

Leonel Yugi Kimura

Desenvolvimento de um sistema de dimensionamento de escala de trabalho de um hospital de  
transplante usando modelo matemático de programação linear inteira

São Paulo

2019



Leonel Yugi Kimura

Desenvolvimento de um sistema de dimensionamento de escala de trabalho de um hospital de transplante usando modelo matemático de programação linear inteira

Trabalho de Formatura apresentado à  
Escola Politécnica da Universidade de São  
Paulo para obtenção do diploma de  
Engenheiro de Produção.

São Paulo

2019



Leonel Yugi Kimura

Desenvolvimento de um sistema de dimensionamento de escala de trabalho de um hospital de transplante usando modelo matemático de programação linear inteira

Trabalho de Formatura apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do diploma de Engenheiro de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Daniel de Oliveira Mota

São Paulo

2019



Dedico este trabalho à minha família e amigos.



## Agradecimentos

Agradeço a minha família, meus pais e meu irmão que sempre apoiaram nas minhas escolhas, fornecendo os meios e os exemplos para as minhas conquistas, agradeço o carinho incondicional e o incentivo aos estudos, desde sempre. Agradeço a Giovanna por ter me incentivado a fazer o curso que sempre sonhei e pelo seu apoio incondicional.

Agradeço ao Professor Doutor Daniel de Oliveira Mota pela dedicação e profissionalismo em toda a orientação. Seus direcionamentos e conhecimento foram essenciais para a conclusão deste trabalho.

Agradeço ao aluno mestrando João Paulo Monteleone, membro do Grupo de Pesquisas em Saúde e de Gestão em Operações e Logística da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, departamento de Engenharia de Produção.

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

#### Catalogação-na-publicação

Kimura, Leonel Yugi

Desenvolvimento de um sistema de dimensionamento de escala de trabalho de um hospital de transplante usando modelo matemático de programação linear inteira / L. Y. Kimura -- São Paulo, 2019.

96 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção.

1.Transplantes 2.Programação Linear Inteira 3.Dimensionamento de escala de trabalho 4.Pesquisa Operacional 5.Escala de Enfermagem  
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Produção II.t.

“First, remember to look up at the stars and not  
down at your feet.

Second, work gives you meaning and purpose and  
life is empty without it.

Third, if you are lucky enough to find love,  
remember it is there and don’t throw it away.”

(Stephen Hawking)



## RESUMO

O dimensionamento da escala de trabalho em um hospital é um dos trabalhos que mais tomam tempo dos gestores, sendo necessário utilizar diversas horas durante a semana para remanejar os enfermeiros, para conseguir atender as necessidades dos pacientes e atender as exigências do COFEN e das leis trabalhistas. Há pouca automatização nos hospitais para o cálculo de escalas de trabalho e as ferramentas disponíveis na atualidade possuem um grande ônus financeiro para as instituições de saúde. Dessa forma este trabalho busca a utilização de ferramentas de baixo custo valendo-se de modelagem matemática em Programação Linear Inteira com implementação em linguagem Python e a biblioteca Gurobi. Além disso, este trabalho apresenta uma aplicação da modelo gerado em um cenário real, usando como dados de entrada as informações fornecidas pelo corpo técnico de enfermagem do Hospital de Transplantes de São Paulo Euclides de Jesus Zerbini. Portanto, este trabalho buscou em seu desenvolvimento melhorar o bem-estar social da equipe de enfermagem tanto em sua qualidade de vida, bem como na qualidade do nível de serviço do atendimento ao paciente, o que concomitantemente resultou na melhoria de como os recursos dos hospitais são utilizados.

Palavras-Chave: Transplantes; Programação Linear Inteira; Dimensionamento de escala de trabalho; Pesquisa Operacional; Escala de Enfermagem



## ABSTRACT

The nurse rostering problem in a hospital is one of the most time-consuming jobs for managers, requiring several hours a week to relocate nurses to meet patients' needs and meet the requirements of COFEN and labor laws. There is little automation in hospitals for calculating work schedules and the tools available today carry a heavy financial burden on healthcare institutions. Thus, this work seeks to use low cost tools using mathematical modeling in Integer Linear Programming with Python language implementation and the Gurobi library. In addition, this paper presents an application of the model generated in a real scenario, using as input data the information provided by the nursing staff of the Transplant Hospital of São Paulo Euclides de Jesus Zerbini. Therefore, this work sought in its development to improve the social well-being of the nursing staff both in their quality of life, as well as in the quality of the patient care service level, which concomitantly resulted in the improvement of how hospital resources are used.

Keywords: Transplants; Integer Linear Programming; Working scale sizing; Operational Research; Nursing Rostering Problem



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|  |    |
|--|----|
| Figura 01 - Visão de alocação enfermeiro-dia .....   | 25 |
| Figura 02 - API Gurobi.....  | 42 |
| Figura 03 - Interface da aplicação SISQUAL .....   | 44 |
| Figura 04 - “Scheduling” usando diagrama de Gantt.....                                     | 45 |
| Figura 05 - Tela com a escala de trabalho já calculada pelo LINGO.....                     | 46 |
| Figura 06 - Planilha de Escala de Trabalho.....  | 47 |
| Figura 07 - Site da empresa Luz com o valor cobrado.....                                   | 48 |
| Figura 08 - Software PACE Scheduler.....   | 49 |
| Figura 09 - Destaque do layout do programa acessado por smartphone e via interface web.... | 50 |
| Figura 10 - Detalhe da interface web do aplicativo.....                                    | 51 |
| Figura 11 - Interface da ZUSS.....   | 52 |
| Figura 12 - Tipos de pesquisa.....   | 54 |
| Figura 13 - Layout Excel, visão geral da janela .....                                      | 67 |
| Figura 14 - Visão em detalhe da escala de trabalho, .....                                  | 68 |
| Figura 15 - Tela do ambiente de desenvolvimento utilizado, Spyder .....                    | 69 |
| Figura 16 - Exemplo de declaração de restrições em Python.....                             | 70 |
| Figura 17 - Dados do arquivo de output.....  | 71 |
| Figura 18 - Em detalhe o primeiro ajuste realizado .....                                   | 72 |
| Figura 19 - Aba com cálculo de QP segundo escala de Fugulin .....                          | 73 |
| Figura 20 - Detalhe da planilha final com campos para 500 funcionários .....               | 74 |
| Figura 21 - Detalhe da alteração na planilha de escala de trabalho.....                    | 76 |
| Figura 22 - Detalhe do console Python utilizando o Gurobi .....                            | 77 |
| Figura 23 - Detalhe do gráfico de demanda real x demanda atendida .....                    | 79 |
| Figura 24 - Segunda Iteração no Python .....   | 80 |
| Figura 25 - Demanda real x Demanda atendida, com folga .....                               | 81 |
| Figura 26 - Detalhe da iteração inicial para o pior cenário .....                          | 82 |
| Figura 27 - Melhor solução encontrada no pior cenário.....                                 | 83 |
| Figura 28 - Gráfico de demanda real x demanda atendida para o pior cenário.....            | 84 |
| Figura 29 - Resultado no console Python no pior cenário resultado melhorado.....           | 85 |
| Figura 30 - Detalhe da iteração inicial para o melhor cenário .....                        | 86 |
| Figura 31 - Melhor solução encontrada no melhor cenário.....                               | 87 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 32 - Gráfico de demanda real x demanda atendida no melhor cenário ..... | 88 |
| Figura 33 - Resultado da melhoria na alocação no melhor cenário.....           | 89 |

## **LISTA DE TABELAS**

|   |    |
|---|----|
| Tabela 01 - Variáveis utilizadas na programação de Gomes & Toffolo .....    | 26 |
| Tabela 02 - Complexidade Assistencial .....                                 | 31 |
| Tabela 03 - Exemplo de cálculo de complexidade pela escala de Fugulin ..... | 34 |
| Tabela 04 - Horas de Assistência de enfermagem (HE).....                    | 35 |
| Tabela 05 - Percentual de enfermeiros na equipe de enfermagem .....         | 37 |



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|              |   |
|--------------|---|
| <b>ABNT</b>  | Associação Brasileira de Normas Técnicas  |
| <b>API</b>   | Application Programming Interface         |
| <b>CLT</b>   | Consolidação das Leis do Trabalho         |
| <b>COFEN</b> | Conselho Federal de Enfermagem            |
| <b>COREN</b> | Conselho Regional de Enfermagem           |
| <b>CVD</b>   | Cateterismo Vesical de Demora             |
| <b>EV</b>    | Vias Endovenosas                          |
| <b>IM</b>    | Via Intramuscular                         |
| <b>INRC</b>  | International Nurse Rostering Competition |
| <b>HIAC</b>  | Hospital Israelita Albert Einstein        |
| <b>LP</b>    | Linear Programming                        |
| <b>NRP</b>   | Nurse Rostering Problem                   |
| <b>PA</b>    | Pressão Arterial                          |
| <b>PLC</b>   | Projeto de Lei Complementar               |
| <b>PLI</b>   | Programação Linear Inteira                |
| <b>PPLI</b>  | Problema de Programação Linear Inteira    |
| <b>ROI</b>   | Return Over Investment                    |
| <b>SCP</b>   | Sistema de Classificação de Pacientes     |
| <b>VBA</b>   | Visual Basic for Applications             |
| <b>VO</b>    | Via Oral                                  |



## SUMÁRIO

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| <b>1.</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>13</b> |
| 1.1.      | Funcionamento Hospital de Transplantes do Estado.....                                     | 14        |
| 1.2.      | Projeto.....  | 17        |
| <b>2.</b> | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>  | <b>19</b> |
| 2.1.      | O problema do escalonamento do corpo técnico.....   | 19        |
| 2.1.1.    | Legislação Trabalhista .....  | 22        |
| 2.2.      | O problema de dimensionamento do agendamento da escala de trabalho para enfermeiros ..... | 25        |
| 2.3.      | Dimensionamento do corpo de enfermagem .....  | 28        |
| 2.4.      | Escala de Fugulin .....   | 30        |
| 2.5.      | Cálculo de Pessoal .....  | 35        |
| 2.6.      | Os níveis de criticidade das unidades do hospital .....                                   | 39        |
| 2.7.      | Programação Linear Inteira .....  | 40        |
| 2.8.      | Gurobi .....  | 41        |
| 2.9.      | Software SISQUAL.....   | 42        |
| 2.10.     | Outros “softwares” disponíveis para utilização:.....                                      | 45        |
| <b>3.</b> | <b>METODOLOGIA.....</b>   | <b>53</b> |
| 3.1.      | Metodologia de Pesquisa.....  | 53        |
| 3.2.      | Modelo matemático em PPLI .....   | 55        |
| 3.2.1.    | Trabalhar no máximo um turno por dia .....  | 56        |
| 3.2.2.    | Ter uma folga em um domingo no mês .....  | 56        |
| 3.2.3.    | Respeitar a demanda .....   | 57        |
| 3.2.4.    | Respeitar o número de folgas no período .....   | 57        |
| 3.2.5.    | Respeitar a carga de horário mensal mínima .....  | 58        |
| 3.2.6.    | Respeitar a carga de horário mensal máxima .....  | 58        |
| 3.2.7.    | Trabalhar 6 dias na semana e folgar um dia na semana.....                                 | 59        |

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| 3.2.8.    | Noturnos não podem ser seguidos .....   | 59        |
| 3.2.9.    | Noturnos não podem ser seguidos de manhã ou tardes.....                                 | 60        |
| 3.2.10.   | Folgas seguidas depois de fazer noturnos .....  | 60        |
| 3.2.11.   | Enfermeiro trabalha em Turno Fixo.....  | 61        |
| 3.2.12.   | Agrupar turnos.....   | 62        |
| 3.2.13.   | Se uma das variáveis X for 1, o funcionário está ativo .....                            | 63        |
| 3.2.14.   | Valor Máximo de cada variável deve ser menor ou igual a 1 e inteiro .....               | 63        |
| 3.3.      | Códigos utilizados em Python .....  | 63        |
| 3.3.1.    | Utilização do módulo Gurobi no projeto.....   | 63        |
| 3.3.2.    | Leitura e escrita dos arquivos em formato de planilha com extensão xls, xlsx, xlsm..... | 65        |
| <b>4.</b> | <b>RESULTADOS .....</b>   | <b>67</b> |
| 4.1.      | Ambiente de desenvolvimento.....  | 69        |
| 4.2.      | Ajustes já realizados.....  | 72        |
| 4.3.      | Resultados .....  | 75        |
| 4.4.      | Teste de cenários .....   | 82        |
| 4.5.      | Próximos passos.....  | 90        |
| <b>5.</b> | <b>CONCLUSÃO .....</b>  | <b>91</b> |
|           | <b>REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA .....</b>   | <b>93</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

A gestão de recursos públicos é um dos grandes desafios dos gestores de recursos públicos, atualmente, há muito desperdício de recursos e pouco aproveitamento dos mesmo na esfera pública, governos com déficit não são incomuns na atualidade, evitar o desperdício nunca foi tão necessário na atualidade, sistemas para automatizar e melhorar o consumo desses recursos são escassos e em muitas situações inexistentes.

Nesse trabalho, buscou-se o desenvolvimento de um sistema de dimensionamento de escala de trabalho de um hospital de transplante usando modelo matemático de programação linear inteira, com o intuito de melhorar o uso de recursos públicos, em especial os recursos humanos, uma vez que a mão de obra especializada, como o pessoal de enfermagem, é escassa.

O problema de dimensionamento da equipe de trabalho em um hospital precisa levar em consideração a complexa alocação de recursos neste sistema. Dentro da vasta gama de situações que precisam ser endereçados, o agendamento dos turnos de trabalho da equipe de enfermagem é um dos mais relevantes como citado em (Burke, Causmaecker, Berghe, & Landeghem, 2004), pois precisa-se identificar na solução deste problema qual a alocação ideal dos componentes da equipe (chefes, técnicos, etc.). Segundo Burke et Al, e também (Cheang, Li, Lim, & Rodrigues, 2003) a falta de uma ferramenta analítica estruturada para solução deste problema consome um tempo substancial do turno de trabalho, principalmente das enfermeiras-chefes, para desenvolver essa rotina, alocando e principalmente realocando outro enfermeiro para um setor mais crítico, mesmo que sem garantia de que seja alcançada uma alocação ideal (ótima), sob o ponto de vista matemático.

O uso de um sistema de alocação de mão de obra rápido, automático e que alcançasse soluções viáveis e compatíveis com aquelas oferecidas pelos profissionais baseando-se em experiência prática liberaria boa parte do dia de trabalho para o cuidado de pacientes, diminuindo os gastos com trabalhos que não estão diretamente ligados à sua maior competência e perícia: salvar vidas.

Em Burke et. Al, 2004 existem diversas citações de outros autores como (Mueller C. W., 1990) que discutem como turnos de trabalho irregulares tem impactado negativo na satisfação dos enfermeiros e na qualidade de vida dos mesmos, no mesmo artigo (Monk, 1986) também discute sobre o efeito ciclo-circadiano no cotidiano e na produtividade dos colaboradores.

Em seguida é necessário entender como a legislação funciona e ainda quais são os principais regulamentos e resoluções que regem o agendamento da escala de trabalho, o COFEN e a CLT são importantes documentos a serem estudados no desenvolvimento de qualquer modelo de escala de trabalho, visto que o não atendimento dos mesmos podem gerar punições aos hospitais e aos seus gestores.

Os estudos como descrito em (Gomes, Toffolo, Santos, & Coelho, 2017) e em (Rangel, 2006), apresentam ótimos modelos matemáticos buscando automatizar o agendamento da escala de trabalho dos enfermeiros, encontrando formas de automatização desse agendamento e diminuindo o tempo gasto nesse processo nos artigos escritos por esses autores, são discutidos modelos matemáticos utilizando Programação Linear Inteira, procurando uma melhoria com diferentes objetivos, com melhor alocação, melhoria na satisfação dos enfermeiros com o objetivo de melhorar a qualidade de vida dos enfermeiros e o nível de serviço no atendimento dos pacientes.

Este trabalho possui diversos objetivos, o primeiro é apresentar uma proposta de modelo matemático em Programação Linear Inteira utilizando como base os estudos pesquisados , que atenda às necessidades do Hospital de Transplantes de São Paulo Euclides de Jesus Zerbini, o segundo objetivo é incorporar o modelo a um sistema funcional e automático utilizando Linguagem Python e uma interface para visualização e entrada de dados em forma de planilha para o escalonamento de enfermeiros de forma a ajudar a área de saúde, o terceiro objetivo tem como foco a melhoria do bem estar social tanto dos enfermeiros quanto dos pacientes, buscando a melhoria da qualidade de vida do enfermeiro e paciente, implicando em uma melhor forma como os recursos são utilizados com melhor nível de serviço do hospital

### 1.1. Funcionamento Hospital de Transplantes do Estado

O projeto em desenvolvimento no “Hospital de Transplantes do Estado Euclides de Jesus Zerbini” busca melhorar o tempo de serviço dos enfermeiros-chefe e enfermeiros encarregadas, uma vez que boa parte do tempo gasto pelos mesmos é gasto com atividades burocráticas com determinada importância, e que tem efeito indireto sobre o paciente atendido no hospital.

O hospital em questão funciona vinte e quatro horas por dia de segunda a segunda (sendo necessário, uma vez que o transplante deve ocorrer de quatro a seis horas após o óbito do doador) e a frente ambulatorial que funciona de segunda a sexta das sete horas às dezenove horas, o hospital funciona em três turnos principais sendo manhã (com funcionamento das seis horas às treze horas), tarde (com funcionamento das treze horas às dezenove horas) e noite (com funcionamento das dezenove horas às sete horas do dia seguinte), o turno da noite porém tem apoio de duas equipes distintas que atuam em revezamento, de forma que na prática há uma subdivisão no turno de trabalho, onde uma equipe atua no primeiro período de serviço e a outra equipe atua no restante do período.

Os principais setores do hospital são:

- Frente hospitalar:

- Transplante de fígado;
- Transplante de córnea;
- Transplante renal;
- Transplante de medula óssea.

- Frente ambulatorial:

- Nefrologia;
- Hematologia;
- Hepatologia;
- Neurocirúrgica;
- Cirurgia geral;
- Urologia;
- Vascula;
- Oftalmologia.

O hospital conta com mais de novecentos colaboradores, dos quais cerca de quinhentos colaboradores são enfermeiros e técnicos, de forma que aproximadamente cento e cinquenta trabalham no turno da manhã, cento e cinquenta no turno da tarde, cem no primeiro turno da noite e outros cem no segundo turno da noite, a proporção de enfermeiros para técnicos é em torno de um para cinco, conforme resolução do COFEN (COFEN C. F., 2017).

Em cada área têm-se um enfermeiro/enfermeira responsável pela distribuição mensal dos enfermeiros de acordo com a demanda e a disponibilidade dos enfermeiros e programação de férias, utilizando o método “*self-scheduling*”, com realização de ajustes pelo responsável

pelo setor, os funcionários indicam dessa forma os dias que desejam suas folgas e formando uma escala preliminar do plantão, além disso como há a possibilidade de haver alguns conflitos, havendo uma escolha maior em alguns dias (há uma maior desejo de folgas em alguns dias que outros), os enfermeiros responsáveis por cada setor realizam ajustes para que não ocorra tal concentração de folgas e consequentemente haja falta de enfermeiros nestas datas.

O controle é feito através de uma planilha, sendo o software utilizado o Excel (Microsoft, Excel, 2019), nela é feito o rascunho inicial, contendo as folgas que são de cinco a seis folgas por mês e intervalo entre folgas menor que sete (segundo a regra de trabalho de sete dias e uma folga dentro desses sete dias), nessa planilha os ajustes são realizados envolvendo novamente os funcionários para que a versão final da escala seja concluída, alguns critérios de “*self-scheduling*” podem ser aplicados, como preferência pelo tempo de casa, idade, gênero entre outros.

A carga semanal é em torno de trinta e seis horas uma vez segue o a escala seis por um com período de trabalho de 6 horas, é necessário se ressaltar que o pessoal de cargo administrativo, em geral os enfermeiros encarregados trabalham com carga horária de quarenta horas semanais em escala do tipo cinco por dois com período de trabalho de oito horas, os enfermeiros encarregados em geral têm turno fixo.

Em relação as faltas, afastamento e férias, é colocado uma margem de quinze por cento de segurança para suprir tais imprevistos, uma vez que atestados tem em média 7 dias de afastamento, e pela legislação como as pessoas em folga devem gozar das suas folgas, não é possível chamar um enfermeiro para suprir uma demanda, a única forma de melhorar o nível de atendimento e a situação crítica é o remanejamento de um enfermeiro de um setor menos crítico para outro mais crítico, a contabilização da situação crítica é feito através da complexidade do atendimento, seguindo a própria Escala de Fugulin (Fugulin), conforme seção 2.4.

De acordo com essa situação crítica e cálculo da Escala de Fugulin, o segundo ajuste é feito de acordo com essa necessidade diária, são determinados três níveis de criticidade, denominados de nível verde (para um nível de atendimento aceitável), nível amarelo (para um nível de atendimento não aceitável, porém não crítico) e nível vermelho (para um nível de atendimento crítico), assim quando houver um nível vermelho e um verde, enfermeiros que estão no setor onde o nível verde são remanejados para o nível vermelho de forma a readequar o nível de serviço, tornando-o dessa forma menos crítico, relembrando o fato de que um

colaborador de folga não pode ser chamado para readequar o nível de serviço, já que o hospital estaria descumprindo as folgas obrigatórias desse colaborador.

## 1.2. Projeto

O entendimento do problema iniciou-se com uma reunião com a enfermeira-chefe do Hospital de Transplantes de São Paulo, durante a reunião foi realizada uma entrevista não estruturada sobre o funcionamento do hospital e como se realizava a geração das escalas de trabalho. Durante a entrevista foram identificados algumas questões que atrapalhavam a rotina e retiravam uma parte substancial do tempo de atendimento dos pacientes, nela os ajustes das escalas de trabalho podiam demorar até uma hora, a depender das habilidades e experiência pessoal de cada enfermeira-chefe de cada setor, uma vez solucionada esta questão, o problema se focaria em se detectar o nível de criticidade do setor e consequentemente do hospital.

Ajustes foram realizados conforme a apontamento da necessidades pelos profissionais, bem como foram adicionados novos elementos para facilitar a utilização dos mesmos, além disso o projeto foi desenvolvido através de pesquisas bibliográficas de soluções já existentes e que poderiam servir de ponto de partida para atender as necessidades dos profissionais, o uso de planilhas utilizando o “*software*” Excel (Microsoft, Excel, 2019) para observação dos turnos de trabalho, o cálculo dos turnos de trabalho foi realizado em Python com a biblioteca Gurobi, a solução deve ser importada na planilha para visualização dos turnos.



## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Durante o desenvolvimento deste capítulo serão apresentadas as referências da literatura usadas como base para o desenvolvimento deste trabalho, que serviram de para uma melhor contextualização e entendimento do problema, visto que o problema em questão conta com uma série de normas e regras tanto de legislação trabalhista quanto de procedimentos hospitalares que precisavam ser respeitados.

Dentre os tópicos a serem abordados neste capítulo estão: o problema do escalonamento do corpo técnico com a questão trabalhista, o problema de dimensionamento do agendamento de escala de trabalho para enfermeiros, o dimensionamento do corpo de enfermagem, a escala de Fugulin, Cálculo de Pessoal para dimensionamento do número de enfermeiros necessários em determinado dia, os níveis de criticidade das unidades do hospital cujo intuito é determinar que o hospital pode ou não aceitar novos pacientes, Programação Linear Inteira uma vez que é necessário se determinar quais e quando o enfermeiro terá turno de trabalho, uma breve apresentação da biblioteca Gurobi utilizada em Python e “softwares” utilizados para agendamento dos turnos de trabalho.

### 2.1. O problema do escalonamento do corpo técnico

Na literatura, o termo “*Nurse Rostering Problem*”, comumente abreviado para NRP, o termo ‘*rostering*’, escalonamento do inglês, possui diferentes significados, (Wren, 1996) define o escalonamento através do local, sujeito a determinadas restrições e ainda dos recursos alocados em um padrão. Alguns procuram minimizar algum objetivo, ou simplesmente obter uma solução factível.

Segundo TOFFOLO (Gomes, Toffolo, Santos, & Coelho, 2017), a criação de escalas otimizadas de trabalho do corpo técnico em um hospital é uma tarefa altamente complexa e onerosa para as instituições, uma vez que ela toma um precioso tempo, que pode chegar até uma hora diária dos gerentes ou dos enfermeiros chefes. Além disso, a partir de uma escala mal dimensionada, diversos fatores negativos influenciarão a administração, como, contratação excessiva, número insuficiente de profissionais, sobrecarga sobre os funcionários, baixa

qualidade de vida, baixa motivação e baixa qualidade nos serviços de atendimento em um hospital.

O Problema de Escalonamento de Enfermeiros também citado em BURKE et. al. (Burke, Causmaecker, Berghe, & Landeghem, 2004) é estudado a mais de 40 anos por gerentes, pesquisadores operacionais e cientistas computacionais, cujo campo é coberto por orçamento, pessoal e problemas de agendamentos de curto prazo, dessa forma o escalonamento de pessoal é um desafio muito particular em razão das diferentes necessidades do corpo pessoal e das diferentes peculiaridades de cada dia e turno, uma vez que instituições de saúde sempre trabalham correndo contra o tempo. Um turno de trabalho irregular e com extensão do turno pode fazer com que a qualidade de vida dos funcionários seja afetada (Mueller & McCloskey, 1990).

Até recentemente, o problema de escalonamento de turnos era problema resolvido de forma manual nos hospitais, ou até mesmo pelo “*self-scheduling*” (Bailyn, Collins, & Song, 2005), que é uma metodologia onde se coloca a responsabilidade pela criação da escala de trabalho na unidade ou departamento onde os colaboradores trabalham, em oposição ao escalonamento onde o gerente é responsável pelo escala decidindo quem trabalha, onde e quando trabalhará, além disso os turnos disponíveis são divulgados para os colaboradores escolherem e realizarem as trocas entre eles, finalmente o gerente aprova a escala e confirma que não há lacunas vazias.

No “*self-scheduling*” procura-se o benefício de três pontos principais, primeiro, que é o empoderamento do corpo de enfermeiros, aumentando o controle do balanço entre a vida pessoal e a vida profissional, em que é particularmente útil para enfermeiros que tem filhos ou estão estudando. Segundo que é o aumento da previsibilidade e flexibilidade do escalonamento e ao mesmo tempo deixando livre o gerente encarregado para outros trabalhos. Terceiro que é o aumento da comunicação e da interação no meio de trabalho para estimular a construção de uma comunidade cooperativa, ou seja, para que o “*self-schedule*” traga benefícios, é necessário que o corpo de enfermeiros seja participativo em cada aspecto da mudança para se tornar um sucesso.

Na década de 80, o escalonamento manual era a única forma de se aplicar uma escala de trabalho, costumava ser um trabalho em que se consumia muito tempo, e o planejamento não possuía nenhuma ferramenta automatizada para testar a qualidade da escala de trabalho construída. O uso de restrições diretas como tempo de trabalho e tempo ocioso eram recorrentes

no processo, assim muitos hospitais que possuíam sistemas computadorizados de escalonamento não exploravam toda a capacidade de possibilidades possível. Ferramentas de edição para as escalas são comumente usados, porém a geração automatizada das escalas não é comum.

A importância de uma abordagem sistemática para criar uma tabela com as escalas de trabalho é alta, especialmente na área de saúde, uma vez que é inaceitável não atender todas as necessidades e cuidados ao paciente e as necessidades dos funcionários. Abordagens automatizadas possuem grande importância para melhorar processos de criação de tabelas de escalas de trabalho e a qualidade das mesmas, dessa forma abordagens matemáticas ou heurísticas podem facilmente produzir um grande número de soluções, assim eles podem analisar a qualidade das tabelas geradas e tentar dividir o trabalho igualmente entre a força de trabalho. Um dos benefícios mais显著的 da automatização do processo de escalonamento é uma considerável economia de tempo, além do esforço do corpo administrativo. Em um hospital, apesar do objetivo principal da formação da escala de trabalho ser a mesma, os problemas diferem um do outro assim como as abordagens para se solucioná-los.

Em hospital, os colaboradores devem sempre ficar em alerta, não é comum ver as luzes em hospital acessas por todas as 24 horas de um dia, o hospital está sempre aberto 24 horas por dia, 7 dias por semana, e feriados não são exceção, apesar de ocorrer uma diminuição na demanda, além disso como a urgência é sempre máxima, a demanda de profissionais nos hospitais é elevada, por este motivo é necessário que a escala de trabalho seja cumprida e sempre revisada para que nenhuma área, ou paciente, fique desatendido.

Tendo essas premissas em consideração, facilmente percebe-se o tamanho da responsabilidade de montar uma escala de trabalho em um hospital, o que já era uma tarefa complexa e árdua, torna-se ainda mais importante no contexto do hospital, pois como qualquer outro estabelecimento profissional, podem ocorrer faltas com o colaborador impossibilitado de comparecer ao trabalho, forçando ao gerente responsável dispor de um controle das escalas de trabalho para que haja remanejamento de profissionais.

Para que problemas relacionados a poucos profissionais no turno de trabalho ocorram é necessário que a gestão do hospital entenda as escalas, e esteja ciente dos possíveis problemas que podem vir a ocorrer devido a essas nuances, ou seja, o que a legislação permite e ainda o que a nova reforma trabalhista vem a afetar o controle sobre as escalas.

Toda jornada de trabalho deve ser possuir regras e legislação, essa jornada de trabalho deve ser acertado no contrato de trabalho, que é firmado entre o empregador e o empregado, antes do início das atividades, para que a empresa possa dessa forma adotar uma escala de trabalho com revezamento é necessário que a mesma entenda as nuances das regras, com os impactos da legislação e o modos-operandi das cooperativas (centrais sindicais), para assim poder realizar uma escala de trabalho compatível com tais restrições.

A escala de trabalho pode ser definida como o conjunto de todas as jornadas de trabalho dos colaboradores da empresa, assim a escala de trabalho tem como o objetivo a melhoria da produtividade da empresa, sendo assim é necessário que essas escalas atendam as determinações de cada sindicato relacionado.

#### 2.1.1. Legislação Trabalhista

O artigo 67 da CLT (Presidência da República, Decreto-Lei Nº 5.452, de 1º de Maio de 1943, 1943), afirma: “Art. 67 - Será assegurado a todo empregado um descanso semanal de 24 (vinte e quatro) horas consecutivas, o qual, salvo motivo de conveniência pública ou necessidade imperiosa do serviço, deverá coincidir com o domingo, no todo ou em parte.”, dessa forma é imperante que o empregado tenha o descanso semanal de 24 horas, para que a empresa ou órgão público não incorra em violação da lei, porém consta: “Parágrafo único - Nos serviços que exijam trabalho aos domingos, com exceção quanto aos elencos teatrais, será estabelecida escala de revezamento, mensalmente organizada e constando de quadro sujeito à fiscalização.”, ou seja, quando a empresa estiver autorizada a trabalhar no domingo, como é o caso de hospitais e diversas áreas da saúde, que são serviços de necessidade pública, há a abertura dessa regra, de forma que será necessário a adoção de uma escala de trabalho com revezamento.

Ainda de acordo com a CLT, o artigo 385, o descanso semanal deve coincidir com um domingo (e ou feriados) ou em parte nesse dia, mas como já discutido, como o serviço em hospitais é de utilidade pública, podem haver exceções e o descanso semanal cair em outro dia.

Outro fator que deve ser levado em consideração, de acordo com o artigo 386 da CLT (Presidência da República, Decreto-Lei Nº 5.452, de 1º de Maio de 1943, 1943): “Art. 386 - Havendo trabalho aos domingos, será organizada uma escala de revezamento quinzenal, que

favoreça o repouso dominical.”, ou seja, o empregado deve ter pelo menos um descanso a cada quinze dias quando houver trabalho aos domingos.

Entre as escalas utilizadas a mais comum é a escala de trabalho de doze horas por trinta e seis horas (12 x 36), nos locais onde o serviço deve ser realizado em plantão ininterrupto, que é o caso dos hospitais, a escala do tipo doze por trinta e seis é a jornada especial utilizada, onde se trabalham por doze horas e se descansam por trinta e seis horas, na linguagem popular é comum ouvir que os profissionais que realizam esta jornada como: “trabalham durante um dia e folgam no outro”.

Esta jornada especial não era regulamentada antes da reforma trabalhista, ou seja, não havia previsão legal para a mesma, dessa forma com a reforma trabalhista, tal jornada é permitida, desde haja acordo ou convenção coletiva. Esta escala é portanto prevista na Reforma Trabalhista (Presidência da República, LEI Nº 13.467, DE 13 DE JULHO DE 2017., 2017), artigo 59A: “Em exceção ao disposto no art. 59 desta Consolidação, é facultado às partes, mediante acordo individual escrito, convenção coletiva ou acordo coletivo de trabalho, estabelecer horário de trabalho de doze horas seguidas por trinta e seis horas ininterruptas de descanso, observados ou indenizados os intervalos para repouso e alimentação.”

Um ponto positivo a ser vislumbrado nessa situação é a facilidade de controle do posto de trabalho, onde há um maior controle. Sendo assim, os horários mais comuns para esta escala é das 7h às 19h e das 19h às 7h, com o devido respeito dos intervalos inter e intrajornada.

Outro ponto positivo aparece ainda, com o parecer do COFEN, (Presidência do COFEN, 2017), é que a medida implanta uma melhoria na qualidade de vida dos trabalhadores noturnos, como no exemplo que trabalham das 19h às 7h, minimizando os desgaste e tentando mitigar a diminuição do desempenho dos profissionais noturnos, além disso, como a dessincronicidade entre ritmo biológico e a jornada de trabalho afeta os sistemas orgânicos, tal escala visa diminuir fisiopatologias e desorganização do ciclo do sono e vigília, os quais podem se manifestar por meio de insônia, irritabilidade, sonolência de dia, sensação de ressaca e letargia nas reações motoras, gerando problemas de digestão e na secreção de hormônios, com complicações cardiorrespiratórias.

Um detalhe que deve ser observado é a diferenciação do gênero, nos casos do empregado do gênero feminino, a restrição em que a folga dela deve ocorrer a cada quinze dias.

A escala de trabalho cinco por um ( $5 \times 1$ ), é outro tipo de escala utilizado, onde a cada cinco dias trabalhados, haverá uma folga, a jornada de trabalho, porém não deve ultrapassar as sete horas e vinte minutos, havendo uma folga em um domingo a cada sete semanas.

Outra peculiaridade desse tipo de escala é que a existência de um colaborador adicional, denominado “folguista”, na qual este está de folga, assim nesta escala, a cada cinco dias trabalhados, o profissional terá dois dias de folga, que podem ser consecutivos, e a jornada semanal de quarenta e quatro horas é distribuída em cinco dias da semana, com oito horas e quarenta e oito minutos diários de trabalho. Deve ser observado que o trabalho prestado em domingos e feriados e não compensados, devem ser pagos em dobro, sem prejuízo da remuneração relativa ao repouso semanal.

Deve-se observar, portanto, que está escala com folga em um domingo a cada sete semanas deve ser usada com cautela, uma vez que já houve jurisprudência a favor do empregado, quanto a leitura da legislação, considerada que independente do regime, a folga dominical deve ocorrer uma vez a cada quinze dias.

A escala de trabalho seis por um ( $6 \times 1$ ), é uma escala de trabalho em que o profissional deve trabalhar 6 dias consecutivos e descansar 1 dia, as variações na escala são permitidas desde que haja acordo e convenção coletiva, aprovando tal prática. Os empregados que trabalham nos finais de semana devem ter uma folga a cada pelo menos 4 semanas, respeitando a restrição quanto ao gênero que deve ser uma folga quinzenal.

Existem escalas menos comuns que não são normalmente utilizadas nos hospitais, tais escalas são mais comumente empregadas em outros lugares como na força policial.

Na escala de trabalho quatro por dois ( $4 \times 2$ ), o funcionário trabalha por quatro dias consecutivos, em turnos de onze horas e tem dois dias de folga, assim no mês com trinta dias, o empregado trabalha vinte dias e folga em dez deles, trabalhando um total de duzentas e vinte horas, das quais trinta horas são extras.

Na escala de trabalho dezoito por trinta e seis ( $18 \times 36$ ), o funcionário trabalha dezoito horas e folga por trinta e seis horas, como exemplo, se o funcionário trabalha em uma segunda das quatro horas até as vinte e duas horas, ele irá trabalhar na quarta-feira das quatro horas até as vinte e duas horas.

Na escala de trabalho vinte e quatro por quarenta e oito ( $24 \times 48$ ), o funcionário trabalha por vinte e quatro horas e terá direito a quarenta e oito horas de descanso, este modelo é mais

comumente empregado na força policial e nos pontos de pedágio, e o registro da jornada deve ser rígido, podendo ser manual, eletrônico ou biométrico.

## 2.2. O problema de dimensionamento do agendamento da escala de trabalho para enfermeiros

O problema do escalonamento de enfermeiros em especial pode ser descrito por uma visão enfermeiro-dia, enfermeiro-tarefa ou até mesmo uma visão do padrão enfermeiro-turno segundo (Cheang, Li, Lim, & Rodrigues, 2003). Assim as alocações são indexadas para cada enfermeiro e dia para uma visão enfermeiro-dia. Isto permite uma solução ser representada diretamente por uma matriz onde cada célula  $m_{ij}$  contém um conjunto de turnos (manhã, tarde e noite) e especialidade (enfermeiro-chefe, enfermeiro, estagiário e cuidador) para um dado enfermeiro  $i$  no dia  $j$ .

| Segunda | Terça               | Quarta              | Quinta | Sexta | Fim de semana       |                     | Segunda | Terça | Quarta            | Q      |
|---------|---------------------|---------------------|--------|-------|---------------------|---------------------|---------|-------|-------------------|--------|
|         |                     |                     |        |       | Sábado              | Domingo             |         |       |                   |        |
|         | Tarde<br>Enfermeiro | Tarde<br>Enfermeiro |        |       | Manhã<br>Enfermeiro | Manhã<br>Enfermeiro |         |       | Noite<br>Cuidador | N<br>C |

Figura 01 - Visão de alocação enfermeiro-dia

Fonte: (Gomes, Toffolo, Santos, & Coelho, 2017)

A visão enfermeiro-tarefa indexa cada variável decisão para cada enfermeiro e tarefa realizada durante o período de escala. Estas variáveis assumem o valor 1 quando o enfermeiro é alocado para uma certa tarefa e 0, caso contrário. Um levantamento bibliográfico de modelos e metodologias para resolver o NRP é apresentado por (Cheang, Li, Lim, & Rodrigues, 2003).

A resolução do problema apresentada no INRC-II, e resolvidas por (Gomes, Toffolo, Santos, & Coelho, 2017), utiliza as restrições do INRC-II, nas quais há três restrições fortes, que devem ser obrigatoriamente atendidas: (i) uma enfermeiro pode trabalhar no máximo um turno por dia; (ii) determinadas sequências de alocações de turnos não são permitidas; e (iii) dias e turnos possuem demandas associadas para diferentes enfermeiros com diferentes especialidades, de forma que os enfermeiros que atendem as especialidades exigidas podem ser alocados, além disso há uma demanda mínima de enfermeiros por dia, turno e especialidade também especificadas.

A soluções devem ser avaliadas segundo um custo de violação de sete restrições fracas presentes no problema: (i) quantidade insuficiente de equipe para a cobertura ótima; (ii) número mínimo/máximo de alocações consecutivas; (iii) número mínimo/máximo de folgas consecutivas; (iv) não atendimento das preferências solicitadas pela enfermeiro; (v) finais de semana incompletos; (vi) número mínimo/máximo de alocações totais; e (vii) número mínimo/máximo de finais de semana trabalhados.

Como observado em (Gomes, Toffolo, Santos, & Coelho, 2017), a resolução apresentada utiliza técnicas de programação linear inteira combinadas com métodos heurísticos e geração de colunas para otimizar o problema, nela o resolvedor recebe dados de entrada do problema, otimiza a escala e retorna a solução.

Para a formulação implementada no resolvedor, contém um grande número de variáveis, assim a relaxação desse problema é resolvida pela técnica de geração de colunas proposta por (Dantzig & Wolfe, 1960) fornece limites inferiores e superiores.

Em relação as variáveis, são utilizadas as variáveis dadas na tabela a seguir:

Tabela 01 - Variáveis utilizadas na programação de Gomes & Toffolo

| Variável       | Correspondente em inglês | Significado  |
|----------------|--------------------------|--|
| N              | “Nurse”                  | Enfermeiro   |
| D              | “Day”                    | Dia  |
| S              | “Shift”                  | Turno  |
| $K_n$          |                          | Especialidade  |
| $\Omega_n$     |                          | Conjunto de todas os possíveis padrões de alocações para enfermeiro $n$  |
| $\lambda_{np}$ |                          | Indica a alocação $p$ contida em $\Omega_n$ (selecionada para enfermeiro $n$ ) na qual o valor $\lambda_{np} = 1$ é alocado e $\lambda_{np} = 0$ é não alocado |
| $v_{dsk}$      |                          | Mede a diferença entre a alocação mínima necessária e o número de enfermeiros alocadas no dia $d$ e turno $s$ com especialidade $k$ .                          |

Fonte: (Gomes, Toffolo, Santos, & Coelho, 2017)

Com esses conceitos a função objetivo é apresentada pela seguinte formulação:

$$\text{Minimizar: } z = \sum_{n \in N} \sum_{p \in \Omega_n} c_{np} \cdot \lambda_{np} + \sum_{d \in D} \sum_{s \in S} \sum_{k \in K} w \cdot v_{dsk} \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{p \in \Omega_n} \lambda_{np} = 1 \quad \forall n \in N \quad (2)$$

$$\sum_{p \in \Omega_n} \alpha_{npdsk} \cdot \lambda_{np} - x_{ndsk} = 0 \quad \forall n \in N, d \in D, s \in S, k \in K_n \quad (3)$$

$$v_{dsk} - (r_{dsk}^* - r_{dsk}^-) \leq 0 \quad \forall d \in D, s \in S, k \in K_n \quad (4)$$

$$\sum_{n \in N} x_{ndsk} + v_{dsk} - r_{dsk}^* = 0 \quad \forall d \in D, s \in S, k \in K_n \quad (5)$$

A Função Objetivo (1) minimiza todas as violações das restrições fracas através das variáveis  $\lambda_{np}$  e custos  $c_{np}$ . As variáveis  $v_{dsk}$  são penalizadas pelo peso  $w$  para cada unidade abaixo da cobertura ótima. Restrições (2) requerem a seleção de exatamente um padrão para cada enfermeiro. Restrições (3) garantem que a variável  $x$  seja ativada somente se um padrão no qual a respectiva alocação existente esteja ativa. Finalmente, Restrições (4) e (5) medem o quanto bem satisfeitas estão as demandas mínimas e ótimas, onde  $r_{dsk}^-$  e  $r_{dsk}^*$  representam o mínimo e ótimo e número de enfermeiros necessários no dia  $d$ , turno  $s$  e especialidade  $k$ , respectivamente.

### 2.3. Dimensionamento do corpo de enfermagem

Segundo (Gaidzinski, 1991), o dimensionamento de pessoal de enfermagem é um processo sistemático que tem por finalidade a previsão da quantidade e qualidade por categoria (Enfermeiro, Técnico e Auxiliar de Enfermagem) requerida para atender, direta ou indiretamente, às necessidades de assistência e enfermagem da clientela.

Além disso o sistema de dimensionamento é um instrumento da administração, com conhecimento voltado para a função gerencial atendendo as responsabilidade legal do enfermeiro de forma que a autonomia do enfermeiro nas unidades assistenciais para dimensionar e gerenciar o quadro de profissionais de enfermagem seja garantida, seguindo a resolução (COFEN, Resolução 293/2004, 2004).

O não atendimento a um adequado gerenciamento na dimensão do pessoal de enfermagem pode gerar um subdimensionamento da escala de pessoal, diminuindo as despesas imediatas e aumentando o risco para os clientes e gerando implicações legais à instituição, além disso a imaturidade gerencial pode fazer com que ocorra aumento na desqualificação profissional, uma vez que profissionais adequados para cada ocasião podem não ser alocados de forma satisfatória.

Ainda em relação ao subdimensionamento, os profissionais podem acabar sofrendo de sobrecarga de trabalho, diminuindo a eficácia e a qualidade do trabalho, aumentando o tempo de internação do paciente e gerando um aumento no custo do tratamento, finalmente, o aumento no tempo de internação aumenta o risco de infecções hospitalares.

O gerenciamento de pessoal de enfermagem possui dois pilares, a quantificação dos trabalhadores de enfermagem e a qualificação dos profissionais de enfermagem, esses dois pilares irão garantir a qualidade da assistência de enfermagem, como descrito em (RogenskiI, FugulinII, GaidzinskiIII, & Rogenski, 2011), de forma que o dimensionamento de pessoal possui como estratégias de gestão a diminuição dos custos, a melhoria da qualidade e satisfação dos clientes.

O COFEN, criou algumas resoluções a serem seguidas com esse intuito, entre elas podemos citar a (COFEN, Resolução 189/1996, 1996), que tem como princípio a regulamentação das unidades de medida e as horas de enfermagem por leito ocupado e a já

citada, (COFEN, Resolução 293/2004, 2004), que tem como mudança principal o aumento do número de horas de assistência de enfermagem por nível de complexidade e por leito.

Assim a Resolução 293/2004, cria norma técnicas mínimas para orientar gestores e gerentes das instituições de saúde no planejamento, programação e priorização das ações de saúde a serem desenvolvidas. Esses parâmetros podem sofrer adequações regionais locais de acordo com realidades epidemiológicas e financeiras, essas adequações podem ser justificadas e aprovadas pelos respectivos COREN e referendados ao COFEN.

O dimensionamento deve-se basear em características da instituição, características do serviço de enfermagem e características da clientela, o referencial mínimo deve considerar nas 24h seguintes a internação, o (SCP), sendo tipicamente classificado pela escala de Fugulin, das horas de assistência de enfermagem, dos turnos e da proporção funcionário por leito.

O SCP, tem como primeiros registros os tempos de Florence Nightngale (1820), em Florença, o SCP passou a ser desenvolvido nos Estados Unidos na década de 1930 no hospitais de forma ampla, já no Brasil, o SCP foi introduzido e amplamente incorporado como critério essencial para dimensionar pessoal de enfermagem em 1972, o SCP é um método capaz de determinar, validar e monitorar o cuidado individualizado.

Os dados obtidos pelo SCP subsidiam a alocação de pessoal de enfermagem, o planejamento de custos da assistência e a manutenção de padrões de qualidade, sendo esperado a manutenção ou melhoria da qualidade do atendimento e da qualidade da saúde ao paciente, com isso em mente pode-se dizer que as funções do SCP é agrupar os pacientes por complexidade assistencial, distribuição dos leitos para atendimento por grupos de pacientes, realocação de materiais e recursos humanos, detalhamento da dinâmica operacional do sistema e reorientação da equipe envolvida no processo assistencial.

De acordo com o (COFEN, Resolução 543/2017 Completa - Diário Oficial da União, versão digital, 2017), o dimensionamento do quantitativo de profissionais para os serviços e locais que são realizadas as atividades de enfermagem deve se basear em características relativas como descrito no artigo 2 da resolução e das relações de proporções entre profissional e paciente constantes no artigo 3, os quais cabe destacar, as horas de enfermagem mínimo, por paciente, nas 24 horas de funcionamento da unidade de saúde, como:

1. Cuidado mínimo, necessários 4 horas de enfermagem por paciente;
2. Cuidado intermediários, necessários 6 horas de enfermagem por paciente;
3. Cuidado de alta dependência, necessários 10 horas de enfermagem por paciente;

4. Cuidado semi-intensivo, necessários 10 horas de enfermagem por paciente;
5. Cuidado intensivo, necessários 18 horas de enfermagem por paciente.

A alocação dos enfermeiros deve além das horas mínimas consideradas, levar em consideração a distribuição percentual do total de profissionais de enfermagem e a proporção profissional por paciente. O sistema de classificação de pacientes, SCP, deve seguir as proporções mínimas de:

1. Para cuidado mínimo e intermediário: 33% são enfermeiros (mínimo de seis) e os demais auxiliares e/ou técnicos de enfermagem;
2. Para cuidado de alta dependência: 36% são enfermeiros e os demais técnicos e/ou auxiliares de enfermagem;
3. Para cuidado semi-intensivo: 42% são enfermeiros e os demais técnicos de enfermagem;
4. Para cuidado intensivo: 52% são enfermeiros e os demais técnicos de enfermagem.

Em seguida a proporção profissional por paciente deve ser de:

1. Cuidado mínimo: 1 profissional de enfermagem para 6 pacientes;
2. Cuidado intermediário: 1 profissional de enfermagem para 4 pacientes;
3. Cuidado de alta dependência: 1 profissional de enfermagem para 2,4;
4. Cuidado semi-intensivo: 1 profissional de enfermagem para 2,4;
5. Cuidado intensivo: 1 profissional de enfermagem para 1,33.

A distribuição de profissionais por categoria deve seguir o grupo de pacientes que apresentar maior carga de trabalho.

#### 2.4. Escala de Fugulin

De acordo com (EBSERH, 2017), a Escala de Fugulin tem como principal intuito a classificação do paciente em relação ao grau de dependência em relação a enfermagem, assim de forma simplificada, de acordo com a gravidade do tratamento do paciente, ou necessidade do mesmo em relação a enfermagem, o grau da escala de Fugulin é maior quanto mais intensa é a necessidade do paciente.

Tal escala que foi criada em 1994 pela enfermeira brasileira professora doutora Fernanda Maria Togheiro Fugulin, possuía 9 fatores a serem observados, o qual deve haver uma

pontuação de 1 a 4 para cada fator, atualmente a escala utilizada possui 12 fatores a serem observados.

A aplicação do método da Escala de Fugulin, o enfermeiro, em cada turno (matutino, vespertino e noturno) deve realizar um preenchimento da escala. Assim a escala deve ser aplicada a cada 24 horas pelo enfermeiro(a) chefe de cada departamento a fim de redimensionar a distribuição dos enfermeiros a fim de equalizar o nível de atendimento pelo corpo de enfermeiros.

É importante salientar que durante o preenchimento da escala de Fugulin, apenas uma opção deve ser assinalada para cada item, na tabela a seguir, estão relacionadas o tipo de cuidado com a pontuação obtida.

Tabela 02 - Complexidade Assistencial

| Tipo de cuidado             | Pontuação   |
|-----------------------------|-------------|
| Cuidado Intensivo           | Acima de 34 |
| Cuidado Semi-Intensivo      | 29 a 34     |
| Cuidado de alta dependência | 23 a 28     |
| Cuidado Intermediário       | 18 a 22     |
| Cuidado Mínimo              | 12 a 17     |

Fonte: (Fernanda Maria Togueiro Fugulin, 2005)

A próxima tabela contém as análises a serem feitas pelo enfermeiro em relação ao paciente.

A relação entre o tipo de análise e a sua respectiva pontuação deve ser feito seguindo a análise para cada caso dado a seguir:

1. Análise do estado mental do paciente:

- 1.1. O paciente está inconsciente, pontuação a ser dada é 4;
- 1.2. O paciente está com períodos de inconsciência, pontuação a ser dada é 3;
- 1.3. O paciente está com períodos de desorientação, pontuação a ser dada é 2;
- 1.4. O paciente está orientado no tempo e espaço, pontuação a ser dada é 1;

2. Análise da oxigenação do paciente:

- 2.1. O paciente necessita de ventilação mecânica, pontuação a ser dada é 4;

- 2.2. Uso contínuo de máscara ou cateter de oxigênio, pontuação a ser dada é 3;
  - 2.3. Uso intermitente de máscara ou cateter de oxigênio, pontuação a ser dada é 2;
  - 2.4. Não depende de oxigênio, pontuação a ser dada é 1;
3. Checagem intervalada de sinais vitais:
- 3.1. Controle de 2 em 2 horas, pontuação a ser dada é 4;
  - 3.2. Controle de 4 em 4 horas, pontuação a ser dada é 3;
  - 3.3. Controle de 6 em 6 horas, pontuação a ser dada é 2;
  - 3.4. Controle de rotina, pontuação a ser dada é 1;
4. Checar o nível de Motilidade:
- 4.1. Incapaz de movimentar qualquer segmento corporal, movimentação pela enfermagem, pontuação a ser dada é 4;
  - 4.2. Dificuldade para movimentar segmentos corporais, movimentação com auxílio da enfermagem, pontuação a ser dada é 3;
  - 4.3. Limitação de movimentos, pontuação a ser dada é 2;
  - 4.4. Movimenta todos os segmentos corporais, pontuação a ser dada é 1;
5. Checar o nível de Deambulação:
- 5.1. Restrito ao leito; pontuação a ser dada é 4;
  - 5.2. Locomoção através de cadeira de rodas, pontuação a ser dada é 3;
  - 5.3. Auxílio para deambular, pontuação a ser dada é 2;
  - 5.4. Deambula sozinho, pontuação a ser dada é 1;
6. Checar a necessidade de assistência a alimentação:
- 6.1. Através de cateter central, pontuação a ser dada é 4;
  - 6.2. Através de cateter enteral, pontuação a ser dada é 3;
  - 6.3. Oral com auxílio, pontuação a ser dada é 2;
  - 6.4. Autossuficiente, pontuação a ser dada é 1;
7. Checar a necessidade de assistência a cuidado corporal e higiene:
- 7.1. Banho no leito e higiene oral pela enfermagem, pontuação a ser dada é 4;
  - 7.2. Banho no chuveiro e higiene oral pela enfermagem, pontuação a ser dada é 3;
  - 7.3. Banho no chuveiro e higiene oral auxiliado pela enfermagem, pontuação a ser dada é 2;
- 7.4. Autossuficiente, pontuação a ser dada é 1;
8. Checar a necessidade de auxílio a eliminação:
- 8.1. Evacuação no leito e uso de CVD, pontuação a ser dada é 4;
  - 8.2. Uso de comadre ou eliminação no leito, pontuação a ser dada é 3;

- 8.3. Uso de vaso sanitário com auxílio, pontuação a ser dada é 2;
- 8.4. Autossuficiente, pontuação a ser dada é 1;
9. Auxílio terapêutico:
  - 9.1. Uso de drogas vasoativas para manutenção da PA, pontuação a ser dada é 4;
  - 9.2. EV contínuo ou através de cateter, pontuação a ser dada é 3;
  - 9.3. EV intermitente, pontuação a ser dada é 2;
  - 9.4. IM ou VO, pontuação a ser dada é 1;
10. Verificação da Integridade Cutaneomucosa/ Comprometimento tecidual
  - 10.1. Presença de solução de continuidade da pele com destruição da derme, epiderme e/ou evisceração, pontuação a ser dada é 4;
  - 10.2. Presença de solução de continuidade da pele envolvendo tecido subcutâneo e músculo. Cirurgia, ostomia, drenos..., pontuação a ser dada é 3;
  - 10.3. Alteração da cor da pele, pontuação a ser dada é 2;
  - 10.4. Pele íntegra, pontuação a ser dada é 1;
11. Necessidade de aplicação de Curativo:
  - 11.1. 3 vezes ao dia pela enfermagem, pontuação a ser dada é 4;
  - 11.2. 2 vezes ao dia pela enfermagem, pontuação a ser dada é 3;
  - 11.3. 1 vez ao dia pela enfermagem, pontuação a ser dada é 2;
  - 11.4. Sem curativo, pontuação a ser dada é 1;
12. Tempo utilizado no curativo:
  - 12.1. Superior a 30 minutos, pontuação a ser dada é 4;
  - 12.2. Entre 15 e 30 minutos, pontuação a ser dada é 3;
  - 12.3. Entre 5 e 15 minutos, pontuação a ser dada é 2;
  - 12.4. Sem curativo, pontuação a ser dada é 1;

Para se realizar a organização dos dados obtidos ou a serem obtidos, o layout comum a ser utilizado é mostrado na figura a seguir:

Tabela 03 - Exemplo de cálculo de complexidade pela escala de Fugulin

| Unidade de Atendimento                                     | Cirúrgica       |    |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--|-----------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Data   |                 |    |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 14/10/2019   | Leito Observado |    |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Número de Leitos   | 153             |    |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Área de Cuidado  | 1               | 2  | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  |
| 1) Estado Mental   | 4               | 3  | 3   | 2   | 2   | 3   | 4   | 4   | 3   | 2   |
| 2) Oxigenação  | 2               | 3  | 3   | 2   | 1   | 1   | 3   | 3   | 3   | 4   |
| 3 ) Sinais Vitais  | 3               | 4  | 1   | 4   | 3   | 1   | 2   | 3   | 1   | 1   |
| 4) Motilidade  | 2               | 4  | 4   | 4   | 1   | 1   | 1   | 3   | 3   | 1   |
| 5) Deambulação   | 1               | 4  | 1   | 4   | 1   | 4   | 2   | 4   | 4   | 3   |
| 6) Alimentação   | 4               | 2  | 1   | 2   | 4   | 4   | 4   | 4   | 1   | 2   |
| 7) Cuidado Corporal  | 4               | 3  | 1   | 2   | 2   | 2   | 4   | 1   | 4   | 3   |
| 8) Eliminação  | 3               | 3  | 4   | 3   | 1   | 3   | 3   | 2   | 1   | 4   |
| 9) Terapêutica   | 4               | 3  | 2   | 1   | 3   | 2   | 1   | 1   | 3   | 3   |
| 10) Integridade Cutaneomucosa/<br>Comprometimento tecidual | 2               | 3  | 4   | 1   | 4   | 1   | 4   | 3   | 4   | 4   |
| 11) Curativo   | 3               | 4  | 1   | 1   | 3   | 2   | 2   | 2   | 3   | 1   |
| 12) Tempo Utilizado no curativo                            | 4               | 3  | 2   | 3   | 4   | 3   | 1   | 1   | 4   | 3   |
| Total  | 36              | 39 | 27  | 29  | 29  | 27  | 31  | 31  | 34  | 31  |
| Tipo de Cuidado  | CI              | CI | CAD | CSI | CSI | CAD | CSI | CSI | CSI | CSI |

Fonte: O autor

Para obtenção da Escala de Fugulin, portanto, deve-se realizar o somatório dos escores para obtenção do tipo de cuidado.

Tabela 04 - Horas de Assistência de enfermagem (HE)

| Tipo de Assistência   | nº HE/cliente/24h |
|-----------------------|-------------------|
| Mínima ou Autocuidado | 3,8               |
| Intermediária         | 5,6               |
| Alta Dependência      | 9,4               |
| Semi-Intensiva        | 9,4               |
| Intensiva             | 17,9              |

Fonte: (Fernanda Maria Togueiro Fugulin, 2005)

## 2.5. Cálculo de Pessoal

Para o cálculo de pessoal de enfermagem, utiliza-se o cálculo de pessoal de enfermagem simplificado, para tanto é necessário se definir a Taxa de Ocupação, que é a média diária de pacientes/categorias de cuidado, que é calculado pela equação:

$$QP = \frac{TO * HE * DS}{JST} * (1 + IST) \quad (6)$$

Onde:

- QP = Quadro de Pessoal
- TO = Taxa de Ocupação
- HE = Horas de Enfermagem
- DS = dias da semana
- IST = índice de segurança técnica
- JST = jornada semanal de trabalho

Para o cálculo do IST é considerado uma taxa de segurança mínima de 15%, que é determinada empiricamente, sendo:

$$IST = TB + TA \quad (7)$$

Onde:

- TA = Taxa de absenteísmo
- TB = Taxa de ausências por benefícios

Empiricamente, a TB é entorno de 8,33% e TA em torno de 6,67%, deve-se, porém, se tomar cuidado, pois eventuais desvios podem ocorrer e o cálculo desses valores deve ser pontualmente revisado.

Assim, para acompanhamento e revisão pontual da TA, deve-se usar a seguinte equação:

$$TA = \frac{500[(6FM1) + (8FM) + (12FP)]}{JST * TF * TD} \quad (8)$$

Onde:

- FM1 = faltas de 6 horas
- FM = faltas de 8 horas
- FP = faltas de 12 horas
- JST = Jornada Semanal de Trabalho
- TF = Total de funcionários atuantes no período de apuração
- TD = Total de dias úteis no período de apuração

E para acompanhamento e revisão do cálculo de ausências por benefícios (TB), deve-se usar a seguinte equação:

$$TB = \frac{TDUA}{TD * TF} * 100 \quad (9)$$

Onde:

- TDUA = Total de Dias Úteis de Ausência
- TF = Total de Funcionários atuantes no período de apuração
- TD = Total de Dias úteis no período de apuração.

É necessário se observar que o COFEN exige que relatórios de alocação devem ser emitidos periodicamente para que haja controle, de forma que o hospital esteja cumprindo a legislação e a resoluções do próprio COFEN, sendo o hospital passível de multa em caso de desenquadramento das regras estabelecidas.

Segundo a (COFEN, Resolução 293/2004, 2004), a porcentagem de enfermeiros na equipe de enfermagem deve seguir a seguinte tabela:

Tabela 05 - Percentual de enfermeiros na equipe de enfermagem

| Tipo de Assistência    | Enfermeiros/total de equipe (%)              |
|------------------------|--|
| Mínima e Intermediária | 33% a 37%<br>(sendo no mínimo 6 enfermeiros) |
| Semi-intensiva         | 42% a 46%                                    |
| Intensiva              | 52% a 56%<br>(os demais devem ser técnicos)  |

Fonte: (Fernanda Maria Togueiro Fugulin, 2005)

Deve-se além disso dar preferência ao grupo de pacientes de maior prevalência ou maior gravidade.

Pacientes especiais ou com quadro psiquiátrico, com intercorrência clínica ou cirúrgica associada, devem ser classificados um nível acima no SCP, iniciando-se com cuidados intermediários.

Para pacientes e unidade de internação em pediatria, sem acompanhante, com menos de seis anos devem ser classificados como cuidados intermediários.

Pacientes com cuidados intensivos devem ser assistidos em unidade com infraestrutura adequada e especializada para este fim.

Pacientes com idade maior que 60 anos e com quadro crônico, sem acompanhante classificados pelo SCP com demanda de assistência intermediária ou semi-intensiva deverá ser acrescido de 0,5 à Horas de Enfermagem.

É possível calcular o Quadro de Pessoal, utilizando-se a Constante de Marinho, cujo cálculo é feito conforme equação a seguir:

$$K_M = \frac{DS}{JST} * (1 + IST) = \frac{7}{JST} * (1 + IST) = \frac{7 * (1 + IST)}{JST} \quad (10)$$

Onde:

-  $K_M$  = Constante de Marinho (coeficiente deduzido em função de DS, da JST e do IST)

- DS = Dias da Semana

- JST = Jornada Semanal de Trabalho (em horas)

- IST = Índice de Segurança Técnica.

O Total de horas de enfermagem é calculado utilizando o número de horas de enfermagem da tabela 4:

$$THE = PCM * 3,8 + PCI * 5,6 + PCAD * 9,4 + PCSI * 9,4 + PCIt * 17,9 \quad (11)$$

Onde:

- THE = Total de Horas de Enfermagem
- PCM = quantidade de Paciente de Cuidados Mínimos
- PCI = quantidade de Paciente de Cuidados Intermediários
- PCSI = quantidade de Paciente de Cuidados Semi-Intensivos
- PCIt = quantidade de Paciente de Cuidados Intensivos

Assim com a constante de marinho e o Total de Horas de Enfermagem, obtém-se o total de Quadro de Pessoal:

$$QP = K_M * THE \quad (12)$$

## 2.6. Os níveis de criticidade das unidades do hospital

Segundo (Joint Commission Resources, 2008), a utilização de ferramentas para avaliação da unidade de atendimento é usada para determinar a competência das unidades de todo o hospital, não apenas de pronto-socorro, a utilização de dados em tempo real é utilizada para verificar se a unidade pode aceitar pacientes adicionais sem riscos para a segurança ou causar problemas para os profissionais, conta-se a história de Luther Midelfort, hospital localizado em Wisconsin, em que na busca para melhorar o fluxo de pacientes, desenvolveu-se e utiliza-se uma ferramenta onde os enfermeiros têm autonomia para barrar novas admissões de pacientes, a ferramenta baseia-se nos semáforos, onde a avaliação da capacidade da unidade e também uma estipulação da carga de trabalho é graduada nessas cores, buscando facilitar a verificação da demanda e oferta da atividade do hospital, redistribuindo os recursos quando há diferentes necessidades dentro das unidades do hospital, assim o fechamento é feito pelo enfermeiro responsável quando a unidade não pode mais aceitar pacientes, as variáveis que devem ser observadas para ajudar nessa decisão são: 1) o número de enfermeiros disponíveis, 2) leitos disponíveis, 3) experiência dos enfermeiros, 4) gravidade do paciente, há outros fatores que podem influenciar o atendimento como a equipe administrativa, os técnicos de enfermagem,

etc., além do enfermeiro responsável, coordenadores de equipe e diretor médico tem essa autonomia para não aceitar mais pacientes, finalmente, nos fins de semana ou fora do turno, o fechamento é feito pelo médico de plantão. Dessa forma pode-se classificar como nível:

1. Vermelho (pare): a unidade está trabalhando no nível de atendimento máximo e não tem capacidade de atender mais pacientes sem arriscar a segurança dos pacientes ou esgotar os profissionais.
2. Laranja (advertência final): a unidade está trabalhando um pouco abaixo do nível funcional máximo, esta cor é uma cor de transição que indica advertência de que o nível limite está para ser alcançado se recursos adicionais não forem disponibilizados, ou seja, para não se atingir o nível vermelho, pode-se aumentar a quantidade de recursos para não atingir o nível vermelho. Em algumas instituições esse nível não é utilizado, sendo utilizados apenas o nível verde, amarelo e vermelho.
3. Amarelo (advertência inicial): a unidade está operando acima dos oitenta e cinco porcento (85%) da capacidade, sendo possível ainda aceitar pacientes, porém com recursos limitados, o cuidado ainda está aceitável, mas a administração deve monitorar com mais cuidado quaisquer mudanças, sendo necessário cautela na admissão dos pacientes.
4. Verde (siga): a unidade está trabalhando abaixo dos 85% de sua capacidade máxima avaliada, com nível de cuidado aos pacientes aceitável e podendo ser admitidos pacientes caso haja leitos disponíveis.

## 2.7. Programação Linear Inteira

O método para a resolução do problema será a Programação Linear Inteira, na qual o problema é um problema de otimização na qual se busca uma solução factível através de uma função objetivo, na qual a função objetivo e as restrições são todas lineares.

Segundo (Winston, 2004), a programação linear (Linear Programming, LP) é uma ferramenta para encontrar a solução de problemas otimizados, o método foi desenvolvido em 1947 por George Dantzig, através do algoritmo simplex é possível resolver a LP, desde a criação deste método a LP é utilizado para resolver problemas em diversas indústrias como bancos, educação, petróleo e logística. Ainda de acordo com a revista Fortune, uma pesquisa com 500 empresas, 85% delas utilizam LP.

Assim, como os problemas tratados neste trabalho necessitam de diversas variáveis com valor inteiro, muitas delas binárias, o a PLI será utilizada em conjunto com uma linguagem de alto nível como o Python e o módulo Gurobi em (Gurobi Optimization, 2019).

## 2.8. Gurobi

Gurobi (Gurobi Optimization, 2019) é uma biblioteca de recursos fornecida pela Gurobi Optimization, possuindo uma versão paga e uma versão acadêmica que é disponibilizada para fins acadêmicos sem custos. Ela fornece uma interface que se comunica com outras linguagens como C++, Java, MatLab e Python que é o recurso utilizado por este trabalho. A versatilidade do Gurobi com outras linguagens não é o único fator positivo, ele é versátil na programação, uma vez que a forma de declaração das variáveis é personalizável de acordo com a necessidade do usuário.

A figura a seguir mostra como a biblioteca do Gurobi é versátil, uma vez que permite ao usuário escolher a interface de programação que é mais confortável para o usuário programar, sendo realizada a conversão dos comandos por uma API em C, tal escolha deve-se ao fato de que a linguagem C ser uma linguagem imperativa e procedural para implementação de sistemas, fornecendo acesso irrestrito a memória e sendo necessários baixos requisitos de hardware, além disso a linguagem foi desenvolvida para ser uma linguagem de alto nível.

A API em C realiza a conversão dos comandos na linguagem escolhida criando e salvando um modelo (através de um arquivo nome dado de ‘model.lp’), o modelo é usado com os algoritmos da biblioteca Gurobi fornecendo então uma solução para o problema.

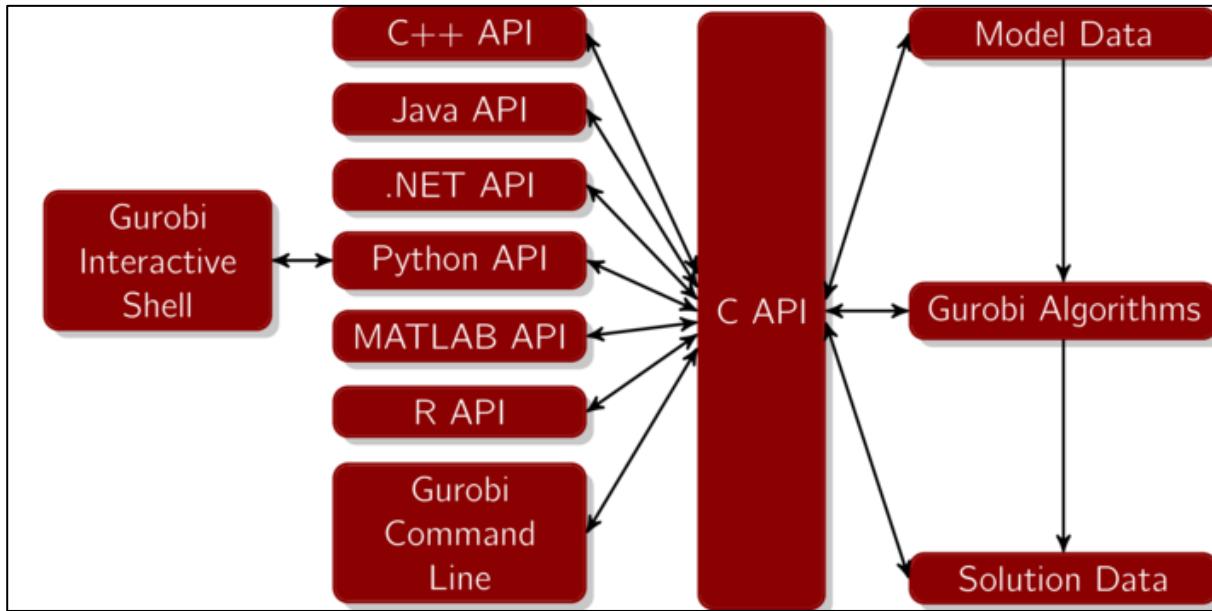


Figura 02 - API Gurobi

Fonte: Gurobi

Além disso a biblioteca inclui algoritmos de resolução por “*simplex*”, “*parallel barrier*” e “*parallel branch-and-cut*”, ele está disponível nos sistemas operacionais Windows, Linux e Mac.

Os produtos da Gurobi Optimization são utilizados pelos principais players da atualidade como Microsoft, Google, Toyota, AT&T, AirFrance entre outros.

Através da codificação em Python e utilização do Gurobi é possível encontrar soluções para os Problemas de Programação Linear Inteira que é contemplado nesse trabalho, nele podemos declarar a função objetivo, as variáveis e restrições de modo a garantir que a solução encontrada seja a de fato procurada, além disso é possível estipular uma trava de tempo na procura de soluções e além disso uma diferença aceitável entre a última solução encontrada e a solução ótima, fornecendo soluções aceitáveis dentro da gama de soluções para os PPLI.

## 2.9. Software SISQUAL

Um dos softwares indicados durante a pesquisa de mercado, foi o software da empresa SISQUAL, que oferece soluções para a área de saúde, oferecendo soluções de planejamento e dimensionamento, gestão de operações, processamento de salários, indicadores de negócio e

simulador de ROI, no que tange os módulos contidos na seção planejamento e dimensionamento possuem aplicações para a previsão de demanda (“SISQUAL *forecast*”), contagem do fluxo de pessoas (“*people counting*”) e a montagem da escala de trabalho (“SISQUAL *schedule generator*”).

Na página da empresa é possível se observar que a empresa tem o enfoque no desenvolvimento de softwares na área de varejo alimentar, varejo especializado, saúde, vigilância e limpeza, turismo e restauração, utilitários, “*call centers*”, manufatura e transportes.

Indo a seção “*schedule generator*”, a empresa descreve a aplicação como uma solução de geração automática de escalas, de forma a cobrir a combinação de uma curva de mínimos por loja, por departamento e por local, com curva de valores estimados. São características do programa (conforme descrito no site da empresa):

1. Definição do ciclo de folgas de forma a garantir melhor qualidade de vida;
2. Parâmetros legais como:
  - 2.1. Número de horas de trabalho máximo
  - 2.2. Número de horas de descanso entre turnos ou entre turnos com folga no meio;
  - 2.3. Número de horas máximo semanal;
  - 2.4. Etc.
3. Definição da disponibilidade do colaborador;
4. Definição da preferência do colaborador;
5. Parâmetro para os horários a utilizar por colaborador:
  - 5.1. Lista de horários disponíveis;
  - 5.2. Ciclo de mudança de horários (exemplos):
    - 5.2.1. Alternar entre abertura e fecho por cada N semanas (ou mês, ou ano);
    - 5.2.2. Alternar entre abertura, fechamento e intermédio por cada N blocos de folgas.

Lista de horários por tipo (abertura, fechamento, ...);
  - 5.3. Lista de horários por tipo (abertura, fechamento)
  - 5.4. Indicador de amplitude do período de refeição;
  - 5.5. Indicador de amplitude de peso do horário (6 a 10 horas);
6. Definir a amplitude de utilização do banco de horas
7. Definição por setor e por colaborador e entre datas.

Ao se observar a descrição disponível no site da empresa, é possível se extrair como informação algumas regras do algoritmo proprietário:

1. Aplicar os horários dentro da gama definida do contrato, tentando colocar o saldo do banco de horas a zero, exceto se tiver definido na amplitude de utilização do banco de horas;
2. Segue sempre a mesma lógica influenciada pelos parâmetros definidos; permitindo o utilizador influenciar o algoritmo e gerando uma escala mais próxima do pretendido.

O programa SISQUAL foi indicado como um dos programas utilizados na programação do escalonamento de enfermeiros durante a entrevista com a enfermeira-chefe, como uma opção, a aplicação, porém é uma opção paga, o que aumentaria os custos para o hospital.

A interface apresentada pela SISQUAL é apresentada na figura a seguir:

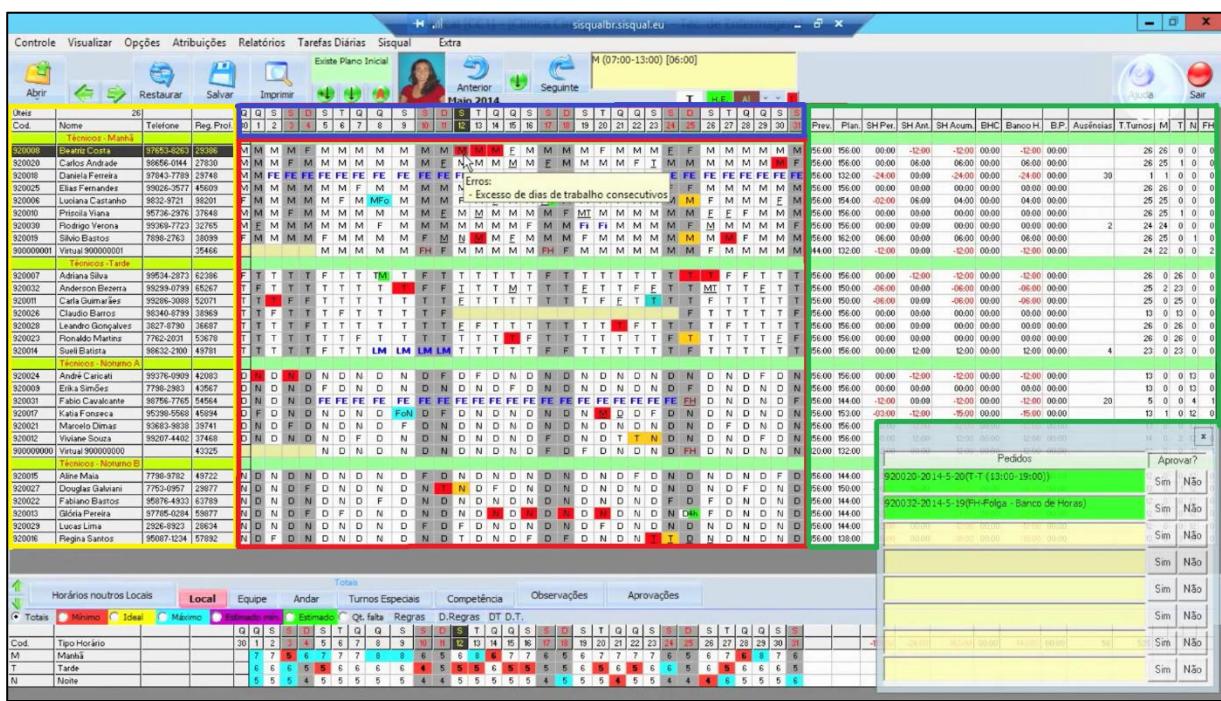


Figura 03 - Interface da aplicação SISQUAL

Fonte: Adaptado do site da empresa

Nela podemos observar a área referente ao colaborador, destacado em amarelo, os dias do mês e dias da semana, destacado em azul, as alocações em cada dia em turnos manhã, tarde e noite, destacado em vermelho, além das folgas e ainda o número de horas trabalhadas pelo colaborador, destacado em verde. Além disso é possível se verificar que há uma subjanela onde

há pedidos de troca de turno e folgas, que podem ser aprovadas pelo gestor de acordo com a possibilidade ou necessidade.

## 2.10. Outros “softwares” disponíveis para utilização:

Apesar de não indicado pela enfermeira-chefe entrevistada, outros softwares foram prospectados antes da entrevista e durante a pesquisa sobre o assunto, eles foram a base do layout para a criação do sistema de escalonamento de enfermeiros.

No “*Scheduling*” através do Diagrama de Gantt para criar a interface gráfica do escalonamento, as atividades devem ser desenhadas como barras sendo organizadas em uma grade de escala de tempo com horas inicial e final, a extensão das barras deve ser proporcional ao tempo necessário para concluir a atividade. O período de trabalho de cada colaborador deve ser exibido de acordo com uma escala de tempo. O ajuste deve ser feito através da alteração do tempo inicial e final.

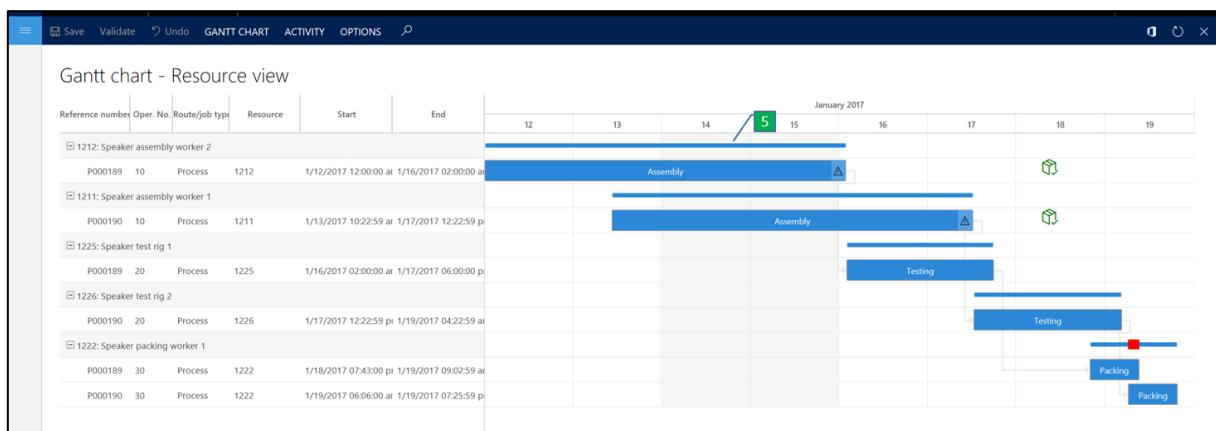


Figura 04 - “*Scheduling*” usando diagrama de Gantt

Fonte: (Microsoft, *Gráfico de Gantt para agendamento de trabalho, 2017*)

Outro software pesquisado foi a utilização de Interface Web com uso do LINDO/LINGO, a qual foi utilizado na tese de mestrado de Alexandre Rangel, elabora uma escala periódica de trabalho utilizando uma interface Web, com apoio do software LINGO da LINDO Systems para a resolução da PPLI, os dados iniciais são exportados para um arquivo e

utilizados pelo LINGO, após o resolução da PPLI, os resultados são gravados em um arquivo e são importados de volta a interface Web.

Figura 05 - Tela com a escala de trabalho já calculada pelo LINGO

Fonte: (Alexandre Leite Rangel, 2007)

O Excel (Microsoft, Excel, 2019) pode ser utilizado para elaboração das escalas, durante a pesquisa, existem diversos sites vendendo planilhas para realização de escalonamento dos colaboradores, um exemplo está na figura a seguir:

| A1 | C                  | D                          | E        | F      | G                  | H      | I      | J          | K      | L      | M             | N     | O     | P                 | Q     | R     | S      | T      |  |
|----|--------------------|----------------------------|----------|--------|--------------------|--------|--------|------------|--------|--------|---------------|-------|-------|-------------------|-------|-------|--------|--------|--|
| 1  | z                  | LUZ Planilhas Empresariais | CADASTRO |        | ESCALA DE TRABALHO |        |        | RELATÓRIOS |        |        | INSTRUÇÕES    |       |       |                   |       |       |        |        |  |
| 2  | ESCALA DE TRABALHO |                            |          |        | ESCALA EDITÁVEL    |        |        |            |        |        |               |       |       |                   |       |       |        |        |  |
| 3  |                    |                            |          |        | ATUALIZAR ESCALA   |        |        | IMPRIMIR   |        |        | SALVAR EM PDF |       |       | GERAR ARQUIVO SIM |       |       |        |        |  |
| 4  |                    |                            |          |        | Dom                | Seg    | Ter    | Qua        | Qui    | Sex    | Sáb           | Dom   | Seg   | Ter               | Qua   | Qui   | Sex    | Sáb    |  |
| 5  | Funcionários       | Cargo                      | 1/07     | 2/07   | 3/07               | 4/07   | 5/07   | 6/07       | 7/07   | 8/07   | 9/07          | 10/07 | 11/07 | 12/07             | 13/07 | 14/07 | 15/07  | 16/07  |  |
| 6  | Amanda             | Estagiária                 | T1       | S/Exp. | T1                 | T1     | T1     | Frd.       | T1     | T1     | S/Exp.        | T1    | T1    | T1                | T1    | T1    | Folga  | S/Exp. |  |
| 7  | Carlos             | Analista                   | T2       | S/Exp. | T2                 | T2     | T2     | Frd.       | T2     | Folga  | S/Exp.        | T2    | T2    | T2                | T2    | T2    | T2     | S/Exp. |  |
| 8  | Paula Guerra       | Analista                   | T3       | S/Exp. | T3                 | T3     | T3     | Frd.       | T3     | T3     | S/Exp.        | T3    | T3    | T3                | T3    | T3    | T3     | S/Exp. |  |
| 9  | Rafael Avila       | Gerente                    | Férias   | Férias | Férias             | Férias | Férias | Férias     | Férias | Férias | Férias        | T4    | T4    | T4                | T4    | T4    | S/Exp. |        |  |

Figura 06 - Planilha de Escala de Trabalho

Fonte: (PLANILHAS, 2019), última visita em 22/outubro/2019.

Nela podemos ver a mesma esquematização, de outros programas, mostrando informações do funcionário a esquerda, os dias da semana no topo e os turnos a ser realizado a cada dia na região central da planilha.

Na próxima figura é possível realizar a verificação do valor cobrado pela planilha.



Figura 07 - Site da empresa Luz com o valor cobrado

fonte: <https://luz.vc/products/planilha-de-escala-de-trabalho-61-excel>

(conforme última visita em 22/outubro/2019PACE Scheduler)

O programa “PACE Scheduler” (PACE\_Systems\_Inc, 2019) é um programa do grupo Pace Systems Inc, o site da empresa vende o produto como otimizado para órgãos públicos como prefeituras, polícia, hospitais. O programa possui um design parecido com o Excel, com colocação dos turnos a cada dia por funcionário.

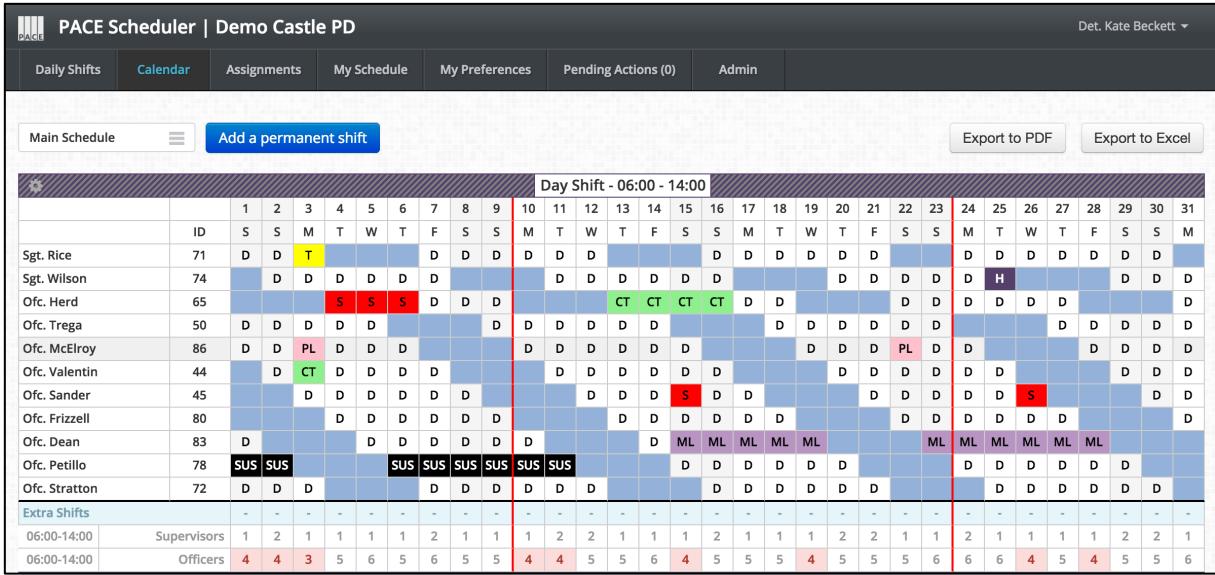


Figura 08 - Software PACE Scheduler

Fonte: <https://www.pacescheduler.com/>

(conforme último acesso no site da empresa em 22/outubro/2019)

O programa Tshets (TSHEETS, 2019) é um software americano, onde a empresa cobra oito dólares americanos por usuário ativo mais uma taxa por mês, o programa é vendido com foco em administração do escalonamento por turnos, por tipo de trabalho e como ferramenta de gerenciamento remoto.

Na figura a seguir é possível se verificar a interface do software, com uma área para as informações do funcionário, uma área para os dias da semana e a área central para a definição dos turnos de trabalho.

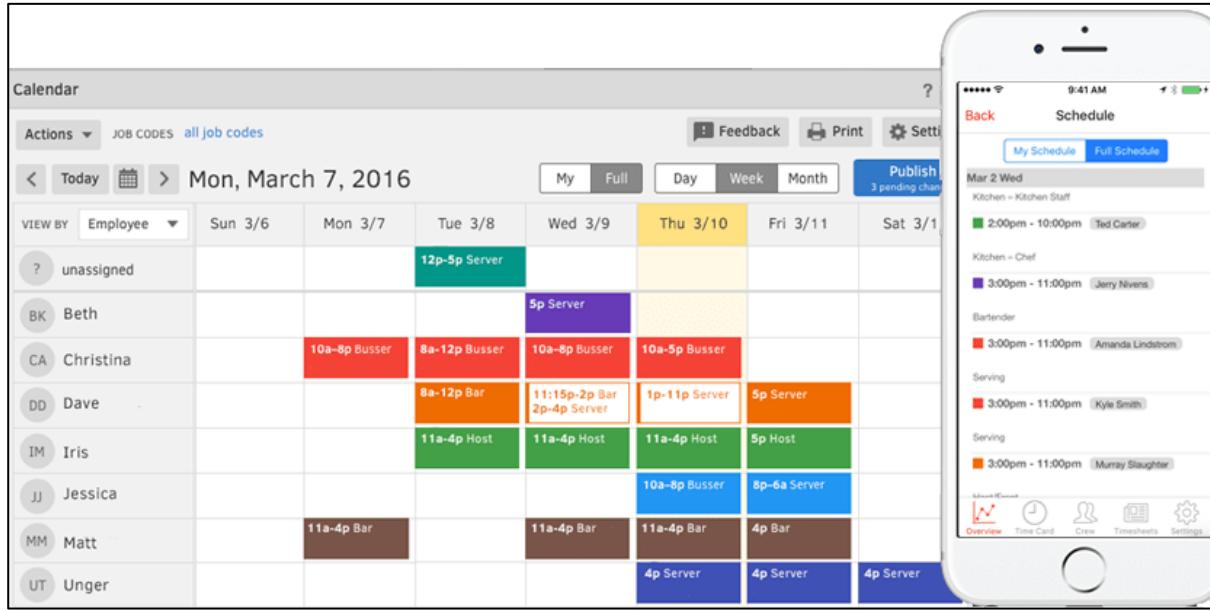


Figura 09 - Destaque do layout do programa acessado por smartphone e via interface web

Fonte: Site da empresa, (conforme acesso em 22/outubro/2019)

Um destaque positivo do software é a possibilidade do funcionário receber notificações via notificação no “*smartphone*”, facilitando a comunicação com a equipe de trabalho.

O software, “*App When I work*” é vendido como uma solução móvel e como um facilitador de comunicação dos turnos de trabalho diário sendo um dos recursos ressaltados a comunicação via mensagem de texto quando o novo turno está disponível.

Na figura a seguir apresenta a interface gráfica com o layout informação do funcionário, dias do mês e da semana, e na região central os turnos a serem cumpridos com horário de início e horário final. É possível ainda se observar que há a visualização da escala de trabalho por dia, semana e ainda no mês.

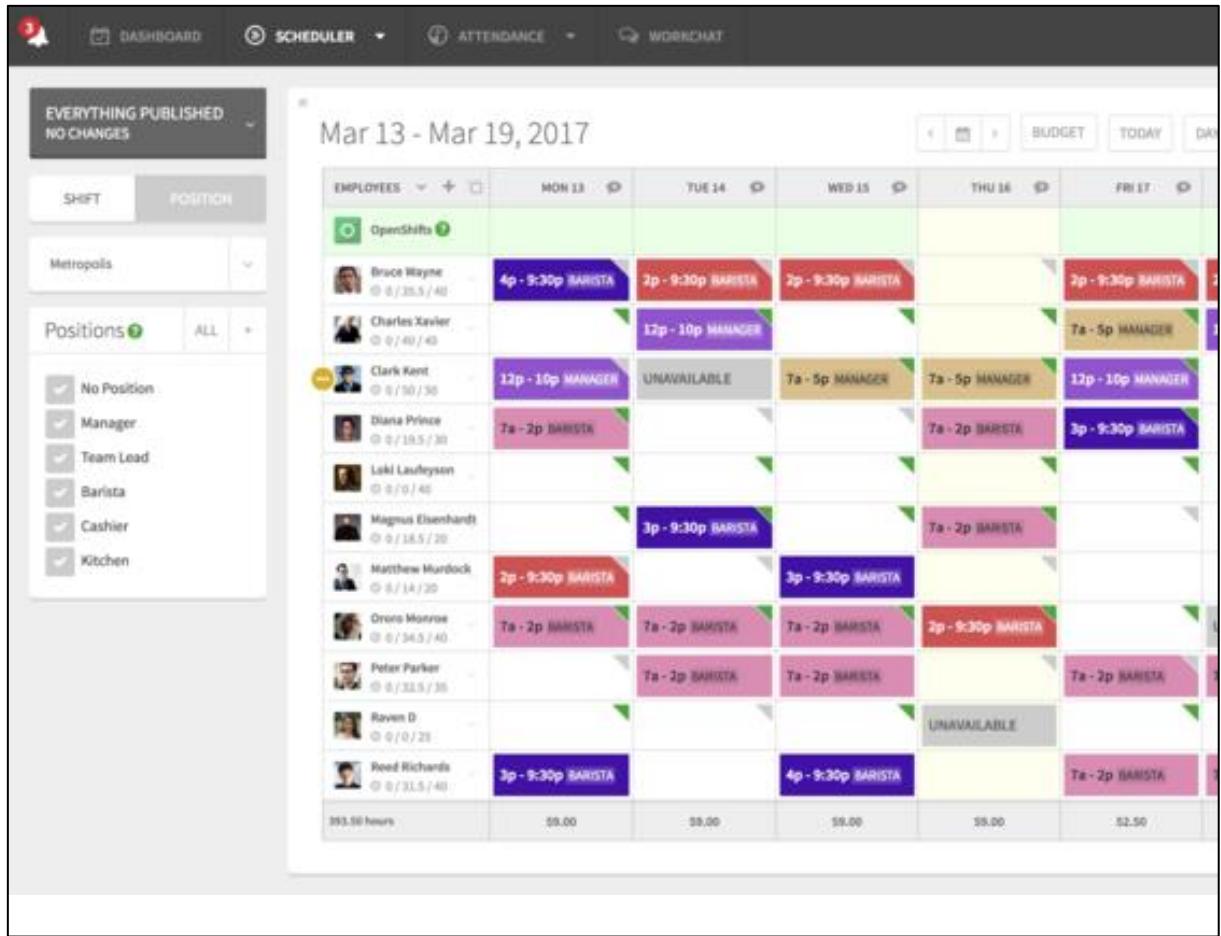


Figura 10 - Detalhe da interface web do aplicativo

Fonte: Site da empresa (conforme acesso em 22/outubro/2019)

O programa “*Oracle Net Suite- ZUUS Workforce - Scheduling and Time & Attendance*”, é um programa desenvolvido pela Oracle, que é uma empresa americana bem conhecida no ramo de desenvolvimento de sistemas e de banco de dados, que leva no nome da empresa, a empresa também desenvolve alguns “*hardwares*”.

O “*software*” se vende como um programa de escala de quadro de funcionários dinâmico e que ajuda os gerentes a criar um quadro de funcionários para os turnos de forma a minimizar o tempo de espera dos clientes.

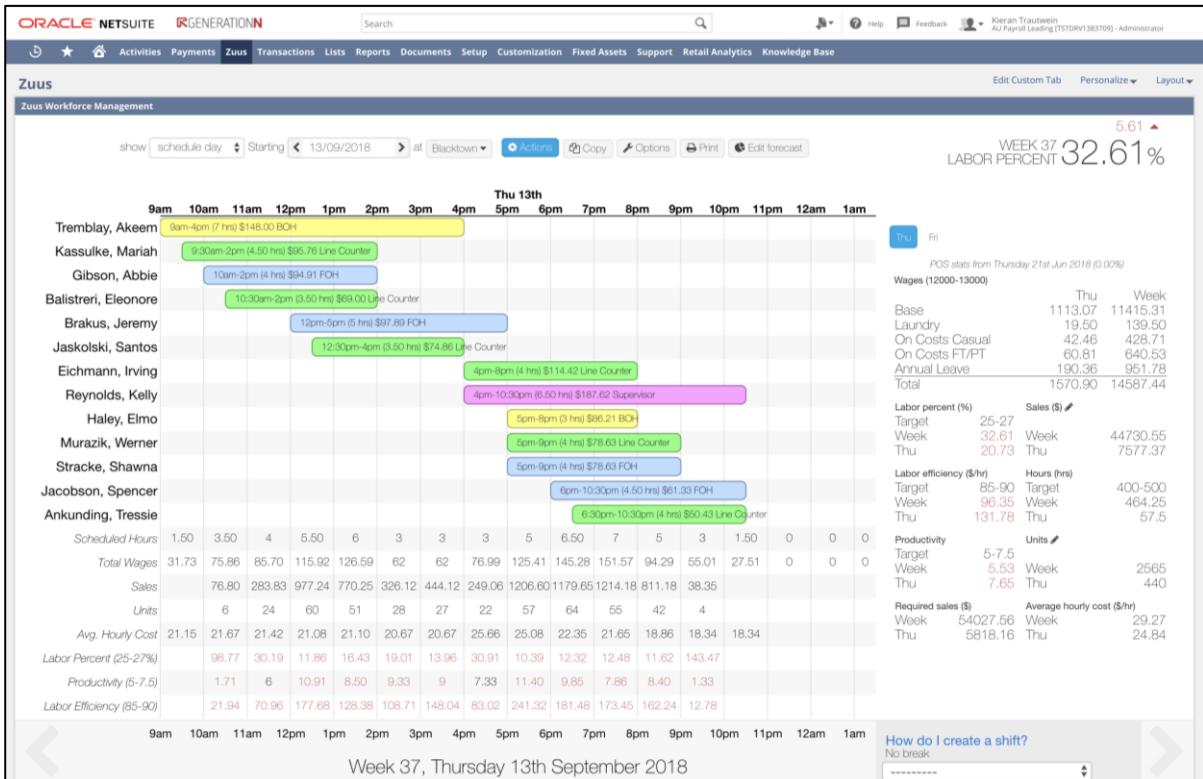


Figura 11 - Interface da ZUSS

Fonte: (Oracle, 2019), conforme último acesso em 22/outubro/2019.

### 3. **METODOLOGIA**

#### 3.1. Metodologia de Pesquisa

De acordo com (Gil, 2017) as pesquisas não são todas iguais, elas diferem muito entre si, logo espera-se que não exista um roteiro rígido para elaboração de projetos de pesquisa, uma vez que não há um única forma para se chegar a uma final, uma conclusão, da mesma forma como a matemática se propõe, em seu livro, Gil propõe um modelo flexível que considera elementos considerados essenciais e que possibilite a inclusão de itens que são específicos a pesquisa, dessa forma o livro de Gil propõe um roteiro de pesquisa que esteja em fase com as normas ABNT, além de normas acadêmicas para produção de conteúdo voltado para a mesma.

Segundo (FONSECA, 2002), a palavra método tem como significado a organização, e a palavra logo, estudo sistemático, pesquisa e investigação, ou seja, metodologia é o estudo da organização, dos caminhos a serem percorridos para se realizar uma pesquisa ou estudo, ou ainda para se fazer ciência. Separando-se a diferença entre metodologia e método, a metodologia se interessa pela validade do caminho escolhido para se chegar ao fim proposto pela pesquisa, não se podendo ser confundida com conteúdo (teoria) nem com procedimento (métodos ou técnicas) de forma que metodologia vai além das descrição dos procedimentos, indicando a escolha teórica realizada pelo pesquisador para abordar o objeto de estudo.

De acordo com (Prodanov, 2013), o tipo de pesquisa pode observado pelo ponto de vista de sua natureza, de seus objetivos e dos procedimentos técnicos, conforme figura a seguir:

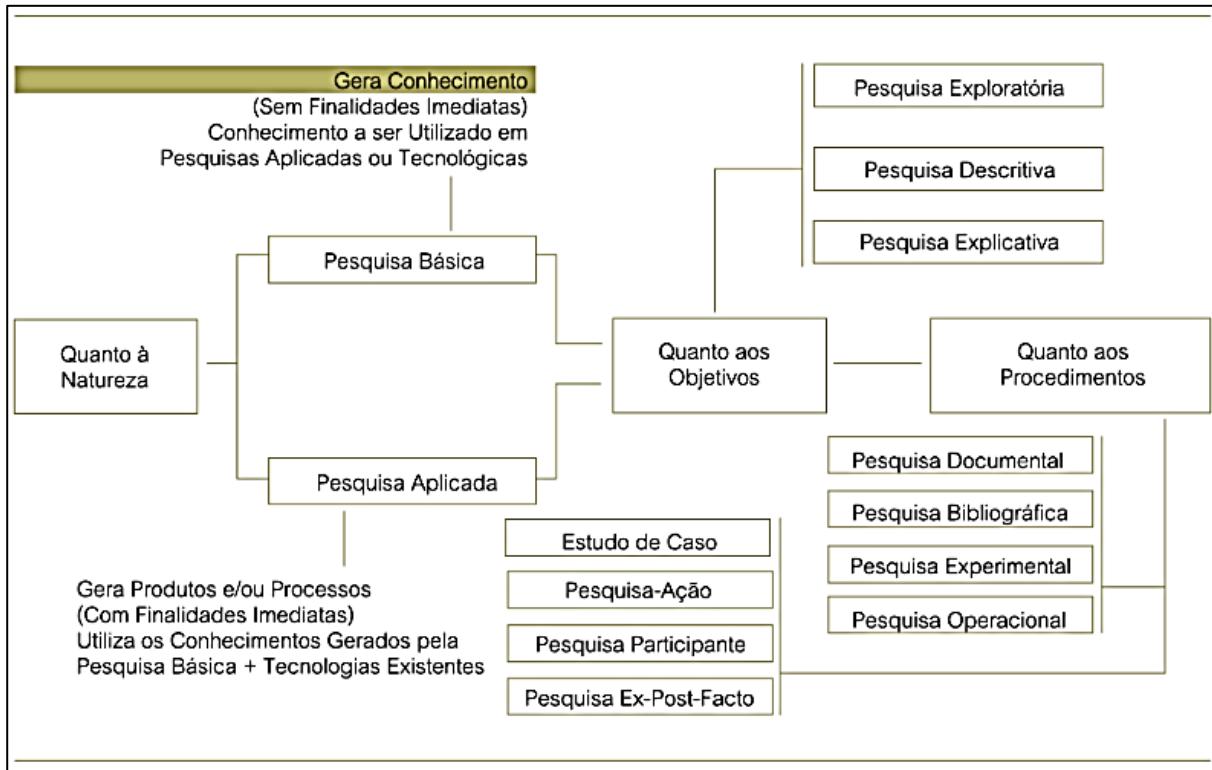


Figura 12 - Tipos de pesquisa

Fonte: (Prodanov, 2013)

Prodanov (Prodanov, 2013), propõe que a pesquisa sob o ponto de vista da natureza, pode ser subdividida em pesquisa básica e pesquisa aplicada, sendo a pesquisa básica com objetivo de gerar conhecimentos novos úteis para o avanço da ciência, já a pesquisa aplicada, o objetivo é gerar conhecimentos para aplicação prática dirigidos à solução de problemas específicos conforme Prodanov propõe, o presente trabalho tem natureza a pesquisa aplicada.

Segundo (Gil, 2017), as pesquisas exploratórias têm como principal finalidade desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, tendo em vista a formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores. Pesquisas exploratórias são desenvolvidas com o objetivo de proporcionar visão geral, de tipo aproximativo, acerca de determinado fato, muitas pesquisas exploratórias constituem a primeira etapa de uma investigação mais ampla. Quando o tema escolhido é bastante genérico, tomam-se necessários seu esclarecimento e delimitação, o que exige revisão de literatura, discussão com especialista e outros procedimentos. O produto final deste processo passa a ser um problema mais esclarecido, passível de investigação mediante procedimentos mais sistematizados, assim este trabalho tem como seu objetivo, as pesquisas exploratórias, pois ainda de acordo com (Prodanov, 2013), o trabalho busca facilitar a delimitação do tema da

pesquisa; orientar a fixação dos objetivos e a formulação das hipóteses, de forma que envolve o levantamento bibliográfico, entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado (conforme foi realizado com a enfermeira-chefe do Hospital de Transplantes de São Paulo) e análise de exemplos que estimulem a compreensão através da pesquisa de outros “softwares” disponíveis no mercado.

Finalmente, a pesquisa sob o ponto de vista dos procedimentos técnicos, é a maneira como são obtidos dados necessários para a elaboração da pesquisa, tornando-se necessário traçar um modelo conceitual, a pesquisa bibliográfica foi utilizada como procedimento técnico, uma vez que foram utilizados materiais já publicados, além disso também pode ser caracterizado como pesquisa participante uma vez que a pesquisa se desenvolve a partir da interação entre pesquisadores e membros das situações investigadas.

De acordo com (Yin, 2001), o estudo de caso envolve estudo profundo e exaustivo de maneira a permitir detalhado conhecimento, nele a metodologia de pesquisa classificada como aplicada (já citada), busca aplicação prática do que já é conhecido para a solução de problemas sociais conforme citado em (Boaventura, 2004), dessa forma este trabalho e estudo se enquadra na categoria de estudo de caso uma vez que foram observadas as necessidades e peculiaridades do Hospital de Transplantes de São Paulo, Euclides Jesus de Zerbini, bem como dados do hospital para o dimensionamento do agendamento dos enfermeiros. Uma vez que foram utilizados como fonte de dados para o desenvolvimento da pesquisa, diversas referências bibliográfica e entrevistas semi estruturadas com os profissionais do hospital.

### 3.2. Modelo matemático em PPLI

Neste trabalho, a estrutura de pesquisa utilizada iniciou-se pelo entendimento do problema a ser resolvido, buscando-se o entendimento do problema através de referência bibliográficas e de entrevistas com a enfermeira-chefe do Hospital de Transplantes de São Paulo. Durante o estudo dos modelos matemáticos utilizados nas referências bibliográficas o estudo da tese de (Rangel, 2006), foi tomado como base por conter uma explicação melhor do problema e das restrições procuradas.

A resolução do problema foi modelada segundo um PLI, com busca de uma otimização de minimizar o número de funcionários na enfermaria segundo a seguinte expressão:

$$\text{Função Objetivo: } \min z = \sum_{i=1}^N b_i \quad (13)$$

Onde o índice  $i$  refere-se ao funcionário  $i$  alocado e  $N$  o número de funcionários alocados a ser testado.

Nas restrições, são utilizados os índices  $j$  para dias do mês,  $k$  para turnos, sendo 1 para o turno manhã, 2 para o turno tarde e 3 para o turno noite. Outros índices são explicados nas restrições.

Assim o PLI, está sujeito as seguintes restrições:

### 3.2.1. Trabalhar no máximo um turno por dia

$$\sum_{k=1}^T X_{i,j,k} \leq 1, \quad i = 1, \dots, N \text{ e } j = 1, \dots, 31 \quad (14)$$

Para essa restrição, a soma dos  $X$  deve ser no máximo 1, uma vez que ele pode apenas trabalhar um turno por dia, assim sendo que há 3 turnos diáridos, apenas uma das 3 variáveis pode ser igual a 1.

### 3.2.2. Ter uma folga em um domingo no mês

$$\sum_{k=1}^T \sum_{l=1}^{Tam(Dom)} X_{i,Dom[l],k} \leq Tam(Dom) - 1 \quad (15)$$

*Dom: Lista de domingos no Mês*

Segundo a CLT, o empregado deve ter um domingo coincidindo com a folga no mês, dessa forma a soma de todos os  $X$  turnos de domingo de trabalho, a soma deve ser menor ou igual que o número de domingos do mês menos 1.

### 3.2.3. Respeitar a demanda

$$\sum_{i=1}^N X_{i,j,k} \geq D_{j,k}, \forall j, k \quad (16)$$

Para a resolução da PLI deve ser utilizada a demanda projetada para cada um dos turnos do mês.

Assim, a soma das variáveis dos turnos trabalhados deve ser maior ou igual que a demanda de cada turno.

### 3.2.4. Respeitar o número de folgas no período

Segundo a CLT e COFEN, a jornada máxima de trabalho semanal é de 44 horas, podendo ser distribuída dentro da semana em jornadas de 4, 6, 8 e até 12 horas diárias, (lembrando que a Constituição Federal brasileira promulgada estabelece até no máximo 8 horas de trabalho diárias, a jornada de 12 horas ainda não regulamentada, mas com entendimento do Judiciário Trabalhista corrobora com a tese de 12 horas de trabalho com 36 de descanso). O que se pode perceber é que de acordo com o número de horas trabalhados diariamente o número de folgas no período é variável, porém há um máximo a ser respeitado que é o número de dias menos o número de semanas no mês, para que seja respeitada a folga semanal.

$$\sum_{j=1}^{31} \sum_{k=1}^3 X_{i,j,k} \leq C_i \quad (17)$$

$C_i$ : número máximo de dias trabalhados pelo funcionário  $i$

### 3.2.5. Respeitar a carga de horário mensal mínima

Como já dito no item anterior, para respeitar a carga de horário mensal, a soma das horas trabalhadas em cada turno deve ser igual ou menor (para a restrição de carga máxima) e igual ou maior (para a restrição de carga mínima) de trabalho.

$$\sum_{j=1}^{31} \sum_{k=1}^3 X_{i,j,k} * H[k] \geq E_{mín}, (i \in N, H[k] = \{a_1, a_2, a_3\}) \quad (18)$$

$E_{mín}$ : número mínima de horas trabalhadas no mês

$a_1$ : horas de trabalho do turno manhã

$a_2$ : horas de trabalho do turno tarde

$a_3$ : horas de trabalho do turno noite

Cabe observar que para o problema de minimização de funcionários, essa restrição deve ser suprimida inicialmente, pois uma vez ativa, ela faz com que todos os funcionários tenham pelo menos o turno de trabalhos equivalente ao número mínimo de horas de trabalho. Assim ao calcular o número mínimo de funcionários, essa restrição pode ser ativa e ser encontrada a solução ótima para aquele número de funcionários.

### 3.2.6. Respeitar a carga de horário mensal máxima

$$\sum_{j=1}^{31} \sum_{k=1}^3 X_{i,j,k} * H[k] \leq E_{máx}, (i \in N, H[k] = \{a_1, a_2, a_3\}) \quad (19)$$

$E_{máx}$ : número máxima de horas trabalhadas no mês

$a_1$ : horas de trabalho do turno manhã

$a_2$ : horas de trabalho do turno tarde

$a_3$ : horas de trabalho do turno noite

3.2.7. Trabalhar 6 dias na semana e folgar um dia na semana

A CLT, afirma que em sete dias, um dos dias o funcionário deve folgar, além disso o funcionário não pode trabalhar por mais de 7 dias, dessa forma para garantir essa restrição, a soma de todos os turnos trabalhados em 7 dias consecutivos deve ser menor que 6.

$$\sum_{l=1}^4 \sum_{j=1}^7 \sum_{k=1}^3 X_{i,(P_{ds}+j),k} \leq 6 \quad (20)$$

$$(i \in N; P_d = 1, \dots, 7)$$

$$(P_{ds} = P_d + 7 * l, l = 1,2,3,4)$$

3.2.8. Noturnos não podem ser seguidos

Como é definido pelas leis trabalhistas, quando um funcionário trabalha doze horas em um plantão noturno, ele deve descansar pelas trinta e seis horas seguintes, podendo então retornar ao trabalho, no mínimo, para cumprir um segundo noturno duas noites após o final de seu primeiro plantão.

Para escrever esta restrição, somam-se as variáveis de noturno para cada funcionário durante os dias do turno aos pares, iniciando-se pelo primeiro dia do período e seguindo até o último, sendo que a primeira variável deve ser a do dia subsequente da primeira variável da iteração anterior.

$$X_{i,j,3} + X_{i,(j+1),3} \leq 1 \quad (21)$$

$$(i \in N)$$

### 3.2.9. Noturnos não podem ser seguidos de manhã ou tardes

Esta restrição também está embasada no fato que ao trabalhar um turno noturno ele deve descansar na manhã e tarde seguinte.

Da mesma forma que a restrição anterior, um plantão noturno não pode ser seguido de trabalho no turno da manhã ou da tarde. Assim, a soma das variáveis do dia em que o funcionário trabalha no noturno, seguida pelas variáveis do dia seguinte do turno da manhã e da tarde deve ser menor ou igual a um.

$$X_{i,j,3} + X_{i,(j+1),1} + X_{i,(j+1),2} \leq 1 \quad (22)$$

$$(i \in N)$$

### 3.2.10. Folgas seguidas depois de fazer noturnos

Quando um funcionário trabalha no noturno e ele for mudar do turno da noite para manhã ou tarde, ele deverá receber duas folgas subsequentes, como forma de garantir as trinta e seis horas mínimas de descanso após o noturno.

Para construir esta restrição, soma-se as variáveis do dia que o funcionário trabalhou no turno da noite e as dos dois dias seguintes do turno da manhã. Para completar a restrição, repete-se o critério com as variáveis do turno da tarde.

$$X_{i,j,3} + X_{i,(j+1),1} + X_{i,(j+1),1} \leq 1 \quad (i \in N) \quad (23)$$

$$X_{i,j,3} + X_{i,(j+2),1} + X_{i,(j+2),1} \leq 1 \quad (i \in N) \quad (24)$$

### 3.2.11. Enfermeiro trabalha em Turno Fixo

Alguns funcionários podem ter turnos fixos, esta restrição garante que, a soma de todas as variáveis à exceção daquelas do turno que este funcionário faz fixo sejam iguais a zero, ou seja, se o funcionário fizer noturno fixo, por exemplo, a soma de todas as variáveis dos turnos da manhã e da tarde devem ser iguais a zero.

Se o enfermeiro fizer turno fixo é necessário que todas as variáveis dos turnos que ele não trabalha devem ser iguais a zero. Assim as equações para cada situação deve ser:

Enfermeiro faz turno fixo na manhã:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{31} X_{i,j,2} = 0 \quad (25)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{31} X_{i,j,3} = 0 \quad (26)$$

Enfermeiro faz turno fixo na tarde:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{31} X_{i,j,1} = 0 \quad (27)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{31} X_{i,j,3} = 0 \quad (28)$$

Enfermeiro faz turno fixo na noite:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{31} X_{i,j,1} = 0 \quad (29)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{31} X_{i,j,2} = 0 \quad (30)$$

### 3.2.12. Agrupar turnos

O sistema de geração automática da escala periódica de trabalho deve agrupar os turnos para evitar que o funcionário possa melhor organizar suas atividades fora do trabalho. O número indicado é de quatro vezes o mesmo turno, ou seja, o software deve dentro do possível, organizar os turnos de trabalho em pequenos grupos de quatro seguidos como, por exemplo, quatro manhãs ou quatro tardes seguidas.

O dia inicial deve ser o primeiro dia do período e a expressão deve ser repetida até que o valor inicial do dia seja o número de dias do período da escala menos cinco.

$$X_{i,j,k} + X_{i,(j+1),k} + X_{i,(j+2),k} + X_{i,(j+3),k} + X_{i,(j+4),k} \leq 4 \quad \begin{pmatrix} i \in N; \\ j = 1, \dots, 31; \\ k = 1 \end{pmatrix} \quad (31)$$

$$X_{i,j,k} + X_{i,(j+1),k} + X_{i,(j+2),k} + X_{i,(j+3),k} + X_{i,(j+4),k} \leq 4 \quad \begin{pmatrix} i \in N; \\ j = 1, \dots, 31; \\ k = 2 \end{pmatrix} \quad (32)$$

3.2.13. Se uma das variáveis X for 1, o funcionário está ativo

Esta é uma restrição necessária uma vez que a quantidade de funcionários deve ser minimizada, como  $X_{i,j,ik}$  está relacionada ao funcionário  $i$ , deve-se ter uma relação de existência entre as variáveis.

$$\sum_{j=1}^{31} \sum_{k=1}^3 X_{i,j,k} \leq M \cdot b_i \quad (i \in N) \quad (33)$$

3.2.14. Valor Máximo de cada variável deve ser menor ou igual a 1 e inteiro

Por se tratar de um PPLI, as variáveis X e b devem ser binárias, admitindo o valor de 0 ou 1, sendo dessa forma inteiras.

3.3. Códigos utilizados em Python

A resolução do PPLI será feita em Python, utilizando os seguintes comandos:

1. **os**: que tem como objetivo a leitura do diretório de trabalho e caminho para escrita dos arquivos utilizados
2. **pandas**: para a facilitar o trabalho dos dados de alocação
3. **pandas import ExcelWriter**: para a gravação dos dados em um arquivo em formato xls, ou seja, Excel

3.3.1. Utilização do módulo Gurobi no projeto

Em relação ao Gurobi, os principais comandos utilizados são:

1. **import gurobipy**: para a resolução do PPLI.

Durante a codificação serão utilizados alguns comandos importantes o Gurobi para a resolução do PPLI, como:

2. “**Model(“Alocacao\_Hospital”)**”

onde se declara a criação de um modelo de PLI a ser resolvido.

3. “**setParam(‘TimeLimit’, t)**”

Opcional: onde se declara um limite de tempo, t, para se encontrar uma solução factível para o problema procurado.

4. “**setParam(‘MIPGap’, G)**”

Opcional: onde se declara um “gap”, relaxamento da solução, sendo assim, o solucionador MIP terminará (com um resultado ideal) quando o intervalo entre o limite objetivo inferior e superior for menor que MIPGap vezes o valor absoluto do limite superior.

5. “**addVars()**”

Onde se declara a criação da variável x, indicando a alocação do funcionário i, no dia j, e no turno k.

6. “**addVars()**”

Onde se declara a criação da variável fu, para cada funcionário i, fu[i].

7. “**setObjective(z,GRB.MINIMIZE)**”

Um dos comandos mais importantes que é a de minimização da função objetivo (GRB.MAXIMIZE, maximizará a função objeto), será necessário definir anteriormente a esse comando a função objetivo.

8. “**addConstr()**”

Para a declaração de cada restrição do PPLI.

9. “**write(“model.lp”)**”

Onde será escrito o modelo de PLI como nomeado no item a, “Alocacao\_Hospital”.

10. “**optimize()**”

Outra função muito importante, pois ele dará o comando final para otimização do PPLI.

### 3.3.2. Leitura e escrita dos arquivos em formato de planilha com extensão xls, xlsx, xlsm

O projeto deve utilizar o Excel para realizar a montagem gráfica das alocações de cada enfermeiro da área em gestão, para tanto cinco funções são necessárias no Python para a leitura de dados na montagem das restrições do PPLI, essas funções são:

- “pandas.read\_excel(‘nome\_do\_arquivo.xls’)”

Que realiza a leitura do arquivo Excel e realiza a criação de um dataframe no módulo pandas em forma de tabela para facilitar a leitura na resolução de PPLI.

- “ExcelWriter(‘nome\_do\_arquivo\_para\_gravacao.xls’)”

Este comando realiza a indicação do arquivo onde será realizado o output, ou seja, onde será gravado os dados coletados na resolução do PPLI.

- “pandas.DataFrame.to\_excel(writer, ‘nome\_da\_aba\_a\_ser\_gravada’)”

Indica em qual aba será gravado os dados no arquivo selecionado.

- “writer.book” e “writer.sheets [‘nome da aba’]”

Faz com que o xlswriter pegue os dados do dataframe writer.



## 4. RESULTADOS

Durante a pesquisa sobre o assunto antes da pesquisa do funcionamento do Hospital de Transplantes Euclides de Jesus Zerbini, foi criada uma planilha na qual foi utilizada o Excel para leitura dos turnos de trabalho, inicialmente pensando para a programação no ano e posteriormente com o Layout mensal apresentado a seguir:

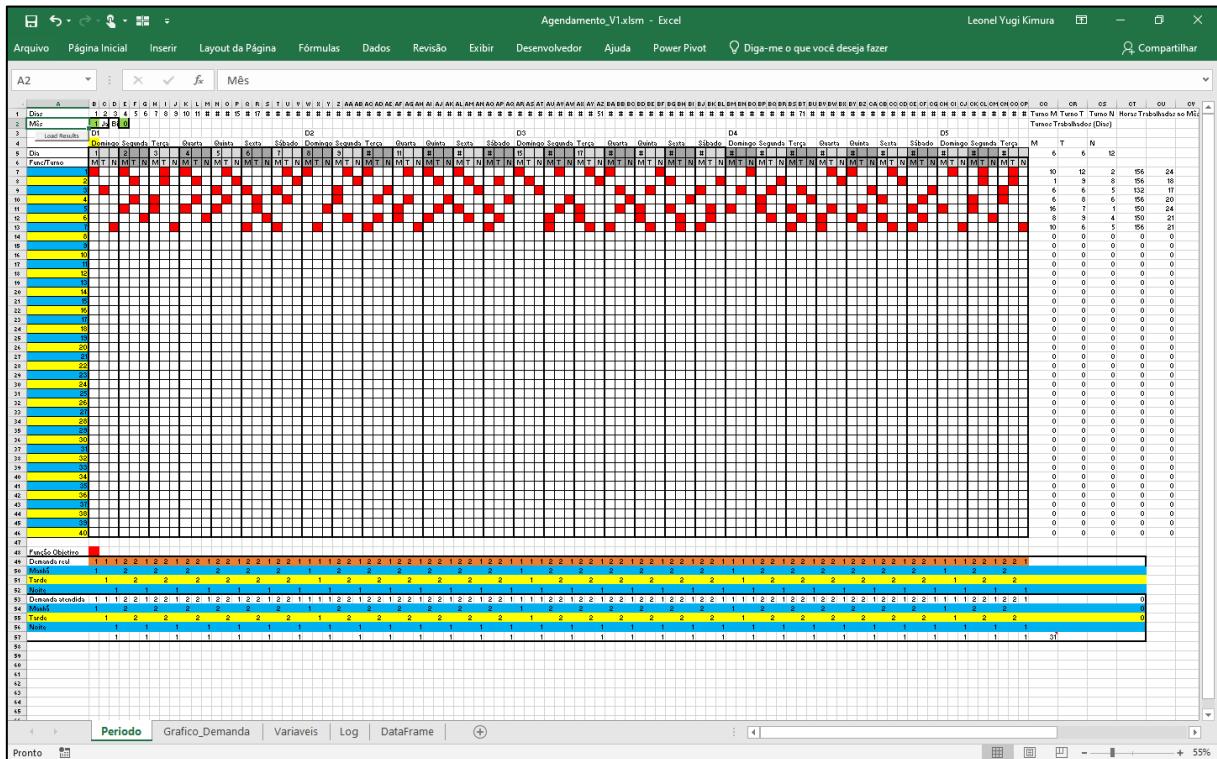


Figura 13 - Layout Excel, visão geral da janela

Fonte: O autor

Como necessidade das funcionárias do hospital, o dimensionamento foi ajustado para uma janela de 31 dias, na figura a seguir está o detalhe da janela anterior, mostrando os dias, dias da semana, funcionários (em amarelo e azul) e a alocação dos turnos (em vermelho).

| 3  | Load Results    | D1 | Domingo | Segunda | Terça | Quarta | Quinta | Sexta | Sábado | Domingo | Segunda | Terça | D2 |
|----|-----------------|----|---------|---------|-------|--------|--------|-------|--------|---------|---------|-------|----|
| 4  |                 |    | 1       | 2       | 3     | 4      | 5      | 6     | 7      | 8       | 9       | #     |    |
| 5  | Dia             |    | M       | T       | N     | M      | T      | N     | M      | T       | N       | M     |    |
| 6  | Func/Turno      |    | M       | T       | N     | M      | T      | N     | M      | T       | N       | M     |    |
| 7  | 1               |    |         |         |       |        |        |       |        |         |         |       |    |
| 8  | 2               |    |         |         |       |        |        |       |        |         |         |       |    |
| 9  | 3               |    |         |         |       |        |        |       |        |         |         |       |    |
| 10 | 4               |    |         |         |       |        |        |       |        |         |         |       |    |
| 11 | 5               |    |         |         |       |        |        |       |        |         |         |       |    |
| 12 | 6               |    |         |         |       |        |        |       |        |         |         |       |    |
| 13 | 7               |    |         |         |       |        |        |       |        |         |         |       |    |
| 14 | 8               |    |         |         |       |        |        |       |        |         |         |       |    |
| 15 | 9               |    |         |         |       |        |        |       |        |         |         |       |    |
| 16 | 10              |    |         |         |       |        |        |       |        |         |         |       |    |
| 17 | 11              |    |         |         |       |        |        |       |        |         |         |       |    |
| 18 | 12              |    |         |         |       |        |        |       |        |         |         |       |    |
| 19 | 13              |    |         |         |       |        |        |       |        |         |         |       |    |
| 20 | 14              |    |         |         |       |        |        |       |        |         |         |       |    |
| 21 | 15              |    |         |         |       |        |        |       |        |         |         |       |    |
| 22 | 16              |    |         |         |       |        |        |       |        |         |         |       |    |
| 23 | 17              |    |         |         |       |        |        |       |        |         |         |       |    |
| 24 | 18              |    |         |         |       |        |        |       |        |         |         |       |    |
| 25 | 19              |    |         |         |       |        |        |       |        |         |         |       |    |
| 26 | 20              |    |         |         |       |        |        |       |        |         |         |       |    |
| 27 | 21              |    |         |         |       |        |        |       |        |         |         |       |    |
| 28 | 22              |    |         |         |       |        |        |       |        |         |         |       |    |
| 29 | 23              |    |         |         |       |        |        |       |        |         |         |       |    |
| 30 | 24              |    |         |         |       |        |        |       |        |         |         |       |    |
| 31 | 25              |    |         |         |       |        |        |       |        |         |         |       |    |
| 32 | 26              |    |         |         |       |        |        |       |        |         |         |       |    |
| 33 | 27              |    |         |         |       |        |        |       |        |         |         |       |    |
| 34 | 28              |    |         |         |       |        |        |       |        |         |         |       |    |
| 35 | 29              |    |         |         |       |        |        |       |        |         |         |       |    |
| 36 | 30              |    |         |         |       |        |        |       |        |         |         |       |    |
| 37 | 31              |    |         |         |       |        |        |       |        |         |         |       |    |
| 38 | 32              |    |         |         |       |        |        |       |        |         |         |       |    |
| 39 | 33              |    |         |         |       |        |        |       |        |         |         |       |    |
| 40 | 34              |    |         |         |       |        |        |       |        |         |         |       |    |
| 41 | 35              |    |         |         |       |        |        |       |        |         |         |       |    |
| 42 | 36              |    |         |         |       |        |        |       |        |         |         |       |    |
| 43 | 37              |    |         |         |       |        |        |       |        |         |         |       |    |
| 44 | 38              |    |         |         |       |        |        |       |        |         |         |       |    |
| 45 | 39              |    |         |         |       |        |        |       |        |         |         |       |    |
| 46 | 40              |    |         |         |       |        |        |       |        |         |         |       |    |
| 47 |                 |    |         |         |       |        |        |       |        |         |         |       |    |
| 48 | Função Objetivo |    |         |         |       |        |        |       |        |         |         |       |    |
| 49 | Demandas reais  | 1  | 1       | 1       | 2     | 2      | 1      | 2     | 2      | 1       | 2       | 2     | 1  |

Figura 14 - Visão em detalhe da escala de trabalho.

Fonte: O autor

Na planilha são apresentadas as alocações do enfermeiro em dias e turnos (manhã, tarde e noite), sendo na parte superior os dias, logo abaixo os dias da semana, e abaixo os turnos. Em vermelho estão as alocações do enfermeiro e na região em laranja a demanda requerida em cada turno diário. Os valores em laranja são preenchidos manualmente.

O Hospital de Transplantes Euclídes de Jesus Zerbini, tem como necessidade a adequação toda manhã da escala mensal para os próximos trinta dias e alocação dos corpos de enfermeiros no dia, para tanto um layout inicial da escala pode ser feito pelo como no da planilha, adequando-o para uma subdivisão do turno da noite.

#### 4.1. Ambiente de desenvolvimento

O ambiente de desenvolvimento utilizado foi o Spyder, que é um ambiente de desenvolvimento integrado de plataforma cruzada de código aberto para programação científica na linguagem Python

```

Spyder (Python 3.7)
Arquivo Editar Pesquisar Código Executar Depurar Consoles Projetos Ferramentas Ver Ajuda
Editor - C:\Users\lkmur\OneDrive\Área de Trabalho\PRO3591_Trabalho_de_Formalta_I\Dropbox\Programação\Projeto\Projeto\Python_Prog...
Explorador de variáveis
Nome Tipo Tamanho Valor
Console IPython
Python 3.7.3 (default, Apr 24 2019, 15:29:51) [MSC v.1915 64 bit (AMD64)]
Type "copyright", "credits" or "license" for more information.
IPython 7.6.1 -- An enhanced Interactive Python.
In [1]:

```

Figura 15 - Tela do ambiente de desenvolvimento utilizado, Spyder

Fonte: O autor

A seguir está um exemplo de como a declaração de restrições é feita:

```

182     # Set constraints
183
184     # Restrição 0: se  $x[i,*] \geq 1$ , então  $fu[i]=1$ , ou seja, se ouver um  $x > 0$ ,  $fu$ 
185     for i in range(0,F):
186         aux_sum = 0
187         for j in range(0,93):
188             aux_sum = aux_sum + x[i,j]
189         m.addConstr(aux_sum <= BigM*fu[i], "Restricao0_"+str(i))
190
191     # Restrição A: O Enfermeiro deve trabalhar um único turno por dia
192     #for k in range(0,40*31):
193
194         k = 0
195         for i in range(0,F):
196             for j in range(0,31):
197                 m.addConstr(x[i,3*j] + x[i,1+3*j] + x[i,2+3*j] <= 1, "RestricaoA_"+str(k))
198                 k += 1
199
200     #print(f'pause')
201
202     # Restrição B: O Enfermeiro deve ter pelo menos uma folga coincidindo com
203
204         k = 0
205         for i in range(0,F):
206             aux_sum = 0
207             for j in range(0,5):
208
209                 if (Pd+7*j<=31):
210                     aux_sum = aux_sum + x[i,Pd*3-3+7*j] + x[i,Pd*3-2+7*j] + x[i,Pd*3-1+
211                 else:
212                     j = 5
213             m.addConstr(aux_sum <= W_aux, "RestricaoB_"+str(k))
214             k += 1
215
216     # Restrição C: Respeitar a demanda
217
218     for l in range(0,col_size):
219         aux_sum = 0
220         for i in range(0, F):
221             aux_sum = aux_sum + x[i,l]
222         m.addConstr(aux_sum >= demanda[l+1], "Demanda_"+str(l))
223

```

Figura 16 - Exemplo de declaração de restrições em Python

Fonte: O autor

Os dados gravados no arquivo Excel serão os zeros e uns que indicam a não alocação e alocação do enfermeiro no turno correspondente. Um exemplo do arquivo gerado está na figura a seguir:

Output\_Test.xls |

Arquivo Página Inicial Inserir Layout da Página Fórmulas Dados Revisão Exibir Desenvolvedor

Fonte

Área de Transfer... A1

Alinhamento

Teste

Pronto

Output\_Test.xls |

Arquivo Página Inicial Inserir Layout da Página Fórmulas Dados Revisão Exibir Desenvolvedor

Fonte

Área de Transfer... A1

Alinhamento

Teste

Pronto

Figura 17 - Dados do arquivo de output

Fonte: O autor

#### 4.2. Ajustes já realizados

Durante a entrevista com a enfermeira-chefe do Hospital de Transplantes, foram verificados os ajustes necessários a serem realizados, como um novo layout para a planilha de alocação, conforme a utilizada pelo hospital e ajuste no dia inicial da PPLI, uma vez que o primeiro dia de tratamento não é necessariamente o primeiro dia do mês, bem como a utilização da lógica do primeiro dia da semana (Domingo, Segunda-Feira, ..., Sábado) deve ser automaticamente calculados pelo programa para se poupar tempo do preenchimento da alocação.

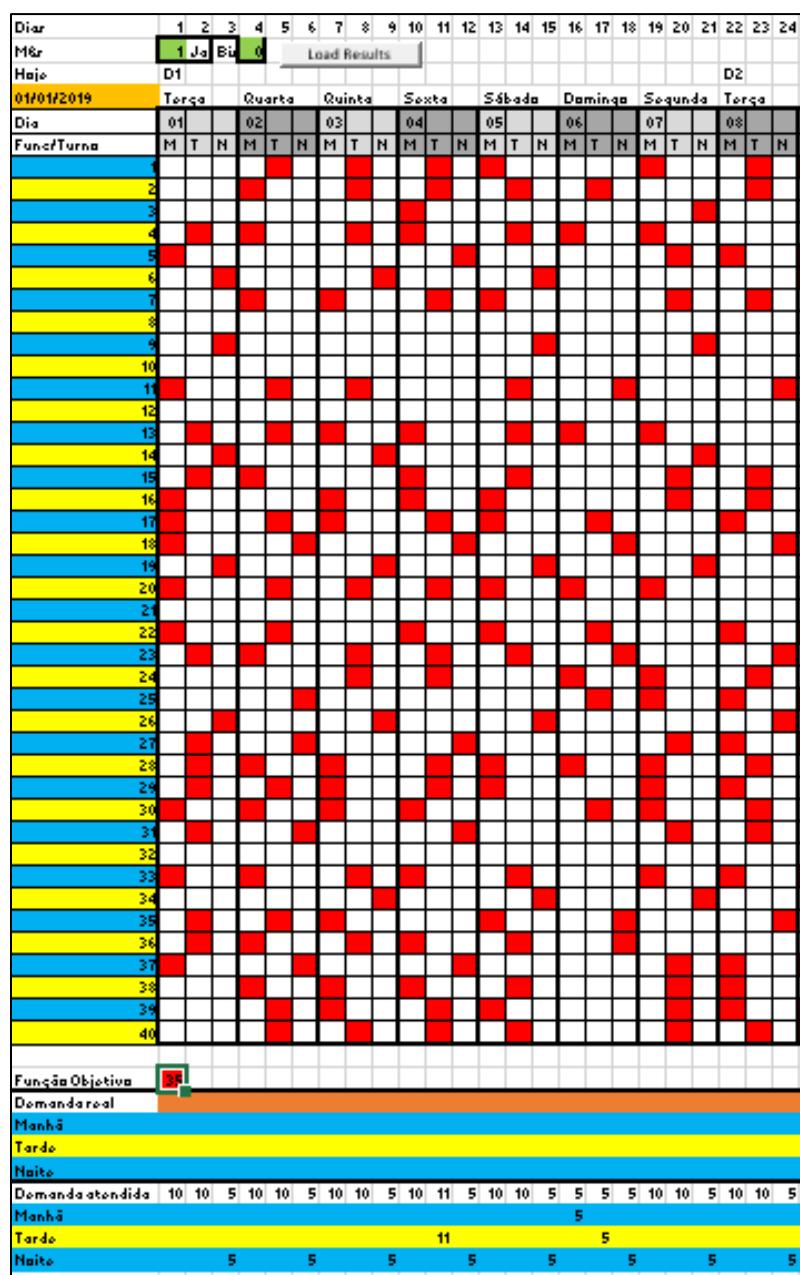


Figura 18 - Em detalhe o primeiro ajuste realizado

Fonte: O autor

A área laranja, com a função do Excel “=hoje()”, indicando o dia de trabalho (dia em que o cálculo está sendo realizado, bem como a mudança automática das datas e dias das semanas, está representada na figura acima.

O segundo ajuste realizado foi a criação de trinta e uma abas representando um horizonte de trinta e um dias para a previsão da demanda segundo os cálculos de Quadro de Pessoal (Teórico e Simplificado, de acordo com a constante de marinho e Total de Horas de Enfermagem), conforme a figura a seguir:

| Unidade de Atendimento                                     | Cirúrgica       |       |     |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|-----------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Data   | Leito Observado |       |     |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Número de Leitos   | 153             |       |     |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Área de Cuidado  | 1               | 2     | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1) Estado Mental   | 4               | 3     | 3   | 2   | 2   | 3   | 4   | 4   | 3   | 2   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2) Oxigenação  | 2               | 3     | 3   | 2   | 1   | 1   | 3   | 3   | 3   | 4   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 ) Sinais Vitais  | 3               | 4     | 1   | 4   | 3   | 1   | 2   | 3   | 1   | 1   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 4) Motilidade  | 2               | 4     | 4   | 4   | 1   | 1   | 1   | 3   | 3   | 1   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 5) Deambulação   | 1               | 4     | 1   | 4   | 1   | 4   | 2   | 4   | 4   | 3   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 6) Alimentação   | 4               | 2     | 1   | 2   | 4   | 4   | 4   | 4   | 1   | 2   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 7) Cuidado Corporal  | 4               | 3     | 1   | 2   | 2   | 2   | 4   | 1   | 4   | 3   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 8) Eliminação  | 3               | 3     | 4   | 3   | 1   | 3   | 3   | 2   | 1   | 4   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 9) Terapêutica   | 4               | 3     | 2   | 1   | 3   | 2   | 1   | 1   | 3   | 3   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 10) Integridade Cutaneomucosa/<br>Comprometimento tecidual | 2               | 3     | 4   | 1   | 4   | 1   | 4   | 3   | 4   | 4   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 11) Curativo   | 3               | 4     | 1   | 1   | 3   | 2   | 2   | 2   | 3   | 1   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 12) Tempo Utilizado no curativo                            | 4               | 3     | 2   | 3   | 4   | 3   | 1   | 1   | 4   | 3   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Total  | 36              | 39    | 27  | 29  | 29  | 27  | 31  | 31  | 34  | 31  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tipo de Cuidado  | CI              | CI    | CAD | CSI | CSI | CAD | CSI | CSI | CSI | CSI |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Quantidade de HE (Horas de Enfermagem)                     | TC              | HE/TC |     |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| CM   | 0               | 0     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| CI   | 10              | 56    |     |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| CAD  | 24              | 225,6 |     |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| CSI  | 43              | 404,2 |     |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| CI   | 10              | 179   |     |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| HE ou THE (Total de Horas de Enfermagem)                   | 864,8           |       |     |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Quadro de Pessoal Simplificado                             |                 |       |     |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Total de leitos utilizados                                 | 77              |       |     |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| TO (Taxa de Ocupação)                                      | 0,50            |       |     |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| DS (Dias da semana)  | 7               |       |     |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| IST (Índice de Segurança Técnica)                          | 15%             |       |     |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| JST (Jornada Semanal de Trabalho em horas)                 | 36              |       |     |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| QP (Quadro de Pessoal)                                     | 98,00           |       |     |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Quadro de Pessoal Teórico                                  |                 |       |     |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| DS   | 7               |       |     |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| IST  | 15%             |       |     |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| JST (ou Carga Horária Semanal)                             | 36              |       |     |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Km   | 0,22            |       |     |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| QP   | 193,38          |       |     |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Nível de Criticidade do setor                              | 0,51            |       |     |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Figura 19 - Aba com cálculo de QP segundo escala de Fugulin

Fonte: O autor

O último ajuste realizado foi a implementação de mais linhas representando mais enfermeiros uma vez que o hospital conta com cerca de quinhentos enfermeiros e técnicos de enfermagem. Dessa maneira com a base de valores de demanda da escala de Fugulin, foi possível obter alguns resultados que serão discutidos na próxima seção.

|    | A   | B                | C         | D    | E    | F    | G    | H    | I    | J    | K   | L   | M  |   |
|----|---|------------------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|----|---|
| 1  | Unidade de Atendimento  |                  |           |      |      |      |      |      |      |      |     |     |    |   |
| 2  | Data  |                  |           |      |      |      |      |      |      |      |     |     |    |   |
| 3  | 05/11/2019  |                  |           |      |      |      |      |      |      |      |     |     |    |   |
| 4  | Número de Leitos  |                  |           |      |      |      |      |      |      |      |     |     |    |   |
| 5  | 153   |                  |           |      |      |      |      |      |      |      |     |     |    |   |
| 6  | Área de Cuidado   | 1                | 2         | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10  | 11  | 12 |   |
| 7  | Leito Ativo?  | 1                | 1         | 1    | 1    | 1    | 1    | 0    | 1    | 0    | 1   | 1   | 0  |   |
| 8  | 1) Estado Mental  | 4                | 3         | 3    | 2    | 2    | 3    | 0    | 4    | 0    | 2   | 1   | 0  |   |
| 9  | 2) Oxigenação   | 0                | 3         | 3    | 2    | 1    | 1    | 0    | 3    | 0    | 4   | 2   | 0  |   |
| 10 | 3) Sinais Vitais  | 1                | 4         | 1    | 4    | 3    | 1    | 0    | 3    | 0    | 1   | 2   | 0  |   |
| 11 | 4) Motilidade   | 2                | 4         | 4    | 4    | 1    | 1    | 0    | 3    | 0    | 1   | 3   | 0  |   |
| 12 | 5) Deambulação  | 3                | 4         | 4    | 4    | 1    | 1    | 0    | 3    | 0    | 1   | 3   | 0  |   |
| 13 | 6) Alimentação  | 4                | 1         | 4    | 1    | 4    | 1    | 4    | 0    | 4    | 0   | 3   | 1  | 0 |
| 14 | 7) Cuidado Corporal   | 4                | 3         | 1    | 2    | 2    | 2    | 0    | 1    | 0    | 3   | 2   | 0  |   |
| 15 | 8) Eliminação   | 3                | 3         | 4    | 3    | 1    | 3    | 0    | 2    | 0    | 4   | 2   | 0  |   |
| 16 | 9) Terapêutica  | 4                | 3         | 2    | 1    | 3    | 2    | 0    | 1    | 0    | 3   | 4   | 0  |   |
| 17 | 10) Integridade<br>Cutâneo/mucosa/Comprometimento<br>tecidual |                  |           |      |      |      |      |      |      |      |     |     |    |   |
| 18 |   | 2                | 3         | 4    | 1    | 4    | 1    | 0    | 3    | 0    | 4   | 2   | 0  |   |
| 19 | 11) Curativo  | 3                | 4         | 1    | 1    | 3    | 2    | 0    | 2    | 0    | 1   | 1   | 0  |   |
| 20 | 12) Tempo Utilizado no curativo                               | 4                | 3         | 2    | 3    | 4    | 3    | 0    | 1    | 0    | 3   | 4   | 0  |   |
| 21 | Total   | 36               | 39        | 27   | 29   | 29   | 27   | 0    | 31   | 0    | 31  | 28  | 0  |   |
| 22 | Tipo de Cuidado   | CI               | CI        | CAD  | CSI  | CSI  | CAD  |      | CSI  |      | CSI | CAD |    |   |
| 23 | Quantidade de HE (Horas de Enfermagem)                        | TC               | HE/TC     |      |      |      |      |      |      |      |     |     |    |   |
| 24 | CM  | 0                | 0         |      |      |      |      |      |      |      |     |     |    |   |
| 25 | CI  | 10               | 56        |      |      |      |      |      |      |      |     |     |    |   |
| 26 | CAD   | 24               | 225,6     |      |      |      |      |      |      |      |     |     |    |   |
| 27 | CSI   | 41               | 385,4     |      |      |      |      |      |      |      |     |     |    |   |
| 28 | CI  | 10               | 179       |      |      |      |      |      |      |      |     |     |    |   |
| 29 | HE ou THE (Total de Horas de Enfermagem)                      |                  | 846       |      |      |      |      |      |      |      |     |     |    |   |
| 30 | Quadro de Pessoal Simplificado                                |                  |           |      |      |      |      |      |      |      |     |     |    |   |
| 31 | Total de leitos utilizados                                    | 75               |           |      |      |      |      |      |      |      |     |     |    |   |
| 32 | TO (Taxa de Ocupação)   | 0,49             |           |      |      |      |      |      |      |      |     |     |    |   |
| 33 | DS (Dias da semana)   | 7                |           |      |      |      |      |      |      |      |     |     |    |   |
| 34 | IST (Índice de Segurança Técnica)                             | 15%              |           |      |      |      |      |      |      |      |     |     |    |   |
| 35 | JST (Jornada Semanal de Trabalho em horas)                    | 36               |           |      |      |      |      |      |      |      |     |     |    |   |
| 36 | QP (Quadro de Pessoal)  | 93,00            |           |      |      |      |      |      |      |      |     |     |    |   |
| 37 | Quadro de Pessoal Teórico                                     |                  |           |      |      |      |      |      |      |      |     |     |    |   |
| 38 | DS  | 7                |           |      |      |      |      |      |      |      |     |     |    |   |
| 39 | IST   | 15%              |           |      |      |      |      |      |      |      |     |     |    |   |
| 40 | JST (ou Carga Horária Semanal)                                | 36               |           |      |      |      |      |      |      |      |     |     |    |   |
| 41 | Km  | 0,22             |           |      |      |      |      |      |      |      |     |     |    |   |
| 42 | QP  | 189,18           |           |      |      |      |      |      |      |      |     |     |    |   |
| 43 | Nível de Criticidade do setor                                 | 0,49             |           |      |      |      |      |      |      |      |     |     |    |   |
|    | Periodo   | Grafico_Demandas | Variaveis | FD00 | FD01 | FD02 | FD03 | FD04 | FD05 | FD06 |     |     |    |   |
|    | Pronto  |                  |           |      |      |      |      |      |      |      |     |     |    |   |

Figura 20 - Detalhe da planilha final com campos para 500 funcionários

Fonte: O autor

#### 4.3. Resultados

Durante o desenvolvimento do sistema de dimensionamento de escala de trabalho, houveram alguns testes para verificação da robustez do modelo matemático, foram realizados inicialmente testes com dez funcionários e escala de trabalho de manhã com dois funcionários, durante a tarde de dois funcionários e de noite de um funcionário, foi possível encontrar soluções factíveis para tal situação.

Aumentando-se a demanda para dez funcionários de manhã, dez funcionários para tarde e cinco para noite o sistema com possibilidade de agendamento até quarenta funcionários no máximo se mostrou suficiente para tal situação, porém ao aumentar-se a demanda, com vinte funcionários para manhã e tarde e dez a noite, o sistema retornou solução infactível, mostrando necessário um ajuste do número de funcionários máximo.

Ao se realizar o “*design*” da previsão da demanda com a escala de Fugulin, foi utilizado para o dimensionamento um número total de cinquenta leitos, mostrando-se necessário cerca de cinquenta a sessenta funcionários na escala, a resolução do sistema dura em menos de dez segundos.

Em seguida, ao utilizar os dados do hospital em relação a escala de Fugulin para a previsão da demanda, com o número de leitos da instituição de cento e cinquenta e três, o sistema necessitou de uma atualização, o valor máximo de funcionários possível foi atualizado para o que constava na indicação de enfermeiros no total.

Figura 21 - Detalhe da alteração na planilha de escala de trabalho

Fonte: O autor

Na figura anterior é possível ver que a expansão do sistema para mais funcionários é possível e sem grandes dificuldades, sendo necessário apenas alterar o número de linhas na planilha de escala e alterando o número de funcionários na programação Python, uma vez que o código já foi escrito pensando-se nessa possibilidade.

| Expl  | Unexpl | Obj       | Depth     | IntInf | Incumbent   | BestBd    | Gap       | It/Node | Time |     |
|---|--------|-----------|-----------|--------|-------------|-----------|-----------|---------|------|-----|
|   | 0      | 397.26923 | 0         | 336    | 500.00000   | 397.26923 | 20.5%     | -       | 17s  |     |
| H   | 0      | 0         |           |        | 477.0000000 | 397.26923 | 16.7%     | -       | 17s  |     |
|   | 0      | 397.26923 | 0         | 2337   | 477.00000   | 397.26923 | 16.7%     | -       | 17s  |     |
| H   | 0      | 0         |           |        | 475.0000000 | 397.26923 | 16.4%     | -       | 22s  |     |
|   | 0      | 0         | 407.15385 | 0      | 814         | 475.00000 | 407.15385 | 14.3%   | -    | 26s |
|   | 0      | 0         | 407.42877 | 0      | 1006        | 475.00000 | 407.42877 | 14.2%   | -    | 27s |
|   | 0      | 0         | 407.42877 | 0      | 1139        | 475.00000 | 407.42877 | 14.2%   | -    | 28s |
|   | 0      | 0         | 408.33406 | 0      | 374         | 475.00000 | 408.33406 | 14.0%   | -    | 32s |
| H   | 0      | 0         |           |        | 450.0000000 | 408.33406 | 9.26%     | -       | 32s  |     |
| H   | 0      | 0         |           |        | 447.0000000 | 408.33406 | 8.65%     | -       | 33s  |     |
|   | 0      | 0         | 411.99728 | 0      | 666         | 447.00000 | 411.99728 | 7.83%   | -    | 34s |
|   | 0      | 0         | 413.31983 | 0      | 828         | 447.00000 | 413.31983 | 7.53%   | -    | 34s |
|   | 0      | 0         | 413.32522 | 0      | 871         | 447.00000 | 413.32522 | 7.53%   | -    | 34s |
|   | 0      | 0         | 413.34261 | 0      | 886         | 447.00000 | 413.34261 | 7.53%   | -    | 35s |
|   | 0      | 0         | 413.37219 | 0      | 863         | 447.00000 | 413.37219 | 7.52%   | -    | 35s |
|   | 0      | 0         | 413.37219 | 0      | 870         | 447.00000 | 413.37219 | 7.52%   | -    | 35s |
|   | 0      | 0         | 423.46600 | 0      | 793         | 447.00000 | 423.46600 | 5.26%   | -    | 36s |
| H   | 0      | 0         |           |        | 446.0000000 | 423.46600 | 5.05%     | -       | 36s  |     |
| H   | 0      | 0         |           |        | 442.0000000 | 423.46600 | 4.19%     | -       | 36s  |     |
|   | 0      | 0         | 423.91346 | 0      | 752         | 442.00000 | 423.91346 | 4.09%   | -    | 36s |
|   | 0      | 0         | 423.91346 | 0      | 761         | 442.00000 | 423.91346 | 4.09%   | -    | 36s |
|   | 0      | 0         | 424.03846 | 0      | 867         | 442.00000 | 424.03846 | 4.06%   | -    | 37s |
| H   | 0      | 0         |           |        | 436.0000000 | 424.03846 | 2.74%     | -       | 37s  |     |
|   | 0      | 0         | 424.03846 | 0      | 892         | 436.00000 | 424.03846 | 2.74%   | -    | 37s |
|   | 0      | 0         | 424.03846 | 0      | 817         | 436.00000 | 424.03846 | 2.74%   | -    | 37s |
| H   | 0      | 0         |           |        | 434.0000000 | 424.03846 | 2.30%     | -       | 38s  |     |
|   | 0      | 0         | 424.03846 | 0      | 877         | 434.00000 | 424.03846 | 2.30%   | -    | 38s |
|   | 0      | 0         | 424.03846 | 0      | 482         | 434.00000 | 424.03846 | 2.30%   | -    | 39s |
|   | 0      | 0         | 424.03846 | 0      | 685         | 434.00000 | 424.03846 | 2.30%   | -    | 40s |
|   | 0      | 0         | 424.03846 | 0      | 417         | 434.00000 | 424.03846 | 2.30%   | -    | 41s |
|   | 0      | 0         | 424.03846 | 0      | 690         | 434.00000 | 424.03846 | 2.30%   | -    | 41s |
|   | 0      | 0         | 424.03846 | 0      | 398         | 434.00000 | 424.03846 | 2.30%   | -    | 42s |
|   | 0      | 0         | 424.03846 | 0      | 391         | 434.00000 | 424.03846 | 2.30%   | -    | 43s |
|   | 0      | 0         | 424.03846 | 0      | 391         | 434.00000 | 424.03846 | 2.30%   | -    | 51s |
| Cutting planes:   |        |           |           |        |             |           |           |         |      |     |
| Gomory: 2   |        |           |           |        |             |           |           |         |      |     |
| Cover: 221  |        |           |           |        |             |           |           |         |      |     |
| Clique: 1693  |        |           |           |        |             |           |           |         |      |     |
| MIR: 82   |        |           |           |        |             |           |           |         |      |     |
| StrongCG: 3   |        |           |           |        |             |           |           |         |      |     |
| Zero half: 19   |        |           |           |        |             |           |           |         |      |     |
| Explored 1 nodes (161858 simplex iterations) in 51.82 seconds |        |           |           |        |             |           |           |         |      |     |
| Thread count was 4 (of 4 available processors)                |        |           |           |        |             |           |           |         |      |     |
| Solution count 9: 434 436 442 ... 500                         |        |           |           |        |             |           |           |         |      |     |

Figura 22 - Detalhe do console Python utilizando o Gurobi

Fonte: O autor

Na figura anterior é possível observar que a melhor solução encontrada foi de quinhentos e trinta e quatro funcionários com tempo de procura de solução de 51,82 segundos, demonstrando como o aumento na demanda e número de funcionário impacta diretamente no tempo do resolução do PPLI, apesar disso, considerando-se o total de horas gasto diariamente no hospital, esse tempo é considerado bem baixo para resolução do PPLI, a figura ainda apresenta alguns dados como resultados heurísticos encontrados, número total de iterações simplex encontrados (161858 no total) e o “*GAP*” que é a diferença entre o “*Best Bound*” encontrado considerando-se números reais e a solução inteira.

A próxima figura mostra a comparação entre a demanda dos enfermeiros real e a demanda atendida. Nela é possível se verificar a aderência entre a solução encontrada e a solução real.

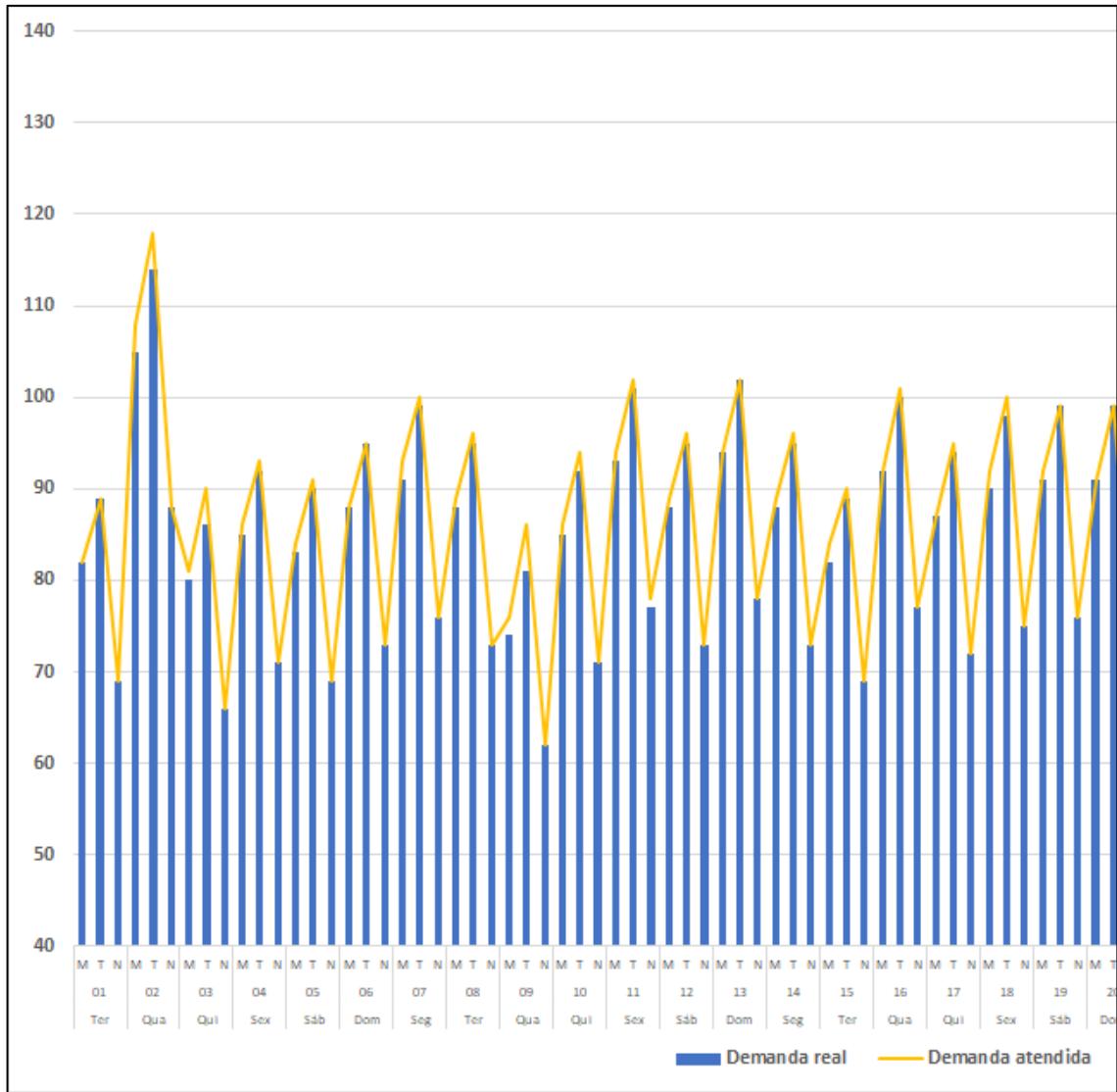


Figura 23 - Detalhe do gráfico de demanda real x demanda atendida

Fonte: O autor

Uma segunda iteração já se sabendo o número ideal de enfermeiros pode ser utilizada para fornecer uma folga a curva de demanda real, nessa iteração o tempo de resolução diminui, uma vez que não há um menor número de iterações a ser realizar. Na nova iteração, fixando-se o número de funcionários, e admitindo uma nova função objetivo que é a maximizar o número de turnos trabalhados, admitindo um número mínimo de horas de trabalho mensal é utilizado na nova iteração.

A nova função objetivo será:  $\max z = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{31} \sum_{k=1}^3 X_{i,j,k}$  (33)

Em detalhe a figura a seguir mostra os console do Python:

```

Optimize a model with 92535 rows, 40796 columns and 566370 nonzeros
Variable types: 0 continuous, 40796 integer (40796 binary)
Coefficient statistics:
    Matrix range      [1e+00, 1e+06]
    Objective range   [1e+00, 1e+00]
    Bounds range      [1e+00, 1e+00]
    RHS range         [1e+00, 1e+06]
Presolve removed 88618 rows and 36642 columns
Presolve time: 2.99s
Presolved: 3917 rows, 4154 columns, 30418 nonzeros
Variable types: 0 continuous, 4154 integer (4154 binary)

Root relaxation: objective 8.717000e+03, 5494 iterations, 0.55 seconds

      Nodes    |    Current Node    |    Objective Bounds      |    Work
Expl Unexpl |  Obj  Depth IntInf |  Incumbent    BestBd   Gap |  It/Node Time
*     0      0            0    8717.000000  8717.00000  0.00%   -      4s

Explored 0 nodes (7112 simplex iterations) in 4.10 seconds
Thread count was 4 (of 4 available processors)

Solution count 1: 8717

Optimal solution found (tolerance 1.00e-04)
Best objective 8.71700000000e+03, best bound 8.71700000000e+03, gap 0.0000%

```

Figura 24 - Segunda Iteração no Python

Fonte: O autor

Observar que o número de máximo de turnos alocados para essa situação foi de oito mil setecentos e dezessete turnos alocados, ao compararmos com a situação anterior, obteve-se uma alocação de oito mil e oitenta e um turnos alocados, o que representa uma alocação 7,87 % maior que na situação sem a procura de maximização de turnos.

E o gráfico da demanda com um adicional de índice de segurança terá as alterações como na figura a seguir:

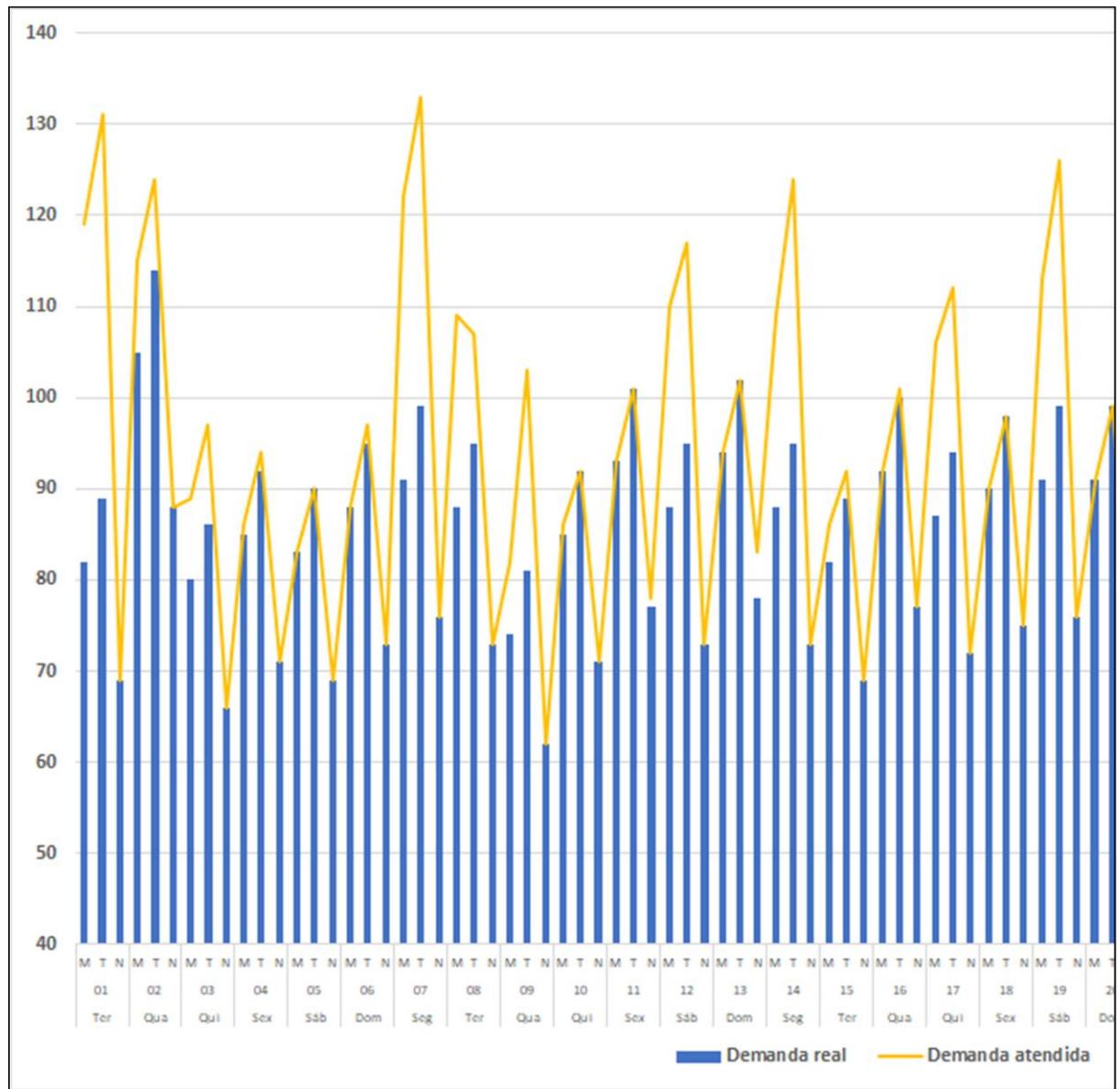


Figura 25 - Demanda real x Demanda atendida, com folga

Fonte: O autor

É necessário observar que alguns dias ficarão com uma demanda atendida um pouco superior que em relação a demanda real, e que não há situação que a demanda real não seja atendida pelo algoritmo.

Quanto ao tempo de geração de escalas, observou-se a diminuição na geração das escalas de trabalho para cerca de 5 minutos em relação a geração da escala tradicional de “*self-scheduling*”, que levava até 1 hora, essa economia representa cerca de 91,66% de diminuição

do tempo de geração de escala, uma vez que o grande parte da geração de escalas era feito de maneira manual.

Finalmente, com esse resultado, espera-se a melhoria do bem-estar social tanto dos enfermeiros quanto dos pacientes, uma vez que um dos recursos mais importantes e escassos no Brasil, que é a mão de obra qualificada, está sendo utilizada de forma mais adequada, gerando dessa forma um melhor nível de atendimento no hospital.

#### 4.4. Teste de cenários

Como teste para verificação da robustez do sistema foram realizados 2 testes de cenários, a primeira considerando um pior cenário (demanda maior) e outro um melhor cenário (demanda menor).

- Pior Cenário:

Para a utilização da maior demanda, a demanda de todos os dias foi aumentada em 10%, em todos os dias do período. dessa forma pode-se obter uma solução factível com um número de funcionários de 477 alocados durante o período, com tempo de resolução de 49,68 segundos. Cabe salientar que as iterações começaram da última solução encontrada que é a do cenário com demanda sem alterações. Observe a Figura 26:

| Root relaxation: objective 4.368462e+02, 10930 iterations, 1.56 seconds |              |           |       |                  |             |           |       |              |
|---|--------------|-----------|-------|------------------|-------------|-----------|-------|--------------|
| Nodes   | Current Node |           |       | Objective Bounds |             |           | Work  |              |
| Expl  | Unexpl       | Obj       | Depth | IntInf           | Incumbent   | BestBd    | Gap   | It/Node Time |
| 0   | 0            | 436.84615 | 0     | 333              | -           | 436.84615 | -     | - 14s        |
| 0   | 0            | 436.84615 | 0     | 2461             | -           | 436.84615 | -     | - 15s        |
| 0   | 0            | 448.10247 | 0     | 1163             | -           | 448.10247 | -     | - 25s        |
| 0   | 0            | 448.94906 | 0     | 1108             | -           | 448.94906 | -     | - 26s        |
| 0   | 0            | 450.82906 | 0     | 1043             | -           | 450.82906 | -     | - 27s        |
| 0   | 0            | 452.05128 | 0     | 1001             | -           | 452.05128 | -     | - 27s        |
| 0   | 0            | 452.29701 | 0     | 916              | -           | 452.29701 | -     | - 28s        |
| 0   | 0            | 452.54274 | 0     | 877              | -           | 452.54274 | -     | - 28s        |
| 0   | 0            | 452.54274 | 0     | 837              | -           | 452.54274 | -     | - 28s        |
| 0   | 0            | 465.22436 | 0     | 332              | -           | 465.22436 | -     | - 31s        |
| H   | 0            | 0         |       |                  | 487.0000000 | 465.22436 | 4.47% | - 31s        |
| H   | 0            | 0         |       |                  | 477.0000000 | 465.22436 | 2.47% | - 31s        |

Figura 26 - Detalhe da iteração inicial para o pior cenário

Fonte: O autor

Como forma de otimizar os resultados, se a planilha tiver uma solução factível já encontrado, o mesmo será usado como ponto de partida para se encontrar soluções factíveis e consequentemente a função objetivo. A resposta no console do Python mostra a melhor solução objetivo encontrada observe a Figura 27:

```

H 0 0 487.0000000 465.22436 4.47% - 31s
H 0 0 477.0000000 465.22436 2.47% - 31s
0 0 466.30769 0 562 477.00000 466.30769 2.24% - 31s
0 0 466.30769 0 547 477.00000 466.30769 2.24% - 31s
0 0 466.30769 0 586 477.00000 466.30769 2.24% - 31s
0 0 466.52991 0 676 477.00000 466.52991 2.19% - 32s
0 0 466.52991 0 647 477.00000 466.52991 2.19% - 32s
0 0 469.74359 0 500 477.00000 469.74359 1.52% - 32s
0 0 469.82692 0 540 477.00000 469.82692 1.50% - 33s
0 0 469.82692 0 529 477.00000 469.82692 1.50% - 33s
0 0 473.97436 0 250 477.00000 473.97436 0.63% - 33s
0 0 473.97436 0 242 477.00000 473.97436 0.63% - 34s
0 0 475.52991 0 176 477.00000 475.52991 0.31% - 35s
0 0 475.52991 0 159 477.00000 475.52991 0.31% - 35s
0 0 475.75214 0 143 477.00000 475.75214 0.26% - 35s
0 0 475.75214 0 149 477.00000 475.75214 0.26% - 36s
0 0 475.75214 0 138 477.00000 475.75214 0.26% - 36s
0 0 475.75214 0 135 477.00000 475.75214 0.26% - 36s
0 0 475.75214 0 49 477.00000 475.75214 0.26% - 37s
0 0 475.97436 0 54 477.00000 475.97436 0.22% - 37s
0 0 475.97436 0 48 477.00000 475.97436 0.22% - 37s
0 0 475.97436 0 36 477.00000 475.97436 0.22% - 38s
0 0 475.97436 0 50 477.00000 475.97436 0.22% - 38s
0 0 475.97436 0 91 477.00000 475.97436 0.22% - 38s
0 0 475.97436 0 87 477.00000 475.97436 0.22% - 39s
0 0 475.97436 0 32 477.00000 475.97436 0.22% - 39s
0 0 475.97436 0 41 477.00000 475.97436 0.22% - 40s
0 0 475.97436 0 33 477.00000 475.97436 0.22% - 41s
0 0 475.97436 0 32 477.00000 475.97436 0.22% - 41s
0 0 475.97436 0 32 477.00000 475.97436 0.22% - 49s

Cutting planes:
Gomory: 51
Cover: 155
Clique: 1819
MIR: 67
Zero half: 4

Explored 1 nodes (124554 simplex iterations) in 49.68 seconds
Thread count was 4 (of 4 available processors)

Solution count 2: 477 487

Optimal solution found (tolerance 1.00e-04)
Best objective 4.770000000000e+02, best bound 4.770000000000e+02, gap 0.0000%

```

Figura 27 - Melhor solução encontrada no pior cenário

Fonte: O autor

O gráfico de melhor demanda está representado a Figura 28:

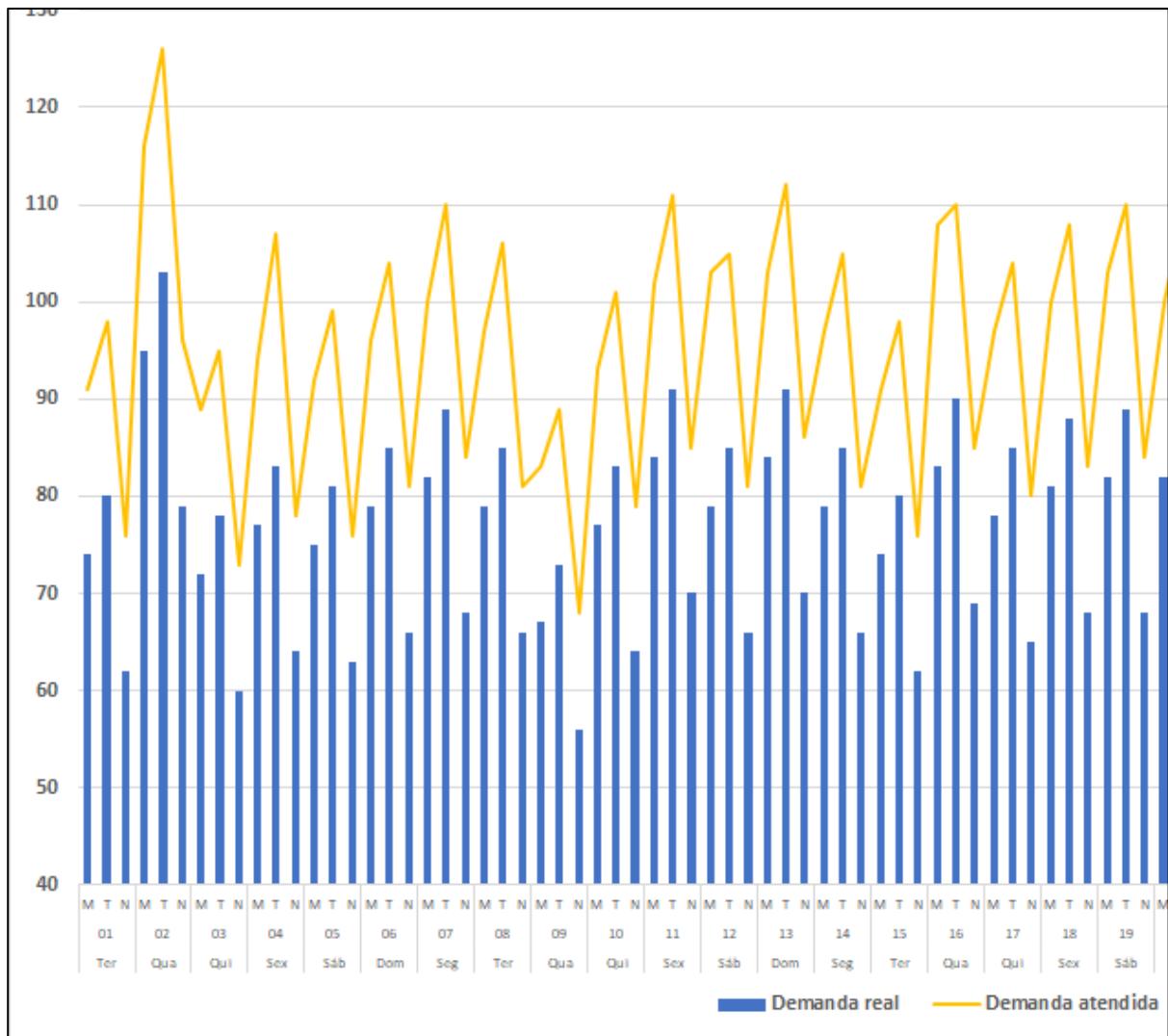


Figura 28 - Gráfico de demanda real x demanda atendida para o pior cenário

Fonte: O autor

Observe que apesar da demanda diminuir, a solução encontrada não foi exatamente igual a demanda atendida, não havendo, porém, dias com que a demanda real fosse maior que a demanda atendida.

```

Optimize a model with 101694 rows, 44838 columns and 622485 nonzeros
Variable types: 0 continuous, 44838 integer (44838 binary)
Coefficient statistics:
    Matrix range      [1e+00, 1e+06]
    Objective range   [1e+00, 1e+00]
    Bounds range      [1e+00, 1e+00]
    RHS range         [1e+00, 1e+06]
Presolve removed 97400 rows and 40281 columns (presolve time = 6s) ...
Presolve removed 97400 rows and 40281 columns
Presolve time: 5.76s
Presolved: 4294 rows, 4557 columns, 33369 nonzeros
Variable types: 0 continuous, 4557 integer (4557 binary)

Root simplex log...

Iteration    Objective      Primal Inf.    Dual Inf.    Time
      0    9.7260000e+03    6.711000e+03    0.000000e+00    6s
    6338    9.5730000e+03    0.000000e+00    0.000000e+00    7s

Root relaxation: objective 9.573000e+03, 6338 iterations, 0.99 seconds

      Nodes    |    Current Node    |    Objective Bounds        |     Work
      Expl  Unexpl |  Obj  Depth IntInf |  Incumbent    BestBd   Gap | It/Node Time
*      0        0            0    9573.000000  9573.0000  0.00%    -    7s

Explored 0 nodes (8264 simplex iterations) in 7.86 seconds
Thread count was 4 (of 4 available processors)

Solution count 1: 9573

Optimal solution found (tolerance 1.00e-04)
Best objective 9.57300000000e+03, best bound 9.57300000000e+03, gap 0.0000%

```

Figura 29 - Resultado no console Python no pior cenário resultado melhorado

Fonte: O autor

Como resultado melhorado obteve-se uma alocação de 9573 alocações frente a 8832 alocações anteriores, resultando em uma melhoria de 8,32%, com tempo de resolução de 7,86 segundos e aumentando-se o tempo total de resolução para 57,54 segundos.

- Melhor cenário:

Como teste para melhor cenário, diminui-se a demanda em 10% para todos os dias do período testado, e a melhor solução encontrada, a seguir a Figura 30, mostra o detalhe do console no início das iterações:

| Iteration  | Objective     | Primal Inf.  | Dual Inf.    | Time                                 |
|--|---------------|--------------|--------------|--------------------------------------|
| 0  | 0.0000000e+00 | 7.234000e+03 | 0.000000e+00 | 17s                                  |
| 8940   | 3.5780769e+02 | 0.000000e+00 | 0.000000e+00 | 19s                                  |
| Root relaxation: objective 3.578077e+02, 8940 iterations, 2.39 seconds |               |              |              |                                      |
| Total elapsed time = 21.48s  |               |              |              |                                      |
| Nodes  | Current Node  | Objective    | Bounds       | Work                                 |
| Expl   | Unexpl        | Obj          | Depth IntInf | Incumbent BestBd Gap It/Node Time    |
|  |               |              |              |                                      |
| H  | 0             | 357.80769    | 0            | 329 500.00000 357.80769 28.4% - 22s  |
| H  | 0             |              |              | 466.0000000 357.80769 23.2% - 22s    |
| H  | 0             |              |              | 461.0000000 357.80769 22.4% - 23s    |
| H  | 0             | 357.80769    | 0            | 2164 461.00000 357.80769 22.4% - 24s |
| H  | 0             |              |              | 457.0000000 357.80769 21.7% - 30s    |
| H  | 0             | 366.73077    | 0            | 759 457.00000 366.73077 19.8% - 35s  |
| H  | 0             | 367.14012    | 0            | 305 457.00000 367.14012 19.7% - 44s  |
| H  | 0             |              |              | 421.0000000 367.14012 12.8% - 44s    |
| H  | 0             |              |              | 413.0000000 367.14012 11.1% - 44s    |
| H  | 0             | 367.39238    | 0            | 448 413.00000 367.39238 11.0% - 45s  |

Figura 30 - Detalhe da iteração inicial para o melhor cenário

Fonte: O autor

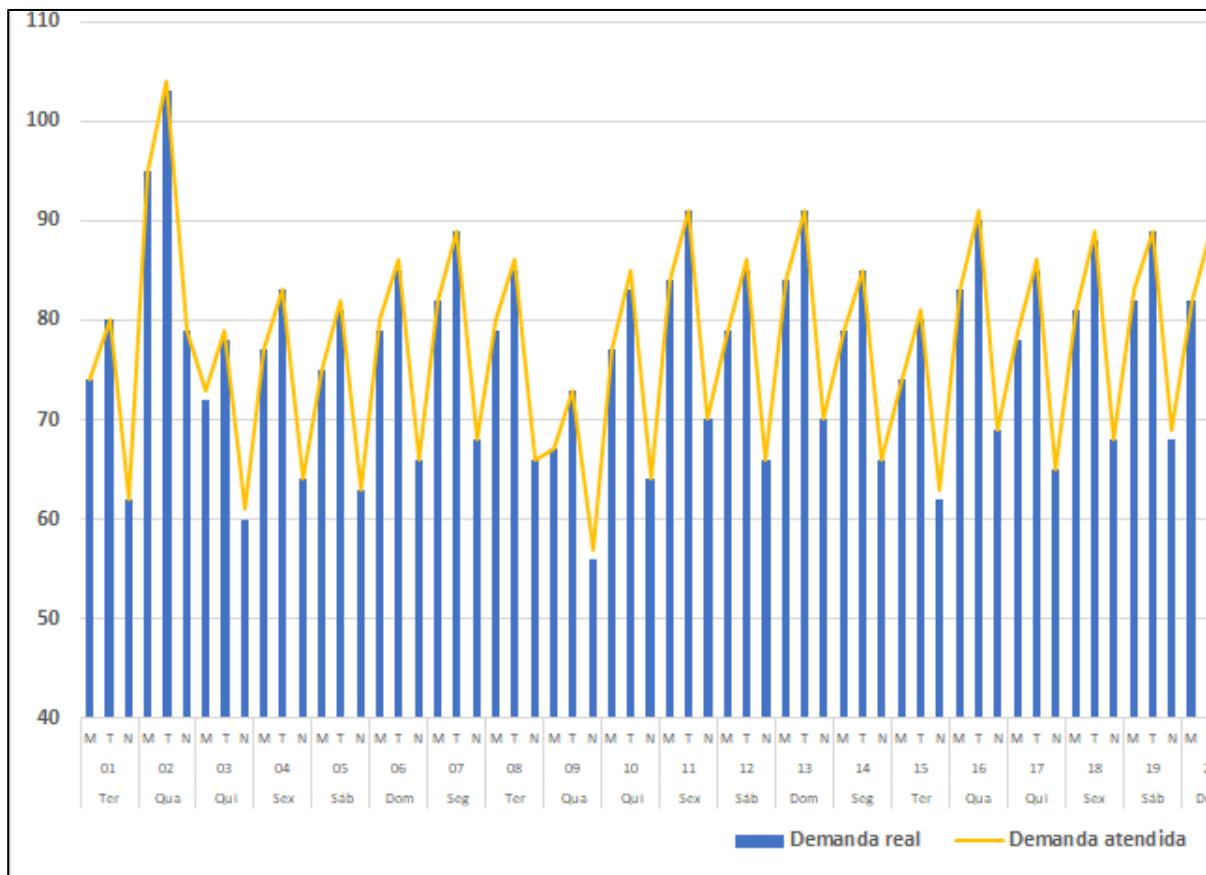
Na procura de soluções factíveis, porém o módulo Gurobi partiu de uma solução simplex de 357,80769, sendo a solução não inteira, as iterações continuaram com as soluções inteiras, até ser encontrada a melhor solução de 391 enfermeiros alocados com tempo de procura de solução de 109,21 segundos, como pode ser observado na Figura 31:

|   |   |           |   |     |           |           |       |   |      |
|---|---|-----------|---|-----|-----------|-----------|-------|---|------|
| 0   | 0 | 381.65385 | 0 | 735 | 391.00000 | 381.65385 | 2.39% | - | 60s  |
| 0   | 0 | 381.65385 | 0 | 649 | 391.00000 | 381.65385 | 2.39% | - | 61s  |
| 0   | 0 | 381.65385 | 0 | 688 | 391.00000 | 381.65385 | 2.39% | - | 62s  |
| 0   | 0 | 382.45940 | 0 | 592 | 391.00000 | 382.45940 | 2.18% | - | 63s  |
| 0   | 0 | 382.57051 | 0 | 606 | 391.00000 | 382.57051 | 2.16% | - | 64s  |
| 0   | 0 | 382.57913 | 0 | 609 | 391.00000 | 382.57913 | 2.15% | - | 65s  |
| 0   | 0 | 386.97950 | 0 | 542 | 391.00000 | 386.97950 | 1.03% | - | 66s  |
| 0   | 0 | 386.97950 | 0 | 494 | 391.00000 | 386.97950 | 1.03% | - | 67s  |
| 0   | 0 | 389.48718 | 0 | 260 | 391.00000 | 389.48718 | 0.39% | - | 67s  |
| 0   | 0 | 389.48718 | 0 | 317 | 391.00000 | 389.48718 | 0.39% | - | 69s  |
| 0   | 0 | 389.48718 | 0 | 218 | 391.00000 | 389.48718 | 0.39% | - | 69s  |
| 0   | 0 | 389.48718 | 0 | 261 | 391.00000 | 389.48718 | 0.39% | - | 70s  |
| 0   | 0 | 389.48718 | 0 | 125 | 391.00000 | 389.48718 | 0.39% | - | 72s  |
| 0   | 0 | 389.48718 | 0 | 193 | 391.00000 | 389.48718 | 0.39% | - | 73s  |
| 0   | 0 | 389.48718 | 0 | 82  | 391.00000 | 389.48718 | 0.39% | - | 75s  |
| 0   | 0 | 389.48718 | 0 | 165 | 391.00000 | 389.48718 | 0.39% | - | 75s  |
| 0   | 0 | 389.48718 | 0 | 73  | 391.00000 | 389.48718 | 0.39% | - | 78s  |
| 0   | 0 | 389.48718 | 0 | 159 | 391.00000 | 389.48718 | 0.39% | - | 78s  |
| 0   | 0 | 389.48718 | 0 | 72  | 391.00000 | 389.48718 | 0.39% | - | 81s  |
| 0   | 0 | 389.48718 | 0 | 155 | 391.00000 | 389.48718 | 0.39% | - | 82s  |
| 0   | 0 | 389.48718 | 0 | 64  | 391.00000 | 389.48718 | 0.39% | - | 84s  |
| 0   | 0 | 389.48718 | 0 | 59  | 391.00000 | 389.48718 | 0.39% | - | 84s  |
| 0   | 0 | 389.48718 | 0 | 59  | 391.00000 | 389.48718 | 0.39% | - | 109s |
| <br>Cutting planes:   |   |           |   |     |           |           |       |   |      |
| Cover: 222  |   |           |   |     |           |           |       |   |      |
| Clique: 1477  |   |           |   |     |           |           |       |   |      |
| MIR: 173  |   |           |   |     |           |           |       |   |      |
| StrongCG: 9   |   |           |   |     |           |           |       |   |      |
| Zero half: 10   |   |           |   |     |           |           |       |   |      |
| <br>Explored 1 nodes (159664 simplex iterations) in 109.21 seconds          |   |           |   |     |           |           |       |   |      |
| Thread count was 4 (of 4 available processors)                              |   |           |   |     |           |           |       |   |      |
| <br>Solution count 10: 391 405 407 ... 466                                  |   |           |   |     |           |           |       |   |      |
| <br>Optimal solution found (tolerance 1.00e-04)                             |   |           |   |     |           |           |       |   |      |
| Best objective 3.91000000000e+02, best bound 3.91000000000e+02, gap 0.0000% |   |           |   |     |           |           |       |   |      |

Figura 31 - Melhor solução encontrada no melhor cenário

Fonte: o autor

Finalmente como gráfico de melhor cenário, obteve-se o gráfico da Figura 32:



Fonte: o autor

É possível se observar que da mesma forma que o pior cenário, a demanda real foi totalmente atendida, porém ao invés de todos os dias haver uma alocação maior que a real, houve apenas alguns dias onde a alocação foi maior que a real. Uma iteração procurando maximizar o número de alocações será necessária. Como foi realizada no cenário real sem aumento da demanda (pior cenário) nem diminuição da demanda (melhor cenário), como é observado na Figura 33:

```
Optimize a model with 83376 rows, 36754 columns and 510255 nonzeros
Variable types: 0 continuous, 36754 integer (36754 binary)
Coefficient statistics:
    Matrix range      [1e+00, 1e+06]
    Objective range   [1e+00, 1e+00]
    Bounds range      [1e+00, 1e+00]
    RHS range         [1e+00, 1e+06]
Presolve removed 79865 rows and 33034 columns
Presolve time: 2.98s
Presolved: 3511 rows, 3720 columns, 27240 nonzeros
Variable types: 0 continuous, 3720 integer (3720 binary)

Root relaxation: objective 7.846000e+03, 4607 iterations, 0.34 seconds

      Nodes    |    Current Node    |    Objective Bounds      |     Work
      Expl  Unexpl |    Obj  Depth IntInf |   Incumbent    BestBd   Gap | It/Node Time
H      0      0            7846.000000  8571.00000  9.24%      -     3s
      0      0            -      0    7846.00000  7846.00000  0.00%      -     3s

Explored 0 nodes (8590 simplex iterations) in 3.93 seconds
Thread count was 4 (of 4 available processors)

Solution count 1: 7846

Optimal solution found (tolerance 1.00e-04)
Best objective 7.84600000000e+03, best bound 7.84600000000e+03, gap 0.0000%
```

Figura 33 - Resultado da melhoria na alocação no melhor cenário

Fonte: O autor

No resultado na melhoria das alocações, obteve-se uma alocação total de 7846 alocações frente a 7234 alocações anterior, uma melhoria nas alocações e 8,46%, com tempo gasto nesta solução de 3,93 segundos, aumentando o tempo total de solução para 112,51 segundos.

#### 4.5. Próximos passos

Para a implantação do sistema de escalonamento serão necessários três etapas, na qual a primeira está quase completamente finalizada, sendo necessário o ajuste da planilha para cada setor do hospital com o número de colaboradores já contratados e mudança do layout para o layout utilizado pela equipe gerencial, bem como colocar um setup de condições para influenciar o código na escolha de certas condições, como a folga escolhida por cada colaborador na medida do possível, será necessário portanto, implementar uma ou mais restrições para cada condição.

A segunda etapa é a criação de um sistema para verificar o nível de atendimento de cada setor, representando os nível verde, amarelo e vermelho, nesta etapa, a automatização de quantos enfermeiros devem ser transferidos de um setor para outro é um caso a ser implementado, uma vez que pouparia o tempo dos enfermeiros, como já é feito no hospital, porém de forma praticamente manual, após realizados os cálculos de criticidade de cada setor.

A terceira etapa é a etapa de implementação, onde o projeto será implementado no hospital, ou em parte dela, de acordo com a necessidade e as peculiaridades de cada setor dentro do hospital. Cabe salientar que reuniões com os gerentes (enfermeiros-chefe) de cada setor serão necessárias durante todas as etapas do desenvolvimento do projeto.

Etapas intermediárias podem ser necessárias para ajuste fino dos sistemas e entradas de novas restrições pedidas pelo hospital e pelos enfermeiros, bem como de novos indicadores.

## 5. CONCLUSÃO

O trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um sistema de dimensionamento de escalas de trabalho para os diferentes setores de enfermaria do Hospital de Transplantes de São Paulo Euclídes de Jesus Zerbini, visando minimizar o tempo gasto pela gerência e enfermeiros-chefes em tal tarefa, gerando uma escala mensal e gerando um indicador do nível de criticidade do setor. Os objetivos foram atingidos com a modelagem matemática em PLI do problema e entendimento das restrições, legais, da profissão e humanas.

Foram necessárias diversas conversas com a enfermeira-chefe do hospital para entendimento da necessidade do hospital e do material necessário para implementação do sistema de dimensionamento, principalmente de algumas peculiaridades do sistema de saúde. Dessa forma o desenvolvimento do sistema de dimensionamento de escalas de trabalho resultou em alguns resultados interessantes, uma vez que houve muito aprendizado de como a regulamentação trabalhista geral funciona, não se restringindo à regulamentação da área de saúde, além disso a aprendizagem de novas ferramentas de programação como o VBA e do uso da biblioteca Gurobi para Python.

Uma análise dos resultados obtidos em relação a demanda real mostrou que o modelo matemático cria uma escala de trabalho bem próxima a demanda real, atendendo os aspectos legais e as peculiaridades da profissão, além disso, com o segundo ajuste realizado, obteve-se uma melhoria de até 7,87 % no nível de serviço, uma vez que ainda haviam lacunas para serem preenchidas melhorando-se as horas mínimas necessárias, como resultado também houve uma diminuição do tempo de 91,66 % no tempo da geração de escalas em relação a geração tradicional feito por “*self-scheduling*”.

Como resultado, a melhoria do bem estar social ocorre, uma vez que a geração de escalas toma menos tempo dos enfermeiros chefes, levando-os a dedicar maior tempo no sua real vocação que é a de salvar vidas, buscando melhorar a sua qualidade de vida, além disso, como resultado, pode-se observar uma melhoria do uso recursos do hospital e consequentemente do seu nível de serviço.



## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- ALESP. (08 de 09 de 2013). *SP: Assembleia aprova redução da jornada de trabalho da Saúde para 30 horas.* Fonte: COFEN: [http://www.cofen.gov.br/sp-assembleia-aprova-reducao-da-jornada-de-trabalho-da-saude-para-30-horas\\_21746.html](http://www.cofen.gov.br/sp-assembleia-aprova-reducao-da-jornada-de-trabalho-da-saude-para-30-horas_21746.html)
- Alexandre Leite Rangel, Y. D. (2007). *Elaboração automática da escala periódica de trabalho dos profissionais de enfermagem por meio de um software específico.* Fonte: Revista Eletrônica de Enfermagem: [https://www.fen.ufg.br/fen\\_revista/v9/n1/v9n1a02.htm](https://www.fen.ufg.br/fen_revista/v9/n1/v9n1a02.htm)
- Bailyn, L., Collins, R., & Song, Y. (2005). Implementation of a Self-Scheduling System for Hospital Nurses: Guidelines and Pitfalls.
- Boaventura, E. M. (2004). *Metodologia da Pesquisa: Monografia, dissertação e tese.* São Paulo: Atlas.
- Burke, E. K., Causmaecker, P. d., Berghe, G. V., & Landeghem, H. V. (22 de Maio de 2004). *The State of The Art of Nurse Rostering.* Fonte: Research Gate: [https://www.researchgate.net/publication/220366435\\_The\\_State\\_of\\_the\\_Art\\_of\\_Nursing\\_Rostering](https://www.researchgate.net/publication/220366435_The_State_of_the_Art_of_Nursing_Rostering)
- Cheang, B., Li, H., Lim, A., & Rodrigues, B. (2003). Nurse Rostering Problems: A Bibliographic Survey.
- COFEN. (25 de 03 de 1996). *Resolução 189/1996.* Fonte: Conselho Regional de Enfermagem: [http://www.cofen.gov.br/resolucao-cofen-1891996-revogada-pela-resolucao-cofen-2932004\\_4249.html](http://www.cofen.gov.br/resolucao-cofen-1891996-revogada-pela-resolucao-cofen-2932004_4249.html)
- COFEN. (21 de 09 de 2004). *Resolução 293/2004.* Fonte: Conselho Federal de Enfermagem: [http://www.cofen.gov.br/resolucao-cofen-2932004\\_4329.html](http://www.cofen.gov.br/resolucao-cofen-2932004_4329.html)
- COFEN. (08 de 05 de 2017). *Resolução 543/2017 Completa - Diário Oficial da União, versão digital.* Fonte: COFEN - Conselho Federal de Enfermagem: <http://www.cofen.gov.br/wp-content/uploads/2017/05/Resolu%C3%A7%C3%A3o-543-17-completa.pdf>
- COFEN, C. F. (2017). *Anexo I - Conceitos e metodologia de cálculo de pessoal de enfermagem.* Fonte: RESOLUÇÃO COFEN N 0543/2017: <http://www.cofen.gov.br/wp-content/uploads/2017/05/Resolu%C3%A7%C3%A3o-543-2017-ANEXO-I.pdf>

Dantzig, G. B., & Wolfe, P. (1960). *Decomposition principle for linear programs. Operations Research.*

EBSERH. (09 de 08 de 2017). *CLASSIFICAÇÃO DA COMPLEXIDADE DA ASSISTÊNCIA DE ENFERMAGEM: SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DE PACIENTES SEGUINDO A ESCALA DE FUGULIN.* Fonte: EBSERH - Empresa Brasileira de Serviços Hospitalares: <http://divenf.heufpel.com.br/wp-content/uploads/sites/8/2017/10/G49-CLASSIFICA%C3%87%C3%83O-DA-COMPLEXIDADE-DA-ASSISTENCIA-DE-ENFERMAGEM.pdf>

Fernanda Maria Togueiro Fugulin, R. R. (2005). *Sistema de classificação de pacientes: identificação do perfil assistencial dos pacientes das unidades de internação do HU-USP.* *Rev Lat Am Enfermagem.* Fonte: Scielo: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-11692005000100012](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-11692005000100012)

FONSECA, J. J. (2002). *Metodologia da pesquisa científica.* São Paulo: Editora Atlas.

Fugulin, F. M. (s.d.). *Escala de Fugulim.* Fonte: EBSERH - Empresa Brasileira de Serviços Hospitalares: <http://www2.ebserh.gov.br/documents/147715/0/Escala+de+Fugulin.pdf/3fc98160-3cdf-492c-841e-d417d8bdbba5b>

Gaidzinski, R. R. (1991). *Dimensionamento de pessoal de enfermagem.* In: Kurcgant P, Org. *Administração em enfermagem.* São Paulo.

GettApp. (22 de 10 de 2019). *GetApp, When I Work?* Fonte: <https://www.getapp.com/hr-employee-management-software/a/when-i-work/>

Gil, A. C. (2017). *Como Elaborar Projetos de Pesquisa.* Editora Atlas S.A.

Gomes, R. A., Toffolo, T. A., Santos, H. G., & Coelho, N. O. (27 a 30 de Agosto de 2017). *SOFTWARE WEB PARA O PROBLEMA DE ESCALONAMENTO DE ENFERMEIRAS.* Fonte: <http://www.sopo2017.iltc.br/>: <http://www.sopo2017.iltc.br/pdf/169290.pdf>

Gurobi Optimization, L. (2019). *Gurobi Optimization.* Fonte: <https://www.gurobi.com/>

Joint Commission Resources. (2008). *Gerenciando o Fluxo de Pacientes, Estratégias e Soluções para lidar com a superlotação hospitalar.* Porto Alegre: Artmed.

Laus, P. D. (s.d.). *Dimensionamento de Pessoal de Enfermagem.* Fonte: <https://slideplayer.com.br/slide/14402121/>

Microsoft. (02 de 11 de 2017). *Gráfico de Gantt para agendamento de trabalho*. Fonte: docs.microsoft: <https://docs.microsoft.com/pt-br/dynamics365/supply-chain/production-control/visual-scheduling-production>

Microsoft. (02 de 11 de 2019). *Excel*. Fonte: <https://products.office.com/pt-br/excel>

Monk, T. H. (1986). "Advantages and disadvantages of rapidly rotating shift schedules. A circadian viewpoint, *Human Factors*".

Mueller, C. W. (1990). "Nurses' job satisfaction: A proposed measure, *Nursing Research*".

Mueller, C., & McCloskey, J. (01 de 03 de 1990). Nurses' Job Satisfaction: A Proposed Measure.

Oracle. (22 de 10 de 2019). *Oracle Net Suite*. Fonte: ZUUS Workforce - Scheduling and Time & Attendance: <http://suiteapp.com/Zuus-Scheduling-and-Time-and-Attendance-for-NetSuite>

PACE\_Systems\_Inc. (22 de 10 de 2019). *PaceScheduler*. Fonte: <https://www.pacescheduler.com/>

PLANILHAS, L. (22 de 10 de 2019). *Planilha de Escala de Trabalho em Excel 4.0*. Fonte: Luz planilhas empresariais: <https://luz.vc/planilhas-empresariais/planilha-de-escala-de-trabalho-61-excel>

Presidência da República, C. S. (1 de 05 de 1943). *Decreto-Lei Nº 5.452, de 1º de Maio de 1943*. Fonte: Site da Presidência da República: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto-lei/del5452.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del5452.htm)

Presidência da República, C. S. (13 de 07 de 2017). *LEI Nº 13.467, DE 13 DE JULHO DE 2017*. Fonte: Site da Presidência da República: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2015-2018/2017/Lei/L13467.htm#art1](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2017/Lei/L13467.htm#art1)

Presidência do COFEN. (02 de 06 de 2017). *PARECER Nº 008/2017/COFEN/CTLN*. Fonte: Site do Conselho Federal de Enfermagem: [http://www.cofen.gov.br/parecer-no-0082017cofencn\\_53882.html](http://www.cofen.gov.br/parecer-no-0082017cofencn_53882.html)

Prodanov, C. e. (2013). *Metodologia do Trabalho Científico*. Novo Hamburgo - Rio Grande do Sul - Brasil: Editora Feevale.

Quickbooks. (22 de 10 de 2019). *TSheets*. Fonte: TSheets: <https://www.tsheets.com/employee-scheduling>

- Rangel, A. L. (2006). *Desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão para a elaboração da escala periódica de pessoal de Enfermagem*. Ribeirão Preto.
- RogenskiI, K. E., FugulinII, F. M., GaidzinskiIII, R. R., & Rogenski, N. M. (Março de 2011). *Tempo de assistência de enfermagem em instituição hospitalar de ensino*. Fonte: Scielo: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0080-62342011000100031](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0080-62342011000100031)
- Rossetti, A. C., & Carqui, L. M. (2009). Implantação de sistema informatizado para planejamento, gerenciamento e otimização das escalas de enfermeiras. *Acta Paul Enferm*.
- TSHEETS. (2019). Fonte: TSHEETS, by quickbooks: <https://www.tsheets.com/>
- UFRGS, U. F. (2009). *Metodologia de Pesquisa*. Porto Alegre: Editora da UFRGS.
- USP, D. d. (09 de 11 de 2019). *Trabalho de Formatura*. Fonte: <http://pro.poli.usp.br/graduacao/trabalho-de-formatura/>
- Warner, M. (1976). “*Scheduling Nursing personnel according to Nursing preference: A mathematical programming approach*”.
- Winston, W. L. (2004). *Operations research: applications and algorithms*.
- Wren, A. (1996). Scheduling, timetabling and rostering - A special relationship?
- Yin, R. K. (2001). *Estudo de caso: planejamento e métodos 2a. ed.* Porto Alegre: Bookman.