNALI, K.; TOLEDO, C. F. M. Equidade em Escalonamento de Médicos em Sala de Emergência usando

Programação Matemática. *In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, 41., Limeira. **Anais** [...]. Limeira: UNICAMP. 2019. p. 1-12.

ERHARD, M.; SCHOENFELDER, J.; FÜGENER, A.; BRUNNER, J. O. State of the art in physician scheduling. **European Journal of Operational Research**, v. 265, n. 1, p. 1-18. 2018.

ERNST, A. T.; JIANG, H.; KRISHNAMOORTHY, M.; SIER, D. Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models. **European journal of operational research**, v. 153, n. 1, p. 3-27. 2004.

FRESSATO, A. A. **Modelo Matemático para a Escala de Trabalho de Anestesiistas do Hospital Universitário da UFPR**. 2018. Dissertação (Mestrado em Métodos Numéricos em Engenharia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2018.

FRIEDLANDER, G. D. Electricity in hospitals: elimination of lethal hazards. **IEEE Spectrum**, Piscataway, v. 8, n. 9, p. 40-51. 1971.

GORDON, G. J. Hospital technology management: the Tao of clinical engineering. **Journal of clinical engineering**, Philadelphia, v. 15, n. 2, p. 111-117. 1990.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 8. ed. Porto Alegre: AMGH, 2010.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introduction to operations research**. Tata McGraw-Hill Education, 2012.

JURGEN, R. K. Electronics in medicine: a mixed blessing: technology does lots more, but at a price. **IEEE spectrum**, Piscataway, v. 14, n. 1, p. 78-81, 1977.

KARSU, Ö.; MORTON, A. Inequity averse optimisation in operational research. **European Journal of Operational Research**, v. 245, p. 343-359, set. 2015.

MACIEL NETO, T.; ARAGÃO JUNIOR, D. P.; GONÇALVES, M. B.; COELHO, A. S. Modelo de Programação Linear Inteira como Ferramenta para Otimizar a Capacidade de Atendimentos nos Serviços de Saúde em UBSS de Manaus AM. *In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção Inovação Tecnológica e Propriedade Intelectual*, 31., Belo Horizonte. **Anais** [...]. Belo Horizonte: ABEPRO. 2011. p. 1-12.

MÉLLO, F. G. A.; SENNE, E. L. F.; LORENA, L. A. N. Uma abordagem para solução do problema de escalonamento de motoristas. **Revista Produção Online**, Florianópolis, v. 13, n. 3, p. 1-18, 2008. Disponível em: <<https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/view/112>>. Acesso em: 20 de novembro de 2020.

MOUBRAY, J. **Reliability centered maintenance**. 2. ed. New York: Industrial Press Inc.; 1997. 448 p.

OLIVEIRA, E. F. A Engenharia Clínica e sua importância no ambiente hospitalar. **Revista da Maternidade** Escola Assis Chateaubriand, Fortaleza, v. 5, p. 6-7, 2016.

PINTO, A. K.; XAVIER, J. A. N. **Manutenção função estratégica**. 2. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001. 560 p.

RAGSDALE, C. T. **Modelagem e análise de decisão**. 1 ed. São Paulo: Cengage Learning, 2009. 608 p.

RAMÍREZ, E. F. F.; CALIL, S. J. Engenharia Clínica: Parte I-Origens (1942-1996). **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v. 21, n. 4, p. 27-33, 2000.

REBOUÇAS, S.; ABRAHÃO, F. T. M. Planejamento estratégico de programa de manutenção preventiva de aeronaves. *In*: Simpósio de Aplicações Operacionais em Áreas de Defesa, 6, São José dos Campos. **Anais [...]**. São José dos Campos: ITA. 2019. p. 70-75.

SHAFFER, M. J.; SHAFFER, M. D. The professionalization of clinical engineering. **Biomedical instrumentation & technology**, v. 23, n. 5, p. 370-374, 1989.

SOUZA, D. B. A.; MILAGRES, S. T.; SOARES, A. B. Avaliação econômica da implantação de um serviço de Engenharia Clínica em hospital público brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Biomédica**, Uberlândia, v. 28, n. 4, p. 327-336, 2012.

TAHA, H. A., **Pesquisa Operacional**, 8a. Edição, São Paulo, Pearson, 2008.

TAVARES, L. V.; OLIVEIRA, R. C.; THEMIDO, I. H.; CORREIA, F. N. **Investigação Operacional**. Lisboa: Mc Graw Hill, 1996.

TERRA, T. G.; GUARIENTI, A.; SIMÃO, E. M.; RODRIGUES JÚNIOR, L. F. Uma revisão dos avanços da Engenharia Clínica no Brasil. **Disciplinarum Scientia| Naturais e Tecnológicas**, Santa Maria, v. 15, p. 47-61, 2014.

VIANA, H. R. G. PCM – **Planejamento e Controle da Manutenção**. 1. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002. 167 p.

WANG, B.; CALIL, S. J. Clinical engineering in Brazil: current status. **Journal of Clinical Engineering**, Philadelphia, v. 16, n. 2, p. 129-35, 1991.

WINSTON, W. L.; GOLDBERG, J. B. **Operations research: applications and algorithms**. Boston: Duxbury press, 2004. 1440 p.

APÊNDICE A – MODELO ELABORADO PARA PROCESSAMENTO NO SOFTWARE LINGO, COM CONEXÃO COM ARQUIVO DO MICROSOFT EXCEL

sets:

```
colaborador:custo_colaborador, qtd_horas_disponivel_dia, tipo, alocado, fixo, max_h;
servico;
dias_uteis/1..3/;
meses/1..12/;
hospital/1..4/;
dia(meses, dias_uteis);
plano_revisao(hospital, servico, dia);
plano_revisao_mes(hospital, servico, meses):plano;
designacao(plano_revisao,colaborador):alocar;
colaborador_dia(hospital, dia, colaborador);
colaborador_mes(hospital, meses, colaborador):alocado_hospital;
hospital_mes(hospital, meses);
se_di(servico, dias_uteis);
me_co(meses,colaborador);
ho_se(hospital,servico):quantidade, tempo_manutencao_hora, freq_manutencao;
du_co(dias_uteis,colaborador);
di_co(dia,colaborador);
```

endsets

```
!freq_manutencao
0 = equipamento requer serviço diario
1 = equipamento requer serviço mensal
2 = equipamento requer serviço trimestral
3 = equipamento requer serviço semestral
4 = equipamento requer serviço anual;

!
tipo - tipo de colaborador
0 = movel
1 = fixo hospital 1
2 = fixo hospital 2
3 = fixo hospital 3
4 = fixo hospital 4
;

!
plano_revisao(servico, meses, dias_uteis)
plano_revisao(s,m,d)
plano_revisao(servico, ano):
servico:
ano(meses, dias_uteis);
```

data:

```
colaborador, custo_colaborador, qtd_horas_disponivel_dia, tipo, fixo, max_h = @ole();
```



```
servico, quantidade, tempo_manutencao_hora, freq_manutencao = @ole();
big_M = 1000000;
enddata
```

```
min = @sum(colaborador(c):custo_colaborador(c)*alocado(c));
```

```
! O colaborador realiza as atividades, limitado a quantidade de horas disponível no dia;
@for(colaborador_dia(h,m,d,c):@sum(plano_revisao_mes(h,s,m):alocar(h,s,m,d,c)*tempo_manutencao_hora(h,s))<=qtd_horas_disponivel_dia(c));
```

```
! O colaborador fixo só pode atuar em um hospital por mês;
@for(colaborador_mes(h,m,c):@sum(se_di(s,d):alocar(h,s,m,d,c))<=alocado_hospital(h,m,c)*big_M);
```

```
! Designar em quantos locais o colaborador irá trabalhar no mes;
@for(me_co(m,c):@sum(hospital(h):alocado_hospital(h,m,c))<=max_h*alocado(c));
```

```
! Colaborador fixo não pode ser alocado em outros hospitais, podendo só ser alocado no hospital definido em tipo(c);
@for(colaborador(c):@sum(plano_revisao(h,s,m,d)|h#NE#tipo(c)#AND#tipo(c)#GE#1:alocar(h,s,m,d,c)) = 0);
```

```
! Colaborador fixo deve ser alocado todos os meses;
@for(di_co(m,d,c)|fixo(c)#EQ#1:@sum(ho_se(h,s)|h#EQ#tipo(c):alocar(h,s,m,d,c)) >= 1);
```

```
! Alocado é uma variável binária;
@for(colaborador(c):@bin(alocado(c)));
```

```
! Alocado_hospital é uma variável binária;
@for(colaborador_mes(h,m,c):@bin(alocado_hospital(h,m,c)));
```

```
! Alocar é uma variável inteira;
@for(designacao(h,s,m,d,c):@gin(alocar(h,s,m,d,c)));
```

```
! Forçar que aloca(c)=1 quando colaborador possui trabalho associado;
@for(colaborador(c):@sum(plano_revisao(h,s,m,d):alocar(h,s,m,d,c))<=big_m*alocado(c));
```

```
! Realização dos serviços diários;
@for(plano_revisao(h,s,m,d)|freq_manutencao(h,s)#EQ#0:@sum(colaborador(c):alocar(h,s,m,d,c))=quantidade(h,s));
```

```
! Realização dos serviços mensal;
@for(plano_revisao_mes(h,s,m)|freq_manutencao(h,s)#EQ#1:@sum(du_co(d,c):alocar(h,s,m,d,c))=quantidade(h,s));
```

```
! Realização dos serviços trimestral;
@for(plano_revisao_mes(h,s,m)|freq_manutencao(h,s)#EQ#2#AND#m#LE#10:
@sum(di_co(m1,d,c)|m1#GE#m#AND#m1-m#LT#3:alocar(h,s,m1,d,c)) =
quantidade(h,s));
@for(plano_revisao_mes(h,s,m)|freq_manutencao(h,s)#EQ#2#AND#m#LE#2:
@sum(di_co(m1,d,c)|m1#GE#m#AND#m1-m#LT#3:alocar(h,s,@wrap(m1+10,12),d,c)) =
quantidade(h,s));
```

```
! Realização dos serviços semestral;
```

```

@for(plano_revisao_mes(h,s,m)|freq_manutencao(h,s)#EQ#3#AND#m#LE#7:
@sum(di_co(m1,d,c)|m1#GE#m#AND#m1-m#LT#6:alocar(h,s,m1,d,c)) =
quantidade(h,s));
@for(plano_revisao_mes(h,s,m)|freq_manutencao(h,s)#EQ#3#AND#m#LE#5:
@sum(di_co(m1,d,c)|m1#GE#m#AND#m1-m#LT#6:alocar(h,s,@wrap(m1+7,12),d,c))
= quantidade(h,s));

```

! Realização dos serviços anual;

```

@for(ho_se(h,s)|freq_manutencao(h,s)#EQ#4:@sum(di_co(m,d,c):alocar(h,s,m,d,c))=q
uantidade(h,s));

```

! Matriz para exportar dados para o excel;

```

@for(plano_revisao_mes(h,s,m):@sum(du_co(d,c):alocar(h,s,m,d,c)) = plano(h,s,m));

```

data:

```

@ole() = plano, alocado;

```

```

enddata

```