

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS – UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PPGEPS – PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS
NÍVEL MESTRADO**

KELLY CRISTINA FERREIRA DIAS

PROPOSIÇÃO DE UM MODELO MATEMÁTICO PARA ELABORAÇÃO E
AVALIAÇÃO DO QUADRO DE LOTAÇÃO EM UMA INSTITUIÇÃO HOSPITALAR
COM O USO DE OTIMIZAÇÃO COMBINATÓRIA

SÃO LEOPOLDO

2015

Kelly Cristina Ferreira Dias

PROPOSIÇÃO DE UM MODELO MATEMÁTICO PARA ELABORAÇÃO E
AVALIAÇÃO DO QUADRO DE LOTAÇÃO EM UMA INSTITUIÇÃO HOSPITALAR
COM O USO DE OTIMIZAÇÃO COMBINATÓRIA

Dissertação apresentada como requisito parcial
para a obtenção do título de Mestre, pelo
Programa de Pós Graduação em Engenharia
de Produção e Sistemas da Universidade do
Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS.

Área de concentração: Modelagem de
Sistemas Empresarial

Orientador: Prof. Dr. André Luis Korzenowski

Co-orientador: Prof. Dr. Guilherme Luís Roehe
Vaccaro

SÃO LEOPOLDO

2015

KELLY CRISTINA FERREIRA DIAS

PROPOSIÇÃO DE UM MODELO MATEMÁTICO PARA ELABORAÇÃO E
AVALIAÇÃO DO QUADRO DE LOTAÇÃO EM UMA INSTITUIÇÃO HOSPITALAR
COM O USO DE OTIMIZAÇÃO COMBINATÓRIA

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre, pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS.

Orientador: Dr. André Luis Korzenowski

Aprovado em 29 de julho de 2015

BANCA EXAMINADORA

Leonardo Dagnino Chiwiacowsky – Universidade do Vale do Rio dos Sinos; Unisinos

Rodrigo Pinto Leis – Universidade do Vale do Rio dos Sinos; Unisinos

Gabriel Vidor – Universidade de Caxias do Sul, UCS

Dedico esse trabalho a quatro pessoas essenciais para a minha vida: minha mãe e meu pai, sempre presentes me ajudando em tudo que podem; minha filha querida, sempre compreensiva e, apoiadora nos momentos mais difíceis; e meu marido amado, meu parceiro de todos os momentos, a pessoa que mais me apoiou ao longo deste mestrado (inclusive nas noites em claro). A vocês, com todo o meu amor, dedico esse trabalho!

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos Professores e colegas do mestrado pela troca de experiências e motivação;

A equipe do hospital que foram sempre muito atenciosos quando solicitei as muitas informações essenciais para este trabalho, em especial ao Guilherme M.;

A minha chefe, Liane, sempre compreensiva com as ausências necessárias para que este mestrado fosse realizado;

Aos desenvolvedores da fórmula do guaraná cerebral e dos energéticos, fonte de energia extra necessária ao longo destes 28 meses (panda mãe agradece!);

A minha família, mãe, pai e amigos que souberam compreender e, que não me abandonaram apesar dos muitos “não posso” nestes últimos meses;

Meu marido Márcio que caminhou de mãos dadas comigo ao longo dessa estrada, me apoiando e incentivado sempre;

Minha filhota Duda que mais uma vez compreendeu a minha ausência em muitos momentos, incluindo os vários filmes que perdemos de assistir no cinema;

Em especial ao professor André Luis Korzenowski, meu orientador que além da orientação acadêmica, me motivou a cada encontro.

Aos professores Guilherme Luís Roehe Vaccaro, incentivador do tema desta dissertação e, Leonardo Chiwiacowsky, foi na disciplina dele que tudo isso começou.

Enfim, aos que
... me apoiaram incondicionalmente;
... ajudaram direta e indiretamente (tem gente que nem imagina!);
... ao me imporem obstáculos valorizaram ainda mais esta conquista e me tornaram mais forte!

A todos o meu mais profundo **muito obrigada!**

“O segredo para pensar como um verdadeiro cientista é reconhecer que qualquer situação da vida real, não importa o quão complexa a princípio pareça, na verdade é, assim que compreendida, constrangedoramente simples”.

(Goldratt, 2009)

RESUMO

O desempenho operacional das instituições hospitalares tem relação direta com a escala de trabalho das pessoas. Assim, a tarefa de construção das mesmas exige atenção a diversos detalhes para obtenção de bons resultados. É neste contexto que um modelo, computacionalmente viável, para a elaboração das escalas de trabalho de pessoal de enfermagem, capaz de gerar elementos para avaliação de sua influência no desempenho operacional do hospital, torna-se importante. A contribuição desta pesquisa é apresentar um modelo matemático, baseado em restrições que permitam a elaboração de escalas para equipes de enfermagem com suporte computacional. Além disso, o estudo apresenta elementos para avaliação do Quadro de Lotação da equipe de trabalho. A tarefa de escalar pessoal é responsável por consumir muito tempo e nem sempre garantir o cumprimento das legislações e normas vigentes, visto ser normalmente um processo manual, sem uso de ferramentas computacionais personalizáveis às particularidades de cada hospital. O estudo foi realizado a partir de dados levantados junto a Unidade de Internação de um hospital em Porto Alegre/RS. Foram obtidas, no estudo de campo, informações relativas às necessidades da escala de trabalho nesta realidade particular, além do levantamento de indicadores de desempenho. Foram realizados experimentos para avaliar a influência das variáveis de decisão e parâmetros do Algoritmo empregado para a obtenção da solução. Na validação do modelo foram utilizados casos de teste hipotéticos, baseados em dados reais levantados no estudo. Com a aplicação do modelo, as escalas de trabalho puderam ser obtidas de forma a atender as necessidades dos setores hospitalares proporcionando menor impacto no desempenho operacional do hospital.

Palavras-chave: Quadro de lotação; escala de trabalho; enfermagem; indicadores de desempenho; otimização combinatória.

ABSTRACT

The operating performance of hospitals have directly related of rostering colaboration. Thus, the construction of the same task requires attention to the many details to obtain good results. In this context, a model computationally feasible to prepare the rostering nursing, capable of generating elements to assess its influence on the hospital's operating performance, it is important. The contribution of this research is to present a formal mathematical model, based on restrictions to allow the construction of scheduling nursing with computer support. In addition, the study presents elements for evaluating the Board's work team Capacity. Personal climbing task is responsible for time-consuming and not always ensure compliance with existing laws and regulations, as it is usually a manual process, without the use of customizable computational tools to the particularities of each hospital. The study was conducted from data collected at the inpatient unit of a hospital in Porto Alegre/RS. They were obtained from the information field study on working range of needs in this particular reality, beyond the performance indicators survey. Experiments were conducted to evaluate the effect of the decision variables and the influence of the parameters of the Evolutionary Algorithm in the final solution. To validate the model we used cases of hypothetical test, based on real data collected in the study. With the application of the model, working scales can be obtained to meet the needs of hospital departments providing less negative impact on the hospital's operating performancer.

Key-words: Rostering Nurse, Scheduling Nurse, Performance Key; Combinatorial Optimization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Abordagem da Pesquisa Operacional.....	23
Figura 2: Etapas do processo para elaboração do QL.....	42
Figura 3: Modelo de escalas como uma estrutura de árvore	46
Figura 4: Fases de implantação da PO	50
Figura 5: Etapas para criação de um modelo matemático	54
Figura 6: Diagrama de fluxo do AE	59
Figura 7: Soluções codificadas em arranjos binários.	60
Figura 8: Estrutura de dados e terminologia de um AE.....	61
Figura 9: Funcionamento do cruzamento de um ponto.....	62
Figura 10: Funcionamento do cruzamento de N pontos.....	63
Figura 11: Funcionamento da mutação.....	63
Figura 12: Processo de modelagem.....	66
Figura 13: Etapas do trabalho	69
Figura 14: Organograma do hospital.....	71
Figura 15: Modelo Proposto para elaboração do QL.....	87
Figura 16: Arquitetura do artefato.....	109
Figura 17: Funcionamento do AE com varreduras horizontais.....	111
Figura 18: Funcionamento do AE com varreduras verticais.....	112
Figura 19: Modelo de análise dos dados Indicadores x restrições.....	113
Figura 20: ARA – Causas e efeitos decorrentes de um QL inadequado	115
Figura 21: ARA – Causas e efeitos decorrentes de um QL inadequado – Queda da Produtividade	116
Figura 22: ARA – Causas e efeitos decorrentes de um QL inadequado – Insatisfação do Cliente e Baixa Qualidade.....	117
Figura 23: ARA – Causas e efeitos decorrentes de um QL inadequado - Aumento do Risco do Negócio	118

Figura 24: ARA – Causas e efeitos decorrentes de um QL inadequado – Aumento do <i>Turnover</i> e Absenteísmo	119
Figura 25: ARA – Causas e efeitos decorrentes de um QL inadequado – Aumento do custo.....	120
Figura 26: Painel de Resultados	124
Figura 27: Parâmetros da escala	128
Figura 28: Matriz Aid - Escala mês atual - Indisponibilidades	128
Figura 29: Matriz Eid - Escala mês atual por Experimento A	130
Figura 30: Matriz Eid - Escala mês atual por Experimento B	131
Figura 31: Matriz Eid - Escala mês atual por Experimento C	133
Figura 32: Matriz Eid - escala mês atual por Experimento D	134

LISTA DE QUADRO

Quadro 1: Exemplos de pesos	47
Quadro 2: Exemplo de restrições x pesos.....	48
Quadro 3: Estrutura das áreas do hospital analisado.....	72
Quadro 4: Correlação dos 5 anos da Taxa de Ocupação - Unidade de Internação. .	78
Quadro 5: Correlação entre as variáveis <i>paciente dia</i> e <i>percentual de funcionários em férias</i>	79
Quadro 6: Análise de correlação das variáveis de “Satisfação do Cliente” e “Proporção de Paciente Internado por Técnicos e Enfermeiros” – Unidade de Internação	81
Quadro 7: Análise de correlação entre as variáveis controladas pelo RH e a Satisfação do Cliente.	83
Quadro 8: Níveis de ponderação das restrições com respectivas bases de cálculos	94
Quadro 9: Exemplo de vetor de solução para a escala de enfermeiros e técnicos. .	110
Quadro 10: Indicador de Produtividade – relações de influências.....	122
Quadro 11: Indicador de Satisfação do Cliente & Qualidade – relações de influências	122
Quadro 12: Indicador de Risco ao Negócio – relações de influências	123
Quadro 13: Indicador de Custo – relações de influências	123
Quadro 14: Indicador de <i>Turnover</i> & Absenteísmo – relações de influências.....	124

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resultados de pesquisa nas bases CAPES e <i>Web of Science</i>	21
Tabela 2: Problemas estudados na área da saúde utilizando PO.....	52
Tabela 4: Infraestrutura do hospital em dezembro de 2014.....	74
Tabela 5: Parâmetros dos experimentos do AE	126
Tabela 6: Resultados dos experimentos de avaliação dos parâmetros do AE.....	127
Tabela 7: Parâmetros e resultados do Experimento A.....	129
Tabela 8: Parâmetros e resultados do Experimento B.....	131
Tabela 9: Parâmetros e resultados do Experimento C.....	132
Tabela 10: Parâmetros e resultados do Experimento D.....	133
Tabela 11: Resultados dos experimentos nas perspectivas dos indicadores	138

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Capacidade Instalada - Unidade de Internação.....	76
Gráfico 2: Taxa de ocupação paciente dia - Unidade de Internação.....	77
Gráfico 3: Percentual de funcionários em férias – Unidade de Internação.....	79
Gráfico 4: Comportamento do quantitativo da equipe de enfermagem em relação ao comportamento da demanda de pacientes – Unidade de Internação.	80
Gráfico 5: Comportamento da variável <i>Permanência média global do paciente internado</i>	81
Gráfico 6: Comportamento do Absenteísmo – Unidade de Internação	83
Gráfico 7: Comportamento do <i>turnover</i> - Unidade de Internação.....	84
Gráfico 8: Comportamento do Hora homem treinamento - Unidade de Internação ..	84
Gráfico 9: Evolução qualitativa do QL	125
Gráfico 10: Evolução da FO em função das evoluções obtidas no experimento D .	135
Gráfico 11: Evolução da influência do QL nos indicadores de eficiência de produção em função das evoluções obtidas no experimento D	136
Gráfico 12: Evolução da influência do QL nos indicadores de risco ao negócio em função das evoluções obtidas no experimento D	136
Gráfico 13: Evolução da influência do QL nos indicadores de <i>turnover</i> & absenteísmo em função das evoluções obtidas no experimento D	136
Gráfico 14: Evolução da influência do QL nos indicadores de satisfação & qualidade em função das evoluções obtidas no experimento D	137
Gráfico 15: Evolução da influência do QL nos indicadores de custo em função das evoluções obtidas no experimento D	137

LISTA DE SIGLAS

AE	Algoritmo Evolutivos
ARA	Árvore da Realidade Atual
CLT	Consolidação das Leis Trabalhistas
COFEN	Conselho Federal de Enfermagem
COREN	Conselho Regional de Enfermagem
FO	Função Objetivo
PO	Pesquisa Operacional
QL	Quadro de Lotação
SCP	Sistema de Classificação de Pacientes
SOBRAPO	Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional
SUS	Sistema Único de Saúde
TOC	Teoria das Restrições
UI	Unidade de Internação

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	Apresentação do Tema e Problema de Pesquisa.....	17
1.2	Objetivos da Pesquisa	20
1.3	Justificativas da Pesquisa.....	21
1.4	Delimitações da Pesquisa.....	24
2	REFERÊNCIAL TEÓRICO	26
2.1	Quadro de Lotação em Hospitais	27
2.1.1	Restrições.....	29
2.1.2	Função Objetivo.....	37
2.1.3	Indicadores de desempenho hospitalar	38
2.1.4	Processo de Construção do Quadro de Lotação	41
2.2	Pesquisa Operacional.....	48
2.2.1	Métodos para Resolução de Problemas de Quadro de Lotação	53
3	METODOLOGIA.....	65
3.1	Justificativa da Seleção do Método	65
3.2	Delineamento da Pesquisa	66
3.3	Método de trabalho	67
3.4	Contextualização do Ambiente	70
3.4.1	O Organograma do Hospital	70
3.4.2	Infraestrutura do Setor de Internação	73
3.4.3	QL do setor de Internação	74
3.4.4	Indicadores do Setor de Internação.....	75
3.5	Definições do Modelo Proposto	86
3.5.1	Definição do Modelo para Elaboração do QL	86
3.5.2	Proposição do Modelo para Avaliação do QL.....	112
3.6	Experimentos e Validação	126
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	139
	REFERÊNCIAS.....	143

1 INTRODUÇÃO

Em época de alta competitividade e escassez de recursos financeiros, é comum à alta administração das instituições adotarem novas estratégias gerenciais que possibilitem o alcance, a manutenção e o aprimoramento da qualidade, visando o contínuo desenvolvimento organizacional (FUGULIN *et al.*, 2011). No sistema de saúde brasileiro, a realidade não é diferente, atualmente esse setor vem enfrentando grandes desafios para melhorar a qualidade dos serviços oferecidos à população (COSTA; FUGULIN, 2011).

Diante deste cenário, as organizações de saúde necessitam incorporar novas estratégias de gestão capazes de conciliar a redução dos custos, a melhoria dos serviços oferecidos e o atendimento das necessidades e expectativas dos clientes e colaboradores (FUGULIN *et al.*, 2011). Segundo Ayob *et al.*(2013), na maioria dos hospitais, a equipe de enfermagem representa um percentual significativo na folha de pagamento, chegando a atingir cerca de 40%. Por assim ser, a eficiência na construção das escalas de trabalho pode conduzir a uma utilização mais eficaz dos recursos humanos, com menor custo e maior qualidade (BURKE; CURTOIS, 2014; SMET; WAUTERS; *et al.*, 2014). Em um contexto que por um lado se busca maximizar recursos minimizando custos, por outro, um Quadro de Lotação dimensionado de forma inadequado - tanto numérico quanto qualitativo de pessoal - pode influenciar diretamente os resultados assistenciais relativos à segurança dos pacientes e dos profissionais de enfermagem. Assim, pode aumentar os riscos de exaustão emocional, insatisfação no trabalho com consequentes reflexos nos índices de absenteísmo e de rotatividade (FUGULIN *et al.*, 2011; ROSSETTI *et al.*, 2014).

Para Ernst *et al.*(2004), um dos problemas críticos enfrentados pelas instituições é prover a pessoa certa, no tempo certo, no custo adequado e ainda alcançar um nível elevado de satisfação dos colaboradores e pacientes. O dimensionamento de recursos humanos em qualquer organização tem sido considerado um desafio (MAENHOUT; VANHOUCHE, 2011). Neste sentido, as instituições de saúde em todo o mundo estão cada vez mais interessadas na

implantação de métodos e tecnologia como apoio à tomada de decisão no processo de escala das equipes de trabalho, buscando otimizar seus recursos humanos (NAUDIN *et al.*, 2009).

O problema de Quadro de Lotação (QL) trata da otimização das escalas de trabalho. No processo, é observado um conjunto de elementos complexos que envolvem a determinação apropriada da necessidade de força de trabalho, assim como escalas, repouso, restrições legais, esperas técnicas entre turnos, atividades e competências específicas, patologias e outros elementos ponderáveis ou não (WRIGHT; MAHAR, 2013). Do ponto de vista da Engenharia de Produção, é visto como um problema de otimização, cujo objetivo é encontrar uma solução que melhore uma medida de qualidade envolvendo certas variáveis do problema, enquanto satisfaz um conjunto de restrições (LAPÈGUE *et al.*, 2013).

Burke, um dos principais pesquisadores do tema, vem pesquisando e publicando artigos desde 1999. O autor apresenta o problema de QL como algo relativamente fácil de descrever, porém, como a maioria dos problemas de pesquisa, difícil de chegar a soluções de boa qualidade no mundo real (BURKE *et al.*, 2008). Além disso, com base na literatura, grandes organizações de saúde de todo o mundo ainda constroem seu QL manualmente, consumindo muito tempo e nem sempre atendendo completamente a legislação e as normas vigentes (BURKE; CAUSMAECKER; BERGHE; *et al.*, 2004; GLASS; KNIGHT, 2010; CAUSMAECKER, DE; BERGHE, VANDEN, 2011; LEGRAIN *et al.*, 2014). Isto aumenta o desafio para os pesquisadores que investigam metodologias e soluções automatizadas para resolver este problema. Note que, mesmo depois de anos de pesquisa, o amplo domínio sobre o problema de escalas de pessoal continua sendo um assunto acadêmico relevante e de interesse das instituições.

Assim, conforme Rogenski *et al.* (2011), o dimensionamento e escala de trabalho é um tema de fundamental importância, visto que uma equipe superdimensionada implica em alto custo. No entanto, uma equipe reduzida tende a determinar a queda da eficácia e da qualidade da assistência. Além disso, um QL inadequado leva o paciente a situações de risco, além de expor a equipe de enfermagem e a instituição a comprometimentos éticos e legais, pois favorece a

ocorrência de falhas devido à sobrecarga de trabalho e a deficiência da qualidade do serviço prestado.

Essa pesquisa busca contribuir com a discussão desenvolvendo um modelo matemático baseado em restrições para otimizar o Quadro de Lotação (QL) de uma área assistencial em um hospital de grande porte, a partir das perspectivas de indicadores de desempenho.

1.1 Apresentação do Tema e Problema de Pesquisa

O problema de Quadro de Lotação, também encontrado na literatura como “problema de escala de trabalho”, “problema de quadro de pessoal”, “*Rostering Problem*”, “*Timetabling Problem*” ou ainda, “*scheduling problem*”, é visto como um problema de otimização complexo cujo objetivo é encontrar uma solução que deve otimizar uma medida de qualidade envolvendo certas variáveis do problema enquanto satisfaz um conjunto de restrições. Este tipo de problema é classificado como NP-*hard* por muitos pesquisadores da área. Por NP-*hard* entende-se a classe de maior complexidade de problema (OSOGAMI; IMAI, 2000; BURKE; CAUSMAECKER, 2001; NAUDIN *et al.*, 2009; BURKE; LI; *et al.*, 2010, 2012; GLASS; KNIGHT, 2010; BURKE *et al.*, 2011; LI *et al.*, 2011; MAENHOUT; VANHOUCHE, 2011; WRIGHT; MAHAR, 2013; AWADALLAH *et al.*, 2013; MARTIN *et al.*, 2013).

O problema trata do processo de construção de horários de trabalho para uma determinada equipe, de modo que a organização possa satisfazer a demanda por seus produtos ou serviços, levando em conta uma série de restrições obrigatórias (recursos físicos, normativas organizacionais e legislação) e restrições desejáveis (preferências pessoais dos colaboradores), de acordo com um período previamente (BURKE; LI; *et al.*, 2010, 2012; CAUSMAECKER, DE; BERGHE, VANDEN, 2011; BAEKLUND, 2014; LEGRAIN *et al.*, 2014; WU *et al.*, 2015). O objetivo é atribuir turnos para as equipes satisfazendo, primeiramente, as restrições obrigatórias e, tanto quanto possível, as restrições desejáveis (BURKE *et al.*, 2004). O objetivo subjacente é assegurar os níveis de pessoal necessários para cobrir, com

qualidade e segurança, as demandas de cada setor em momentos diferentes, enquanto os deveres individuais estão dentro dos termos previstos nos contratos de trabalho (BAEKLUND, 2014).

No contexto hospitalar, designar o QL da equipe de enfermagem é uma tarefa desafiadora, pois existem muitas restrições a serem atendidas, além de ser responsável por uma fatia alta do orçamento do hospital (cerca de 40% da folha de pagamento), o que torna a tarefa mais delicada (AYOB *et al.*, 2013). Esse tema gera conflitos, pois se por um lado há a necessidade crescente de aumentar a qualidade na oferta de serviços de saúde, por outro, existe a racionalização de custos gerados pela falta de recursos financeiros na área. Inoue e Matsuda (2010) enfatizam a necessidade de manter um QL de enfermagem qualificado e adequadamente elaborado para desenvolver a assistência de enfermagem com qualidade, segurança e com baixo risco.

Segundo Ernst *et al.* (2004), o processo de construção do QL envolve primeiramente a determinação do número mínimo de enfermeiros e técnicos de enfermagem. Cada um destes profissionais devem possuir competências específicas necessárias para atender a demanda do setor. Após a definição da cobertura mínima, Wu *et al.* (2015) diz que o problema de QL consiste na geração ótima de um turno de trabalho ou um dia de folga para cada enfermeiro em um período de planejamento especificado, usualmente de quatro semanas. Este turno de trabalho está sujeito a um conjunto de restrições, tais como o número máximo de dias úteis consecutivos. As restrições são geralmente definidas por normas trabalhistas, requisitos contratuais, exigências operacionais, práticas de trabalho, qualidade da assistência e preferências dos enfermeiros. Restrições obrigatórias devem ser atendidas em todos os momentos, enquanto violação de restrições desejáveis resulta em um custo (penalidade) na qualidade da solução. Além de satisfazer todos os requisitos apresentados, a parte mais desafiadora desta tarefa é que as listas geradas devem ser justas para todos os membros da equipe, além de manter um equilíbrio financeiro e de qualidade para a instituição (WU *et al.*, 2015)

Ernst *et al.* (2004) ainda diz que devido ao número de restrições complexas, torna-se difícil encontrar ótimas soluções que sejam capazes de minimizar os custos,

atender às preferências dos funcionários, distribuir turnos equitativamente entre os funcionários e satisfazer todas as restrições. A qualidade do plantel gerado pode ser avaliada com base na quantidade de restrições desejáveis atendidas (AYOB *et al.*, 2013).

Os problemas de escala de enfermeiros podem ser modelados e resolvidos por meio de métodos exatos ou de heurísticas. Os possíveis objetivos que emergem do problema para tomada de decisão incluem: a maximização da utilização da força de trabalho, a minimização dos custos de pessoal, a maximização das preferências dos enfermeiros, e a minimização da soma das penalidades causadas por violações de restrição desejáveis (WU *et al.*, 2015).

Devido à natureza combinatória do problema de escalas de trabalho para enfermeiros e técnicos de enfermagem, abordagens heurísticas podem ser mais apropriadas do que os métodos exatos em termos de eficiência da solução, especialmente para problemas de grande porte. Embora heurísticas e meta-heurísticas não garantem a produção de soluções ótimas, soluções viáveis podem geralmente ser geradas em uma quantidade limitada de tempo para uma ampla gama de dados de entrada (WU *et al.*, 2015).

A literatura traz diversas abordagens utilizadas por pesquisadores do tema com propósito de solucionar este problema. Glass e Knight (2010) e Lequy *et al.* (2012), utilizaram o método de Programação Linear Misto (MIP). Outras abordagens incluem métodos de inteligência artificial, como a Restrição de Programação (HE; QU, 2012; DOHN; MASON, 2013; LAPÈGUE *et al.*, 2013) e sistemas baseados em conhecimento (BEDDOE *et al.*, 2008). Abordagens que vêm sendo bem sucedidas para o problema utilizam métodos *meta-heurísticos*, que incluem Algoritmos Genéticos (PUENTE *et al.*, 2009), *Simulated Annealing* (ABOBAKER *et al.*, 2011), Busca Tabu (BURKE *et al.*, 1999; BURKE; KENDALL; *et al.*, 2004), Busca em Vizinhança Variável (GLASS; KNIGHT, 2010; BILGIN *et al.*, 2010), Busca Harmônica (AYOB *et al.*, 2013) e *Hiper-Heurísticas* (LI *et al.*, 2011; BURKE; KENDALL; *et al.*, 2012; MISIR *et al.*, 2013; BURKE *et al.*, 2013). No entanto, a maioria dos trabalhos abordam versões simplificadas do problema. O objetivo de desenvolver

metodologias que podem lidar com a complexidade de cenários do mundo real representa um grande desafio científico (BURKE; LI; *et al.*, 2012).

O tema “Otimização de QL para equipes de enfermagem” ainda vem se mostrando atual e relevante para as instituições da área de saúde. As consequências de uma escala de trabalho mal elaborada são diretas, e afetam a qualidade de atendimento, satisfação do cliente, riscos nos processos, o custo, sobrecarga, estafa e insatisfação da equipe, além da eficiência produtiva da área assistencial (HADWAN *et al.*, 2013). Assim, propor um modelo matemático conceitual para otimizar o QL de enfermeiros e Técnicos de Enfermagem, utilizando restrições reais de um hospital de grande porte torna-se relevante, tanto para a área acadêmica, quanto para as instituições hospitalares.

Dentro deste contexto, este trabalho apresenta a seguinte questão de pesquisa: Como alcançar um QL otimizado de uma equipe de enfermagem a partir de perspectivas de desempenho e respeitando as restrições obrigatórias e desejáveis?

1.2 Objetivos da Pesquisa

O objetivo geral desta pesquisa é apresentar um modelo matemático baseado em restrições que permita a elaboração de escalas de trabalho, gerando elementos para avaliação do Quadro de Lotação da equipe de enfermagem na Unidade de Internação de um hospital em Porto Alegre/RS, a partir de perspectivas de indicadores de desempenho.

Como objetivos específicos, tem-se:

- Definir um conjunto de restrições obrigatórias e desejáveis com base nas normativas e nas legislações ligadas à área hospitalar, no âmbito nacional;
- Definir as funções matemáticas para cálculo das restrições;
- Definir as relações de influências das restrições nos indicadores de desempenho;
- Propor um modelo conceitual para elaboração de QL;

- Realizar prova de conceito do modelo matemático proposto.

1.3 Justificativas da Pesquisa

De acordo com o levantamento realizado nas bases de dados da CAPES e *Web of Science*, utilizando os termos: “rostering” + “nurse”, “scheduling problem” + “nurse” e “Timetabling” + “nurse”, e tendo como corte temporal os últimos cinco anos, o problema de QL para as equipes de enfermagem vem recebendo atenção de pesquisadores com regularidade ao longo dos anos, dando indícios que o assunto ainda é relevante para novas pesquisas, ratificando, assim, o que dizem pesquisadores como Burke *et al.* (1999; 2014), Ernest *et al.* (2004), Kazahaya (2005), Causmaecker, Berghe e Vanden (2011) e Smet *et al.* (2014), que afirmam que ainda há muito para evoluir neste assunto. A Tabela 1 apresenta o resultado dos dados encontrados em uma linha do tempo para melhor demonstração das informações.

Tabela 1: Resultados de pesquisa nas bases CAPES e *Web of Science*

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Total
"Rostering" AND "Nurse"	20	11	15	15	16	19	9	105
"Scheduling Problem" AND "Nurse"	42	32	54	47	48	42	20	285
"Timetabling" AND "Nurse"	4	3	3	6	3	3	1	23

Fonte: Elaborado pela autora

Burke, Li, *et al.* (2012) dizem que determinar uma estrutura de pessoal adequada é um processo essencial para muitas organizações. Isto é especialmente verdadeiro para os hospitais. A escala de trabalho na área assistencial de um hospital representa um dos principais desafios na área da saúde (BURKE; LI; *et al.*, 2012). Em comparação com alguns outros tipos de problemas relacionados com escalas de trabalho, o QL de enfermeiros é frequentemente considerado como sendo mais complicado devido ao fato de que os hospitais funcionam vinte e quatro horas por dia e sete dias por semana (BURKE; LI; *et al.*, 2012). Isso introduz variáveis e restrições extras, como turnos a noite e finais de semana. Atrasos e horas extras tornam-se cruciais, dado que intervalos não trabalhados devem ser respeitados em função das questões de fadiga e da legislação associada a atividades de atenção à saúde (BURKE; LI; *et al.*, 2012). É claro que o problema de

QL em hospitais não é o único com tais características, no entanto problemas dessa ordem são particularmente difíceis quando as suas soluções representam um impacto elevado ao negócio (BURKE; LI; *et al.*, 2012).

Além disso, ao contrário dos problemas de turnos em outros seguimentos, a escala de enfermeiros deve satisfazer uma gama de diferentes necessidades de pessoal (habilidades e escassez) em diferentes dias e turnos. Problemas como esse, geralmente, têm um horizonte de planejamento mais longo (um mês) e mais tipos de turnos (manhã, tarde e noite). Por isso, os hospitais enfrentam um desafio importante de evitar a falta de pessoal e a sobrecarga de trabalho (BURKE; KENDALL; *et al.*, 2004; BURKE *et al.*, 2008; BURKE; LI; *et al.*, 2012).

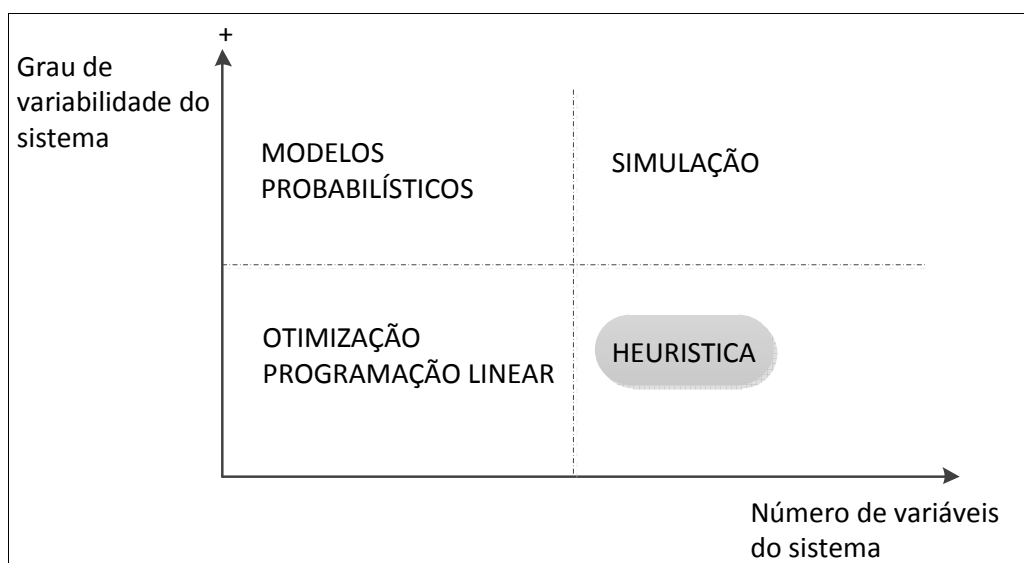
Sendo a contenção de custos uma das principais dificuldades enfrentadas pelos hospitais, a maximização da eficiência dos recursos existentes e a redução de perdas com foco em produtividade surgem como saídas para melhorar a qualidade dos serviços de saúde (KAZAHAYA, 2005). Neste panorama, e considerando que os custos com folha de pagamento representam mais de 60% do total das despesas de funcionamento de um hospital, o problema de QL é um grande desafio no setor hospitalar. Devido à sua relevância social e econômica e devido à sua complexidade intrínseca, esse problema recebeu ampla atenção nos últimos anos e continua sendo um assunto acadêmico relevante (KAZAHAYA, 2005; CAUSMAECKER, DE; BERGHE, VANDEN, 2011; SMET; WAUTERS; *et al.*, 2014).

Para um setor onde é inaceitável não atender plenamente as necessidades de assistência ao paciente e as necessidades dos profissionais, a implementação de um sistema robusto e eficiente para apoiar decisões referentes à escala de pessoal, tem potencial para melhorar o processo de definição dos horários e da qualidade dos mesmos, possibilitando uma economia de tempo e custo (WONG *et al.*, 2014). O desafio da construção de um sistema deste tipo tem representado uma série de questões de pesquisa exigentes, que atravessam a pesquisa operacional e a inteligência artificial por mais de 50 anos (BURKE *et al.*, 2004; BURKE *et al.*, 2012).

As vantagens mais significativas da programação automatizada no processo é uma economia expressiva de tempo para os funcionários administrativos envolvidos,

qualidade na solução do problema, escalas de trabalho mais rigorosas quanto ao cumprimento de leis e normas e melhor distribuição das folgas nos sábados, domingos e feriados (BURKE *et al.*, 2004). Neste contexto, onde os hospitais necessitam otimizar a utilização dos recursos existentes para melhorar seu desempenho global, as técnicas de Engenharia de Produção buscam maximizar a utilização desses recursos da melhor maneira possível. Dentre estas técnicas está a Pesquisa Operacional que tem como objetivo melhorar o desempenho de um sistema, em circunstâncias que demandem a alocação de recursos escassos (WINSTON *et al.*, 2003). A Figura 1 apresenta algumas das abordagens relacionadas à pesquisa operacional para resolução de problemas de acordo com o grau de variabilidade e número de variáveis do sistema a ser analisado.

Figura 1: Abordagem da Pesquisa Operacional



Fonte: Adaptado de Borba (1998)

A necessidade de analisar a efetividade do QL de uma instituição hospitalar de grande porte, localizada na cidade de Porto Alegre, no sul do Brasil, motivou a execução desta pesquisa. A análise prévia da situação desta instituição hospitalar foi levantada por Vaccaro *et al.* (2011), e algumas informações foram evidenciadas. Ao todo são 57 áreas de Apoio e 55 áreas Assistenciais subdivididas em sete famílias. Essa Instituição dispõe atualmente em torno de 2.200 colaboradores, entre diretos e indiretos.

As informações a seguir foram relevantes para que o problema começasse a ser analisado com maior detalhamento:

- Não há um processo metodológico robusto para definir o QL das áreas que formam a Organização, sendo elaborado de forma manual e estando o mesmo dependente da expertise e conhecimento de um colaborador da área de Recursos Humanos, responsável por gerenciar o QL;
- A alta administração do hospital não consegue medir a eficiência da escala de pessoal;
- Com uma metodologia mais clara e robusta na determinação do QL, pode-se explicitar mais o conhecimento já existente para sua elaboração e agregar outras técnicas capazes de melhorar seu grau de previsibilidade e análise da relação, proporcionando assim a otimização no tempo de elaboração das escalas de trabalho.

Diante deste contexto e, considerando que existam poucas pesquisas empíricas para o Problema de QL desenvolvidas no Brasil, identificou-se uma oportunidade para o aprofundamento deste tema com vista para a proposição de um modelo que contribua com a geração de escalas otimizadas para as equipes de enfermagem das áreas assistenciais dos hospitais, de acordo com as normativas e as legislações da área no âmbito nacional.

1.4 Delimitações da Pesquisa

Nesta seção, são destacados alguns aspectos referentes às delimitações da pesquisa e de seus resultados, conforme segue:

- Para fins deste trabalho, os termos “problema de Quadro de Lotação”, “problema de escala de pessoal”, “problema de escala de trabalho” e “*rostering problem*”, serão considerados sinônimos.
- Esse trabalho não visa dimensionar a equipe de enfermagem da Unidade de Internação. O modelo proposto tem por objetivo otimizar o QL a partir do dimensionamento previamente definido pelo hospital.
- O modelo foi aplicado na Unidade de Internação do hospital. Para tanto,

- foram analisadas as normativas e as legislações relacionadas a este setor.
- A equipe de enfermagem da noite não foi considerada no modelo. Isso porque os enfermeiros e técnicos que trabalham no turno da noite seguem um regime 12 x 36, que indica 12 horas de trabalho e 36 horas de descanso. Para a cobertura destes horários o hospital tem duas equipes. Enquanto uma equipe trabalha a outra equipe folga. Desta forma, as escalas para as equipes noturnas não apresentam dificuldades em serem determinadas.
 - Não foi foco deste trabalho utilizar a melhor heurística/meta-heurística, nem desenvolver uma programação computacional que promovesse o melhor resultado para escala com menor tempo. Entretanto, foi desenvolvido um programa para teste de conceito a fim de demonstrar que o modelo matemático proposto apresentou resultados viáveis para diferentes necessidades de escalas. Por este motivo, não foram efetuados testes de desempenho de tempo, mas apenas demonstrado que o modelo gera evolução da qualidade da solução.
 - Não foi escopo do trabalho a implantação do sistema no hospital.
 - Não foi escopo do trabalho desenvolver um índice de desempenho para o QL, mas sim gerar elementos que podem ser utilizados como base para trabalhos futuros.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

Problemas de escalas de trabalho são encontrados em diversos segmentos, incluindo saúde, transporte, serviços de emergência, *call center*, dentre outros. O uso de um algoritmo de busca computacional para resolver estes problemas resulta em economia de custos e melhores horários de trabalho (BURKE; CURTOIS, 2014).

Ao longo dos anos, diversas pesquisas foram realizadas, e diferentes abordagens foram utilizadas para resolver problemas de escala de enfermeiros. Estas incluem as meta-heurísticas (BURKE; CAUSMAECKER, 2001; SILVA; BURKE, 2004; BURKE *et al.*, 2006, 2008; POLTOSI, 2007; BEDDOE *et al.*, 2008; BURKE; LI; *et al.*, 2010, 2012; CROCE, DELLA; SALASSA, 2014), a programação por restrições (BERTELS; FAHLE, 2006; HE; QU, 2012; BAEKLUND, 2014; HUANG *et al.*, 2014; VEEN, VAN DER *et al.*, 2014; LADIER *et al.*, 2014), a programação matemática (BURKE; CURTOIS, 2014; WU *et al.*, 2015) além de outras técnicas de inteligência artificial como abordagens híbridas, por exemplo (BURKE *et al.*, 1999, 2008, 2013; BEDDOE *et al.*, 2008; LI; LI, 2009; BURKE; BAI; *et al.*, 2010; WONG *et al.*, 2014). Cada método tem vantagens e desvantagens. Por exemplo, uma abordagem de programação matemática pode ser capaz de resolver alguns casos de otimização de forma extremamente rápida, mas em outros casos, pode levar muito tempo ou usar muita memória, tornando a solução inviável devido a restrições computacionais. A meta-heurística, por outro lado, pode ser capaz de encontrar uma boa solução para problemas complexos de forma rápida, no entanto, pode não ser capaz de encontrar a melhor solução para outra instância que um método exato conseguiria resolver sem precisar de muito tempo. Além dos artigos acima citados, duas importantes pesquisas foram publicadas onde os autores apresentam uma revisão bibliográfica sobre o tema: Ernst *et al.* (2004) e Bergh *et al.* (2013).

A partir da revisão bibliográfica, observa-se que as descrições e modelos dos problemas variam significativamente de acordo com as características e políticas do ambiente de negócios de cada instituição. Assim, para o problema de QL, a literatura apresenta diversas possibilidades de funções objetivo, sujeitas a uma variedade de combinações de restrições (MAENHOUT; VANHOUCHE, 2013).

2.1 Quadro de Lotação em Hospitais

A literatura aborda o problema de QL como um problema de gerar cronogramas de equipe viáveis, para um grupo de funcionários que trabalham em conjunto para fornecer algum serviço (DOHN; MASON, 2013). O processo inicia com o seu dimensionamento, uma vez que é preciso prever a quantidade de enfermeiros, com competências específicas para cada categoria necessária a fim de atender as necessidades dos pacientes de cada enfermaria.

Dimensionar o pessoal de enfermagem é realizar a previsão da quantidade de funcionários por categoria requerida para atender, direta ou indiretamente, às necessidades de assistência de enfermagem da clientela (POLTOSI, 2007). O dimensionamento inadequado aumenta custos ou prejudica a qualidade da assistência prestada. A inadequação quantitativa e qualitativa dos recursos humanos da enfermagem prejudica os pacientes dos serviços de saúde no seu direito de assistência à saúde, livre de riscos. Essa inadequação também pode comprometer legalmente a instituição, por falhas ocorridas na assistência (GAIDZINSKI, 1998).

Assim, a escala de trabalho de pessoal é o processo de distribuição da equipe de enfermagem, previamente dimensionada, nos turnos do cronograma de trabalho definido, de modo que o hospital possa satisfazer a demanda de atendimento ao paciente. Esse processo deve ser construído seguindo sempre as normativas e as regulamentações associadas aos contratos de trabalho (BURKE, LI, *et al.*, 2010; ERNST *et al.*, 2004).

O cronograma deve incluir, para cada membro da equipe, a sequência de turnos e dias de folga, para ser trabalhado durante o período. Este cronograma deve satisfazer as restrições de demanda pré-especificadas que normalmente expressam requisitos mínimos de pessoal ou períodos de tempo, e podem incluir requisitos para o pessoal com certas habilidades ou o cumprimento de determinadas condições do contrato (ERNST, A. T. *et al.*, 2004).

Nos hospitais, as equipes de enfermagem são representadas por enfermeiros e técnicos de enfermagem. A enfermagem é uma profissão que possui atribuições

bem definidas. São os enfermeiros, na concepção geral, que cuidam dos pacientes internados nos hospitais ou clínicas, acompanhando o estado de saúde do paciente diariamente. Controlam o uso e a distribuição de material médico-hospitalar, providenciam que os medicamentos sejam ministrados conforme a prescrição dos médicos, aplicam injeções, soros e fazem curativos (POLTOSI, 2007).

Para exercer a profissão de enfermeiro é exigido o diploma do curso superior de enfermagem, com quatro anos de duração. Para os técnicos em enfermagem, o curso dura de um ano e meio a dois anos e é preciso ter concluído o ensino médio. Além disso, a enfermagem e suas atividades auxiliares somente podem ser exercidas por pessoas legalmente habilitadas e inscritas no Conselho Regional de Enfermagem com jurisdição na área onde ocorre o exercício (BRASIL, 1986). De acordo com a Lei 7.498/86, cabe ao enfermeiro a função de supervisão da equipe de técnicos de enfermagem. O enfermeiro-chefe é aquele que é responsável pela produção e gestão das escalas de serviço de cada ala (POLTOSI, 2007; ABOBAKER *et al.*, 2011).

A elaboração da escala de trabalho para as equipes de enfermagem seguem um padrão de dias de trabalho e de folga que são designados a um membro da equipe. É um problema de complexidade NP-*hard* (BURKE; LI; *et al.*, 2010; GLASS; KNIGHT, 2010), devido ao grande número de variáveis, complexidade das restrições envolvidas e o número de soluções potenciais. Deve cumprir os requisitos operacionais para um determinado período. Se D é o número de dias do período sendo planejado e o trabalhador pode ser designado a T turnos diferentes a cada dia, então T^D é a quantidade de escalas a serem examinadas (POLTOSI, 2007). Considerando que cada dia da escala D pode assumir os valores “*trabalho (1)*” ou “*folga (0)*”, para um dia existem duas escalas possíveis, já para uma semana, ou seja, sete dias, são 128 resultados aceitáveis, e para duas semanas as combinações chegam a 16.384 possibilidades de escalas diferentes (POLTOSI, 2007). Além disso, o problema QL envolve muitas restrições, que podem ser obrigatórias ou desejáveis.

2.1.1 Restrições

Restrições são regras que devem ser observadas durante o processo de alocação de pessoal. As restrições são decorrentes de requisitos contratuais, regulamentos por parte de órgãos externos, requisitos operacionais de cada hospital e preferências dos empregados, e são diferentes de acordo com as leis e cultura de cada estado, país, ou ainda, de acordo com as normativas exclusivas de uma organização (WU *et al.*, 2015). As restrições garantem que cada enfermeiro trabalhe em um turno de trabalho específico, e garantem que há profissionais suficientes para cobrir cada turno em cada escala (HUANG *et al.*, 2014).

Assim, um modelo de alocação deverá sempre ter suas restrições adaptadas a cada organização. Essas adaptações poderão ser mais simples se as organizações pertencerem a um mesmo ambiente cultural, e tiverem as mesmas leis trabalhistas e órgãos reguladores (HUANG *et al.*, 2014). As restrições podem ser *Desejáveis* ou *Obrigatórias* (também conhecidas na literatura estrangeira como *Softs* e *Hards*).

2.1.1.1 Restrições Desejáveis

As restrições desejáveis não precisam ser satisfeitas para viabilizar a escala de trabalho. No entanto, são fundamentais para promover a qualidade da solução. A qualidade de um QL é medido por uma função objetivo que calcula a combinação linear do número de violações de cada restrição desejável. A ponderação dos termos utilizado na função objetivo é específico para cada instância do problema, sendo esta definida através da atribuição de qualquer valor inteiro positivo. Os responsáveis pelo QL terão de experimentar diferentes ajustes de peso e construir a experiência ao longo do tempo, a fim de produzir conjuntos de peso que resultam em listas que satisfaçam as suas necessidades (BILGIN *et al.*, 2010).

Restrições de cobertura - O número mínimo de enfermeiros necessários para cada equipe de atendimento, por turno e por dia é chamado de restrição de cobertura. Essa restrição é inerente a qualquer problema de mudança na

programação, e deve ser considerado para todo o período de planejamento (BURKE; CAUSMAECKER; BERGHE; *et al.*, 2004; KUNDU *et al.*, 2008). As restrições de cobertura são consideradas como restrições obrigatórias em muitos casos (BILGIN *et al.*, 2010; SMET; BILGIN; *et al.*, 2014). No entanto, devido ao grande número de restrições apresentado em alguns casos, podem ser tratadas como restrições desejáveis, onde podem ser violadas considerando um custo de penalidade determinada pela FO (MAENHOUT; VANHOUCKE, 2013).

Solicitações - Em modelos de escala de equipe de enfermagem, os enfermeiros podem solicitar atividades específicas e dias ou períodos específicos de folgas (BURKE; CAUSMAECKER; BERGHE; *et al.*, 2004; BILGIN *et al.*, 2010; SMET; BILGIN; *et al.*, 2014). Solicitações de atribuição são definidas como um tipo de mudança de preferência a ser atribuída a uma enfermeira específica em um dia específico. Pedidos de folga são definidos por um determinado dia e um período específico onde qualquer atribuição deve ser evitada para um enfermeiro específico (BILGIN *et al.*, 2010).

Restrições horizontais - As restrições desejadas, impostas pelos contratos de trabalho dos enfermeiros, são chamadas de restrições horizontais. Vários casos de restrições horizontais estão presentes nos problemas de escalas de turnos de enfermeiros em diferentes países (BILGIN *et al.*, 2010). No modelo proposto por Bilgin *et al.* (2010), as restrições horizontais são descritas em três categorias, sendo Contadores, Séries e Séries sucessivas. Esta é uma abordagem genérica que permite aos usuários definir restrições horizontais, com temas e parâmetros específicos.

- **Contadores** – As restrições horizontais que restringem o número de instâncias específicas ao longo de um período são chamadas de contadores. O período de contador é definido por uma data de início e um período de tempo. Isso não significa necessariamente coincidir com o período de planejamento. Se o período de contador começa antes do período de planejamento, o valor do contador no início do período de planejamento é dado como uma entrada para o método de solução. Há seis casos para contadores: horas trabalhadas, tipos de turno de trabalho, dias de trabalho,

- dias de folga, finais de semana trabalhados e finais de semana em folga (BILGIN et al., 2010).
- Séries – O número de ocorrências consecutivas de instâncias específicas é limitado por série. Há cinco temas para série: tipos de turno de trabalho, dias de trabalho, dias de folgas, finais de semana trabalhados e finais de semana em folga. O algoritmo não deve apenas verificar a série que começa e termina dentro do período de planejamento, mas também as séries que começam no período de planejamento anterior e se estendem até o período de planejamento atual (BILGIN et al., 2010).
 - Série sucessiva – Outro tipo de restrição horizontal é a restrição sucessiva de duas séries, cada um com seus próprios valores limites. Qualquer ocorrência da primeira série implica a segunda série a seguir. Desvios da segunda série são penalizados. Cinco sucessões de série são relevantes em casos de escalas de serviço do mundo real: dias de trabalho - dias de folga; dias de folga - dias trabalhados; turno de trabalho - dias de folga; dias de folga - turnos trabalhados; tipo de turno de trabalho – tipo de turno de trabalho. As violações da série sucessiva no final do período de programação atual, que pode ser corrigido no próximo período de programação não são penalizadas no período de programação atual (BILGIN et al., 2010)

2.1.1.2 Restrições Obrigatórias

A escala deve satisfazer a todas as restrições obrigatórias a fim de ser viável (BURKE; CAUSMAECKER; BERGHE; *et al.*, 2004; BILGIN *et al.*, 2010).

Os principais tipos de restrições obrigatórias são:

- Escala por enfermeiro por dia - Cada enfermeiro pode ser escalado para o trabalho apenas uma vez por dia, ou seja, em apenas um dos turnos (BILGIN et al., 2010).

- Tipos de habilidades - A escala só é permitida se o tipo de habilidade necessário para a atividade corresponde a uma das competências do enfermeiro, primária ou secundária (BILGIN et al., 2010).
- Programação bloqueada - Existem situações de reescalamentos necessários durante a execução da escala. Estas podem ser casos simples, como a concessão de uma solicitação de ausência, ou situações mais complicadas como reescalamento parcial devido a uma ausência imprevista de uma enfermeira. Neste último caso, as atividades do enfermeiro ausente precisam ser redistribuídas entre outros enfermeiros (BILGIN et al., 2010).

No entanto, algumas escalas não estão autorizadas a serem modificadas, mesmo diante de alterações imprevistas e necessárias, devido às restrições já relacionadas e definidas, estas escalas são consideradas bloqueadas no cronograma. O bloqueio é definido na programação por um enfermeiro e um dia. A FO sempre avalia a programação completa, independentemente de bloqueios de agendamento (SMET; BILGIN; *et al.*, 2014).

2.1.1.3 Restrições Aplicadas

Em WU *et al.* (2015), foi proposto um algoritmo de otimização *particle swarm*, empregando um procedimento para gerar padrões *workstretch* apropriados para as escalas de trabalho das equipes de enfermagem, em um hospital de Taiwan, onde turnos de trabalho e período de descanso não foram atribuídos aos enfermeiros de forma uniforme ao longo dos últimos anos. O objetivo principal foi o de aliviar a carga de trabalho dos enfermeiros chefes, e produzir QLS que não só satisfaçam todas as exigências legais, contratuais e regimentais, mas também considerem uma escala mais uniforme entre os membros da equipe, a fim de proporcionar uma qualidade adequada do serviço.

Para este problema, os autores definiram as seguintes restrições (H = obrigatórias):

- (H1)** Um número mínimo de enfermeiros deve ser garantido para cada turno de trabalho. Esse número pode ser diferente de turno para turno e de dia para dia.
- (H2)** Nenhum enfermeiro pode ser escalado mais de 11 dias de trabalho em duas semanas (84 horas regulares e mais 4 horas extras, o que é permitido pela legislação trabalhista de Taiwan).
- (H3)** Em cada cronograma de quatro semanas, o número de dias de folga para enfermeiros deve ser de pelo menos oito dias, excluindo o número de feriados nacionais dentro das quatro semanas.
- (H4)** Nenhum enfermeiro pode ser escalado mais de seis dias de trabalho por semana.
- (H5)** Nenhum enfermeiro pode ser escalado mais de três dias consecutivos de folga.
- (H6)** Um turno da noite só pode ser seguido por um dia de folga ou por um turno da noite para garantir um descanso suficiente para os enfermeiros antes do próximo turno de trabalho.
- (H7)** Nenhum enfermeiro pode ser escalado mais de oito turnos noturnos em quatro semanas.
- (H8)** Nenhum enfermeiro pode ser escalado mais de três turnos noturnos por semana.
- (H9)** Nenhum enfermeiro pode ser escalado mais de três turnos noturnos consecutivos.
- (H10)** Para cada turno em cada dia, a soma dos níveis A e B de enfermeiros deve ser superior ou igual aos de enfermeiros de nível C, para garantir a qualidade do serviço adequado (A, B e C são abordados na pesquisa como níveis de conhecimento dos membros da equipe de enfermagem).

Em Baeklund (2014), foi considerado o problema de escalas de enfermeiros de um hospital dinamarquês. O método de solução utilizado foi o algoritmo branch-and-price, onde o problema é resolvido por programação das restrições. Este método é mais flexível em relação ao conjunto de restrições de uma programação que deve ser respeitada. O autor inclui todas as restrições existentes no setor, incluindo vários regulamentos dinamarqueses especiais.

Para este problema, os autores definiram as seguintes restrições (H = obrigatórias; C = cobertura):

- (H1)** Pelo menos 11 horas entre dois turnos de trabalho.
- (H2)** Pelo menos dois dias de trabalho consecutivos;
- (H3)** O número de turnos noturnos, durante o período de planejamento é limitado a um determinado intervalo.
- (H4)** O enfermeiro deve trabalhar finais de semana completos.
- (H5)** Não é permitido ter dois finais de semana de trabalho consecutivos para o enfermeiro.
- (H6)** O número de horas de trabalho durante uma semana não deve exceder 48 horas. A semana começa na segunda-feira e termina no domingo.
- (H7)** As horas de trabalho registradas não são apenas a soma das horas trabalhadas. As horas trabalhadas em finais de semana são calculadas em 1,4 vezes as horas trabalhadas efetivamente, e os feriados oficiais dão para cada hora trabalhada 1,5 horas.
- (H8)** Alguns enfermeiros têm dias de expediente. Estes não são fixos, mas dado como uma demanda de um número fixo de turnos em um determinado período.
- (H9)** Feriados e dias de folga devem ser respeitados.

Considerando que as restrições acima se aplicam de forma individual a cada enfermeiro, há restrições visando o conjunto da escala:

(C1) Restrições de cobertura, que exigem que certas combinações de deslocamento sejam cobertas por um mínimo, ou melhor, um número desejado de enfermeiros com certas qualificações; por exemplo, durante a noite ou turno da noite longa, pelo menos, um enfermeiro de coordenação deve estar de plantão.

Na pesquisa de Abobaker *et al.* (2011), foi aplicado um algoritmo de duas fases para resolver o problema do centro médico da Universidade Kebangsaan, na Malásia. Para este problema, os autores definiram as seguintes restrições (H = obrigatórias; S = desejáveis):

Restrições Obrigatórias

(H1) Todas as solicitações de alteração no QL devem ter, pelo menos, o número de enfermeiros solicitado.

(H2) Cada enfermeiro está autorizado a trabalhar, no máximo, um turno (manhã, tarde ou noite) em um determinado dia.

(H3) Durante o período de programação, todos os enfermeiros devem ter pelo menos dois dias de folga a cada duas semanas. Essa restrição indica o número mínimo de dias de folga para cada enfermeiro.

(H4) Pelo menos um enfermeiro sênior deve ser programado para cada turno.

(H5) Cada enfermeiro não deve ser agendado para um dia de trabalho isolado. Essa restrição apresenta o número mínimo de dias consecutivos que qualquer enfermeiro deve trabalhar.

(H6) O máximo de dias de trabalho de cada enfermeiro são 12 dias para cada 14 dias e o mínimo são 10 dias.

Restrições Desejáveis

- (S1)** Número de dias de trabalho e dias de folgas devem ser igualmente distribuído para todos os enfermeiros.
- (S2)** Dar a cada enfermeiro, pelo menos, um dia de folga no fim de semana durante o período de programação.
- (S3)** Dar quatro turnos manhã/tarde consecutivos, seguido de um dia de folga.
- (S4)** Dar quatro turnos noturnos consecutivos, seguido de um dia de folga.
- (S5)** Dar um turno da noite após o dia de folga que segue o turno da noite.

Já em BURKE; LI; *et al.* (2010), o problema de escala de enfermagem foi desenvolvido com base na situação da unidade de terapia intensiva em um hospital holandês, contemplando um período de programação de cinco semanas e dezesseis enfermeiros com contratos de trabalho diferentes. O problema tem as seguintes características: A legislação nacional holandesa e os acordos coletivos de trabalho em vigor no hospital; Solicitações dos enfermeiros são muito importantes e devem ser cumpridas, tanto quanto possível; Não é necessário considerar as qualificações pois todos os enfermeiros são altamente qualificados; enfermeiros ainda em formação não são considerados no planejamento original e são adicionados à mão depois;

As restrições obrigatórias que devem ser cumpridas em qualquer circunstância, caso contrário, o cronograma é considerado inviável e inaceitável, são (HC = obrigatórias coletivas; SC = desejáveis coletivas):

- (HC1)** Exigência de cobertura diária para cada tipo de solicitação de mudança no QL.
- (HC2)** Um enfermeiro não pode ser escalado mais de um turno por dia.
- (HC3)** Número máximo de dias de trabalho durante o período de programação.
- (HC4)** Número máximo de fins de semana de plantão durante o período de programação.

(HC5) Número máximo de turnos noturnos durante o período de programação.

(HC6) Mínimos dois dias de folga após uma série de 6 turnos noturnos.

(HC7) Número máximo de turnos noturnos consecutivos.

(HC8) Número máximo de dias úteis consecutivos.

As restrições desejáveis devem ser satisfeitas, tanto quanto possível, embora em circunstâncias reais seja geralmente inevitável violar algumas delas:

(SC1) Completar finais de semana (ou seja, dois turnos, em fins de semana).

(SC2) Evitar qualquer escala autônoma (ou seja, um único dia entre dois dias de folga).

(SC3) Número mínimo de dias livres após uma série de mudanças.

(SC4) Máximo/mínimo de atividades consecutivas de início e final dos turnos.

(SC5) Máximo/mínimo de dias de trabalho semanais.

(SC6) Número máximo de dias úteis consecutivos para os enfermeiros em tempo parcial.

Os casos apontados nesta seção demonstram a diversidade de restrições cabíveis no escalonamento de equipes de enfermagem. Os três casos foram desenvolvidos para hospitais de diferentes países, com cultura e políticas distintas.

2.1.2 Função Objetivo

Hillier e Lieberman (2013) definem a Função Objetivo (FO) como uma função matemática que determina a qualidade da solução em função das variáveis de decisão, podendo maximizar ou minimizar sua solução resposta. Em geral, a FO é usada para medir a qualidade da escala de serviço produzida conforme as restrições desejáveis (ABOBAKER *et al.*, 2011).

Em Abobaker *et al.*, (2011) a FO foi utilizada como método baseado em minimização que tenta reduzir a penalidade total em decorrência das restrições desejáveis.

2.1.3 Indicadores de desempenho hospitalar

De acordo com a bibliografia pesquisada, parte dos indicadores de desempenho da instituição hospitalar estão, de alguma forma, ligados ao QL dos hospitais. O monitoramento destes indicadores pode estimular ações para melhorar a qualidade das escalas de trabalho (PICCHIAI, 2009).

Para os gestores de hospitais, utilizar indicadores que são influenciados pelo QL torna-se importante para dimensionar adequadamente os profissionais em suas organizações (PICCHIAI, 2009). A procura por maior competitividade, menores custos, melhor qualidade e maior produtividade são fatores que interferem na quantificação de profissionais e exigem o estabelecimento de indicadores e de parâmetros como forma de monitorar as quantidades ideais de profissionais para a instituição (PICCHIAI, 2009).

Assim, a escala de trabalho deve ser elaborada de forma a assegurar o atendimento da demanda, equilibrar folgas e férias. Para as organizações, a escala interfere nos custos financeiros, na retenção de pessoal, na produtividade e, finalmente, na satisfação dos clientes e da equipe (SOUZA, 2010).

Os principais indicadores de desempenho hospitalar ligados ao QL são:

- **Indicador de Produtividade** – Para Picchiali (2009), capacidade técnica e a produtividade são determinadas pelas pessoas. A defasagem de pessoal na equipe de enfermagem, ou seja, elaborar um QL que não contemple a cobertura mínima de enfermeiros, contribui para a ocorrência da queda na produtividade (INOUE; MATSUDA, 2010).

A produtividade da equipe de enfermagem refere-se à proporção do tempo despendido pela equipe na execução das atividades relacionadas, exclusivamente,

ao trabalho (GARCIA, 2009). Segundo Poltosi (2007), a satisfação do corpo funcional está diretamente correlacionada com a produtividade dos trabalhadores. Deste modo, o aperfeiçoamento das escalas de trabalho leva ao aumento da produtividade, redução de custos e maior qualidade no serviço prestado (POLTOSI, 2007).

- **Indicador de Satisfação do Cliente** – Para Schmoeller e Gelbcke (2011) é preciso pensar em métodos para elaborar a escala de trabalho da equipe de enfermagem, no sentido de buscar a satisfação dos pacientes da instituição e dos trabalhadores visando o desenvolvimento de um cuidado de enfermagem seguro. O cuidado de enfermagem deve propiciar ao paciente sentimento de ‘sentir-se cuidado’, de conforto e segurança, e demais resultados de excelência, tais como: aderência do paciente ao tratamento; entendimento e aceitação de orientações recebidas; proteção contra malefícios à saúde; e satisfação do paciente e familiar (VENTURI, 2009). Assim, um QL adequado, mesmo que indiretamente, contribui com a obtenção de bons resultados nos indicadores de satisfação do cliente.
- **Indicador de Qualidade e Risco no Atendimento ao Paciente** – Na área da saúde, qualidade é definida como um conjunto de atributos que inclui um nível de excelência profissional, o uso eficiente de recursos, um mínimo de risco ao paciente/família, um alto grau de satisfação por parte dos usuários, considerando-se, essencialmente, os valores sociais existentes (LIMA; KURGANCT, 2009). A finalidade dos indicadores é analisar as condições do processo e do produto/serviço e compará-las com os padrões estabelecidos, contribuindo para a verificação de desvios e conseqüente busca de melhorias, mantendo e aprimorando o nível de qualidade (VIEIRA; KURCGANT, 2010).

Lima e Kurganct (2009) dizem em sua pesquisa que um quadro de pessoal adequado ao número de leitos e a complexidade assistencial, está diretamente relacionado com o resultado da qualidade em uma instituição, “*o quantitativo é importante porque se tiver menos pessoas trabalhando, elas estarão insatisfeitas*”. Além disso, um quantitativo menor diminui o tempo de atendimento para cada

paciente, interferindo diretamente na eficácia, na qualidade e no curso da assistência à saúde (LIMA; KURGANCT, 2009).

A cobertura restrita das equipes de enfermagem acarreta em excessiva carga de trabalho que dificulta a organização e a execução dos processos assistenciais, bem como a promoção de qualquer medida que favoreça a segurança dos usuários e dos prestadores da assistência (FUGULIN *et al.*, 2011). A sobrecarga de trabalho da equipe de enfermagem pode comprometer a prática assistencial aumentando índices de morbidade e de mortalidade dos pacientes. Assim, uma proporção superestimada entre paciente/enfermeiro impacta na qualidade dos serviços prestados tornando maior o risco de eventos adversos como: queda de paciente, erros de medicação e infecção relacionada à assistência à saúde (CUCOLO; PERROCA, 2010).

Fugulin *et al.* (2011) ainda diz que o desenvolvimento de pesquisas que evidenciam a relação direta entre a conformidade de pessoal de enfermagem à segurança dos pacientes e dos trabalhadores de enfermagem, vem sendo divulgadas por entidades de classe, a fim de demonstrar a importância da adequação do quadro de profissionais.

- **Indicador de Custos** – O custo da mão de obra especializada de enfermagem é uma das principais fontes de consumo de recursos no ambiente hospitalar (SOUSA *et al.*, 2009). Como já foi enfatizado nesse trabalho, cerca de 40% da folha de pagamento é destinada à equipe de enfermagem (AYOB *et al.*, 2013), o que justifica a necessidade de um adequado quantitativo de pessoas (SOUSA *et al.*, 2009).
- **Indicador de Turnover (Rotatividade)** – Esse indicador mede o giro de entradas e saídas de pessoal nas organizações. A inadequada escala de pessoal incide diretamente sobre a saúde dos profissionais de enfermagem, aumentando o risco de exaustão emocional, estresse e insatisfação no trabalho, com consequentes reflexos nos índices de absenteísmo e de rotatividade (GARCIA, 2009).
- **Indicador de Absenteísmo ou Absentismo** – Absenteísmo ou absentismo é o termo utilizado para caracterizar a ausência do funcionário ao trabalho. De

forma mais abrangente, é o somatório das faltas dos trabalhadores, não sendo essas decorrentes de desemprego, doença prolongada ou licença legal (CAMPOS et al., 2009). A falta de pessoal de enfermagem resulta em estresse mental e físico dos trabalhadores o que favorece a ocorrência de absenteísmo por doença na instituição (INOUE; MATSUDA, 2010).

2.1.4 Processo de Construção do Quadro de Lotação

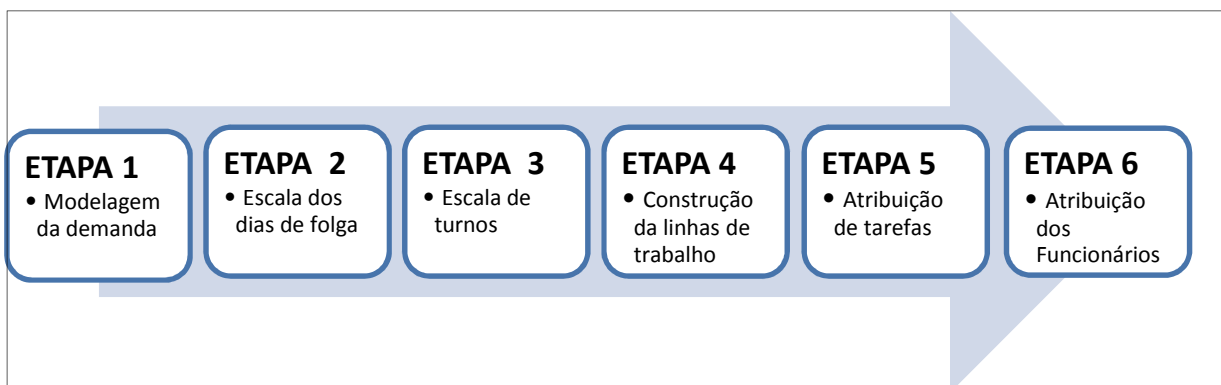
Com base na literatura pesquisada, dois modelos serão exemplificados. O primeiro, preconizado por Ernst *et al.* (2004) demonstra as etapas pelas quais o gestor deve passar para definir uma boa escala de trabalho para a sua equipe. Esse modelo será chamado neste trabalho por “*Modelo de Ernst*”. O segundo modelo, apresentado por Smet, Bilgin *et al.* (2014) traz os elementos abordados em Ernst *et al.* (2004), e acrescenta outros elementos distribuídos em um organograma com três macro processos. Esse modelo será chamado neste trabalho por “*Modelo de Smet e Bilgin*”.

2.1.4.1 Modelo de Ernst

Ernst *et al.* (2004) apresentam o processo de QL como uma série de etapas que vai desde a especificação da equipe até a atribuição de tarefas a cada indivíduo, sobre um período de tempo. Dependendo da escala que está sendo desenvolvida, algumas fases podem ser suprimidas. Bilgin *et al.* (2010) complementam dizendo que o objetivo do *Rostering Nurse Problem* é atribuir turnos para os enfermeiros de acordo com os requisitos da atividade, restrições legais e contratuais, preferências pessoais, dentre outros critérios.

Ernst *et al.* (2004) identificaram seis etapas para o processo, estas são demonstradas na Figura 2.

Figura 2: Etapas do processo para elaboração do QL.



Fonte: Adaptado de Ernst *et al.* (2004)

- Etapa 1 - Modelagem da demanda (dimensionamento)

É a determinação da quantidade de pessoas necessárias para atender tarefas demandadas em um determinado horário. Esta etapa torna-se desnecessária quando as informações de demanda de pessoal são previamente conhecidas, bastando fornecê-las para as etapas seguintes do processo. A demanda pode ser de três tipos:

Baseada em tarefas – são consideradas as tarefas individuais, a duração e a qualificação necessária para executá-las.

Flexível – na falta de lista de tarefas ou tabelas de horários, quando não há como controlar a demanda, por exemplo, serviços de atendimento de emergência e em centrais telefônicas.

Baseada em turnos – a demanda é obtida por meio da especificação do número de funcionários que são obrigatórios para plantão durante diferentes turnos.

- Etapa 2 – Escalonamento dos dias de folga

É a definição dos dias de folga de cada trabalhador no período coberto pela escala. Esta etapa é necessária quando se lida com demanda flexível ou baseada em turnos.

- Etapa 3 – Escala de turnos

É a definição dos turnos que devem ser realizados, assim como o número de pessoas para cada turno, de modo a atender a demanda. Quando se trata de demanda flexível, precisam ser consideradas as regras para os intervalos de descanso e refeições. Esta etapa é desnecessária nos casos de demanda baseada em turnos.

- Etapa 4 – Construção das linhas de trabalho

É a elaboração das escalas de trabalho para cada membro da equipe, considerando o período que será coberto pela escala e considerando as restrições. As linhas são sequências pré-definidas de turnos e dias de descanso, podendo ser o resultado de um conjunto de tarefas durante a modelagem da demanda, ou simplesmente padrões pré-definidos que refletem as regras e regulamentos da área.

Cada membro da equipe é representado por uma linha da matriz do modelo, sendo que os turnos são representados nas colunas. Os modelos de linhas de trabalho podem ser cíclicos ou acíclicos ou, ainda, baseados em jornadas:

Cíclicos ou Acíclicos - Na escala cíclica, os trabalhadores da mesma categoria, realizam as mesmas linhas de trabalho, no entanto, iniciam em horários diferentes. Este tipo de escala é utilizado quando os padrões de demanda são repetitivos. Já nas escalas acíclicas, as linhas de trabalho de um membro da equipe e outro são totalmente independentes. São aplicadas nos casos de demanda flutuante e quando os turnos possuem horário de início e duração diferentes.

Jornadas - Em algumas organizações apenas certas sequências de turnos, chamadas de jornadas, são permitidas. Por exemplo, DDD pode ser usado para se referir a uma jornada com três turnos diurnos consecutivos, DND para uma jornada começando com um turno do dia, seguido por um turno da noite e terminando com outro turno do dia, e OOOO para uma jornada de quatro dias de folga consecutivos. A linha de trabalho é construída como uma sequência de jornadas. Na construção de linhas de trabalho, regras que indicam transições de jornadas permitidas devem ser seguidas. A matriz de jornadas pode ser usada para especificar quais jornadas pode seguir uma temporada particular, e também para indicar transições preferenciais.

O processo de construção das linhas de trabalho varia conforme a unidade de construção utilizada:

Turnos - Qualquer turno pode ser designado a um dia de trabalho. Pode haver restrições quanto ao número de turnos noturnos seguidos, ou um turno noturno seguido de um turno matinal;

Deveres - São os casos em que o tempo de execução da tarefa pode ser maior ou menor que um turno. A tarefa deve ser incluída apenas uma vez na escala;

Jornadas de trabalho - É uma sequência pré-definida de turnos de trabalho e folgas. Pode estar cobrindo uma agregação de várias tarefas ou apenas seguindo um padrão pré-definido pelas normas da organização.

- Etapa 5 – Atribuição de tarefas

Esta etapa ocorre após a especificação dos turnos, e antes das alocações. Estas tarefas podem exigir determinadas competências do pessoal ou níveis de antiguidade. Além disso, deve considerar particularidades como: se a tarefa tem ou não horário fixo para ser realizada, se há intervalos durante os turnos e se é permitido a realização de hora-extra.

- Etapa 6 - Atribuição dos Funcionários

É a alocação de linhas de trabalho a cada membro da equipe. Pode ser executado enquanto as linhas de trabalho estão sendo criadas ou após todas as linhas estarem prontas.

2.1.4.2 Modelo de Smet e Bilgin

Smet, Bilgin *et al.* (2014) apresentam um conjunto de conceitos para serem aplicados em cenários específicos. A Figura 3 mostra o modelo de escalas como uma estrutura de árvore com a seção de *programação da escala de trabalho* como o elemento de raiz. A seção de *programação da escala de trabalho* é composta por quatro elementos: programação do período, programação, programação das restrições e definições da escala de trabalho.

Período de Programação – O período de programação no planejamento de escalas da equipe varia entre os diferentes setores, países e épocas do ano. Nos hospitais, o período de programação mais frequente é o de *quatro semanas* ou *um mês*. Alguns períodos, como os feriados de Natal e verão, exigem mais atenção do que o resto do ano, devido ao menor número de pessoal disponível. Conseqüentemente, em alguns hospitais, durante essas épocas o período de programação é de duas semanas. Para atender as restrições que sobrepõem a dois períodos de programação, é importante que essas restrições tenham acesso ao cronograma do período anterior com o objetivo de assegurar uma avaliação precisa da restrição.

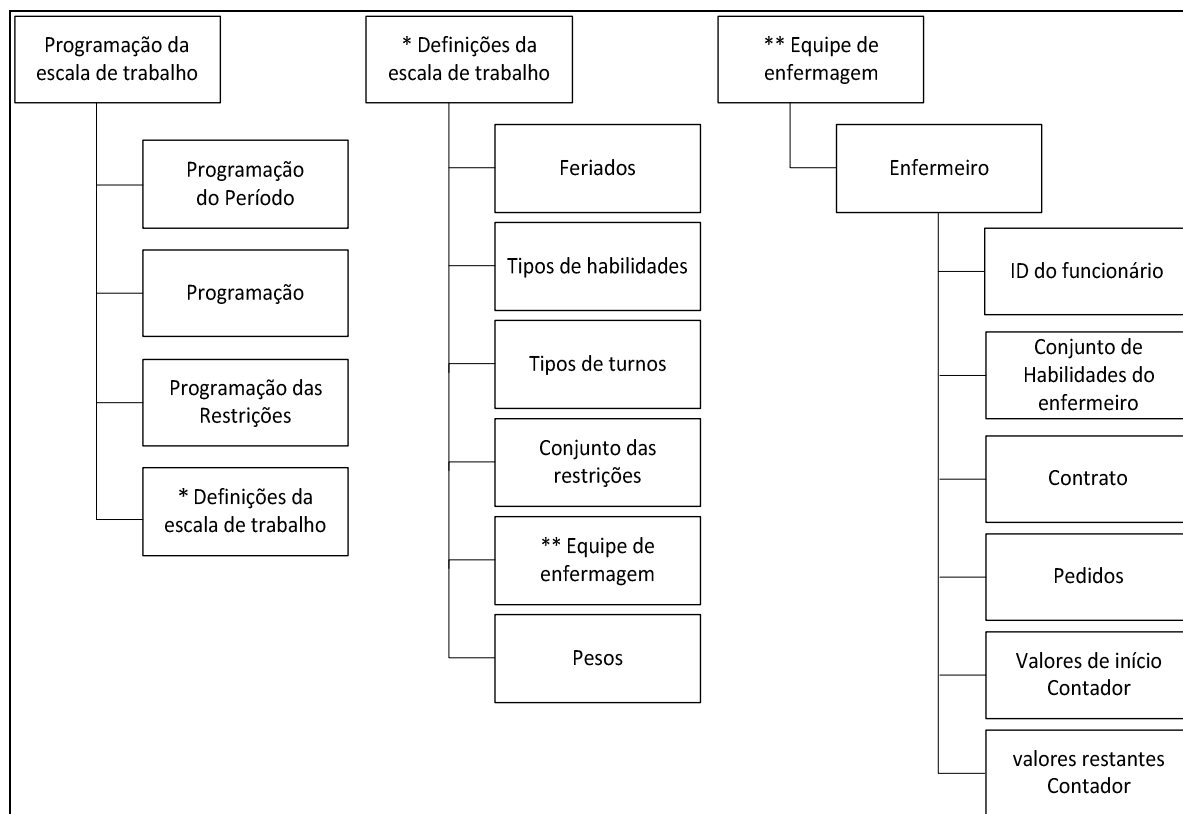
Programação – Programar um QL é definir o conjunto de atribuições necessárias para elaborar uma escala de trabalho viável. As atribuições são definidas por quatro elementos: o enfermeiro, a data, o tipo de turno e o tipo de habilidade necessária.

Premissas da escala – São as premissas definidas que irão subsidiar a construção do modelo.

Programação das Restrições – Processo de levantamento e adequação das restrições pertinentes ao modelo.

Na segunda seção, cada elemento da seção *programação da escala de trabalho* é decomposta e analisada, considerando:

Figura 3: Modelo de escalas como uma estrutura de árvore



Fonte: Adaptado de Bilgin *et al.*(2010).

Tipos de habilidades – é comum na área da saúde que o enfermeiro coordene a equipe composta por técnicos de enfermagem. Além disso, as atividades que exigem formação específica, como a oftalmologia, motorista de ambulância, etc., também exigem a modelagem.

Tipos de turnos – são períodos de trabalho do hospital que geralmente tem um início e fim bem definidos. Boa parte dos problemas de escalas de trabalho para equipe de enfermagem está dividida em três turnos tradicionais: manhã, tarde e noite.

Conjuntos de restrição - é composto por um conjunto de restrições horizontais que implicam no cumprimento de todas as regras definidas nos contratos de trabalho de cada membro da equipe.

Membros da equipe - A individualidade dos funcionários varia em diferentes ambientes de trabalho. Essa se refere à diversidade no tipo de conjuntos de

habilidades, contratos, restrições e solicitações de cada funcionário. Problema de escala de turno de enfermeiros tem um alto grau de individualidade.

Pesos - O conjunto de pesos utilizado na função objetivo é específico para cada instância do problema. Em um exemplo do problema, os pesos para as restrições de cobertura e restrições horizontais são específicos para cada restrição, mas eles são globais para os períodos de repouso e cessão para as restrições de habilidades primárias. Os pesos podem ser qualquer valor positivo. A composição do conjunto de peso mais adequada é uma tarefa complexa devido ao elevado número de combinações possíveis. No entanto, é crucial para obter listas satisfatórias (BILGIN *et al.*, 2010).

Conforme Abobsker *et al.* (2011), não há peso padrão para as restrições e os pesos de cada restrição são definidos com base na discussão com os enfermeiros chefes. Para Lin *et al.* (2012), os valores dos pesos podem ser definidos pelo tomador de decisão, utilizando métodos vários, como a comparação pareada (e.g. AHP).

Embora não exista um padrão para os pesos, é possível encontrar na literatura algumas escalas de pesos que podem ser adotadas como guias. Burke, *et al.* (2008) recomendam como um guia os pesos descritos no Quadro 1. Sharif *et al.* (2011) propões os pesos demonstrados no Quadro 2.

Quadro 1: Exemplos de pesos

Peso	Situação
1000	A restrição não deve ser violada a não ser que seja absolutamente necessário.
100	A restrição é fortemente desejada
10	A restrição é preferível, mas não essencial
1	A restrição pode ser atendida, se possível, mas não é essencial

Fonte: Burke, *et al.* (2008)

Quadro 2: Exemplo de restrições x pesos

Restrições desejáveis	Peso
Dar um número justo de dias de trabalho e dias de folga para todos da equipe.	100
Dar para cada membro da equipe pelo menos um dia de folga no final de semana.	10
Dar uma um dia de folga após quatro turnos noturnos consecutivos.	1

Fonte: Sharif, *et al.* (2011)

Na prática, os pesos exponencialmente escalados são mais comumente usados. No entanto, os usuários têm a opção de definir e alterar o peso para cada restrição para qualquer valor (BURKE *et al.*, 2008).

2.2 Pesquisa Operacional

A Pesquisa Operacional (PO) trata-se de uma ciência aplicada que pretende a resolução de problemas reais. Tem como objetivo subsidiar a tomada de decisões através da aplicação de conceitos e métodos de várias áreas científicas, na concepção, no planejamento ou na operação de sistemas. Assim, é utilizada para avaliar linhas de ação alternativas na busca de soluções que melhor servem aos objetivos dos indivíduos ou organizações (SOBRAPO, 2015).

Conforme Hillier e Lieberman (2013), a origem da atividade denominada PO, embora remonte a décadas, quando se tentou uma abordagem científica na gestão das organizações, é geralmente atribuída às ações militares no início da segunda guerra mundial, período em que havia a necessidade imediata de alocar de forma eficiente, os escassos recursos para as diversas operações militares. Por conta disso, os comandos britânico e norte-americano convocaram grande número de cientistas para lidar com este e outros problemas táticos e estratégicos. Na prática, lhes foi solicitado a realização de pesquisas sobre operações (militares), sendo reconhecidas essas equipes de cientistas como as primeiras da área de PO.

Em função do sucesso da aplicação de PO no empreendimento bélico, ao final da guerra houve interesse de sua aplicação fora do ambiente militar, muito motivado pela progressão da explosão industrial pós-guerra (HILLIER; LIEBERMAN,

2013). Percebia-se ali que o planejamento de operações, até então praticado, não seria mais suficiente para conduzir o novo cenário de grandes produções industriais.

Em alguns países, em que prevaleceu a preocupação com os fundamentos teóricos, a Pesquisa Operacional se desenvolveu sob o nome de Ciência da Gestão ou Ciência da Decisão e em outros, em que predominou a ênfase nas aplicações, com o nome de Engenharia Industrial ou Engenharia de Produção (SOBRAPO, 2015).

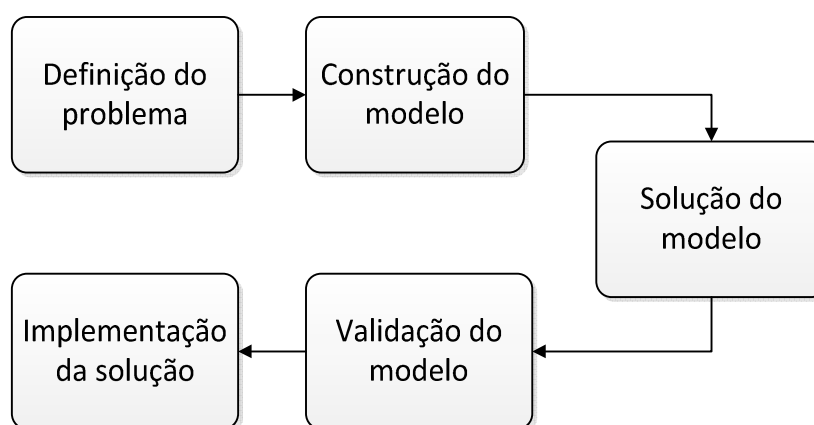
Seguiram-se então grandes desenvolvimentos técnicos e metodológicos que hoje, com o apoio de meios computacionais de crescente capacidade e disseminação, nos permitem trabalhar enormes volumes de dados sobre as atividades, não apenas das empresas, mas, também de instituições do setor público dentro e fora da área econômica. Face ao seu caráter multidisciplinar, a Pesquisa Operacional é uma disciplina científica de características horizontais com suas contribuições estendendo-se por praticamente todos os domínios da atividade humana, da Engenharia à Medicina, passando pela Economia e a Gestão Empresarial (SOBRAPO, 2015).

A PO tradicional, originada na época da guerra, estudava os problemas objetivando seguir os princípios das ciências naturais, decompondo os dados experimentais, medindo, quantificando e modelando. Também chamada de PO *hard*, ou PO técnica, determina uma FO com foco em quantificar e medir variáveis, eliminando fatores de subjetividade dos atores envolvidos (VIDAL, 2005).

Em PO *hard*, o primeiro passo para a solução do problema é a construção de um modelo matemático que represente objetiva e quantitativamente o problema a ser resolvido. Esse modelo é composto de critérios ou utilidades a serem maximizados, por exemplo, o lucro, ou minimizados, por exemplo, o custo, de acordo com restrições impostas. As restrições representam as fronteiras que não podem ser ultrapassadas para a solução do problema e referem-se a itens como limite de orçamento, limite de recursos, limite de tempo, e outros, conforme a aplicação (VIDAL, 2005).

A partir do modelo definido, e dependendo do problema, é possível chegar à solução do problema, com garantias de ter se encontrado o melhor resultado. Como todo método científico, alguns cuidados devem ser observados na implantação de uma solução através da PO *hard*. Assim, as principais fases de implantação da pesquisa operacional, de acordo com Taha (2008), envolvem as fases ilustradas na Figura 4:

Figura 4: Fases de implantação da PO



Fonte: Taha (2008).

Embora a PO *hard* representasse solução para inúmeros problemas, sua aplicação possuía algumas limitações, o que provocava alguns descontentamentos dos cientistas no início dos anos 70, quando então surgiu a PO *soft*. Nessa nova abordagem, o fenômeno ou situação em estudo é modelado baseado nos conceitos subjetivos dos atores envolvidos, usando técnicas como entrevistas, diálogos, discussões, workshops, conferências, etc. Em PO *soft*, o ser humano é conceitualizado como um constante criador e recriador de um ambiente socialmente interativo, negociando e interpretando suas realidades (VIDAL, 2005).

Diferente da PO *hard*, a PO *soft* não otimiza, mas busca soluções alternativas que são aceitáveis em dimensões separadas. Além disso, aceita incertezas e pretende manter as opções abertas para uma resolução posterior. É aplicada em demanda reduzida de dados com julgamentos sociais. A simplicidade e transparência visando clarificar as condições de conflito são partes da PO *soft*.

Enquanto a PO *hard* exige uma boa mente analítica com profundos conhecimentos matemáticos e habilidades computacionais, a PO *soft* exige pessoas com habilidades de atuar como facilitadoras em reuniões muitas vezes estressantes e contenciosas (HERTZ; WIDMER, 2003)

Os problemas de otimização na área da saúde têm recebido atenção considerável dos pesquisadores que estudam a PO e suas aplicações. Ao longo dos anos, a atenção tem se expandido gradualmente a partir da alocação de recursos, escalas de trabalho das equipes e planejamentos estratégicos, para incluir também os problemas assistenciais, tais como planejamento de tratamentos.

A pesquisa de Rais & Viana (2011) faz um apanhado das aplicações estudadas, conforme demonstrado na Tabela 2. Este artigo examina várias aplicações de Pesquisa Operacional no domínio da Saúde, e demonstra a importância dos problemas relacionados com os cuidados com a saúde para os pesquisadores que estudam a PO.

Tabela 2: Problemas estudados na área da saúde utilizando PO

PROBLEMAS ESTUDADOS NA ÁREA DA SAÚDE UTILIZANDO PO		
<p>Planejamento</p> <p>A importância do planejamento em saúde dificilmente pode ser subvalorizado. Prestar serviço adequado continua sendo uma das principais preocupações da maioria dos países. Muitos hospitais passaram a utilizar PO para medidas de otimização e de controle dos custos.</p>	Previsão de demanda	Aborda problemas de previsão de demanda dos serviços ofertados pelo hospital, prevendo necessidades de ampliação física, recursos humanos, e equipamentos. Essencial para o planejamento da saúde e seus resultados.
	Localização para novos centros de atendimentos	Aborda problemas de definição de locais para instalação de novos centros de atendimento com o objetivo de maximizar a acessibilidade dos pacientes, de acordo com o plano de expansão para o atendimento de atendimento público
	Veículos de emergência	Aborda problemas de definição de locais para instalação de ambulâncias com o objetivo de minimizar o número de unidades necessárias para o desempenho em níveis de serviço pré-especificado.
	Planejamento de capacidade	Aborda problemas de planejamento de capacidade nos Hospitais, tais como: Otimizar a utilização de recursos (equipamentos, salas de cirurgias, etc), listas de esperas por atendimento e cirurgias,
<p>Gestão de Saúde e logística</p> <p>Os problemas com agendamento de pacientes e de recursos, escala de equipes e problemas logísticos na área da saúde, são temas bastante referenciados em pesquisas publicadas em periódicos científicos.</p>	Agendamento de pacientes	Aborda problemas de otimização do cronograma de atendimentos e cirurgias dos pacientes.
	Escalas de enfermeiros	Aborda problemas de otimização das escalas de trabalho da equipe de enfermagem (assunto foco desta pesquisa).
	Agendamento de salas de cirurgia	Aborda o problema de programação das salas de cirurgia. O objetivo é minimizar o tempo ocioso e horas extras de salas de cirurgia, e maximizar a satisfação dos cirurgiões, os pacientes e as equipes.
<p>Prática em Healthcare</p> <p>Além de abordar vários outros aspectos de gestão na área da saúde, pesquisadores deram contribuição significativa para o planejamento nos tratamentos de drogas, na prevenção e controle de doenças infecciosas. Além dos processos de doação de órgãos.</p>	Logística	Aborda problemas de definição de níveis de estoque de medicamentos e alocação de recursos. Os modelos buscam determinar os níveis de estoque ideais de produtos restritos pelo espaço de armazenamento, a entrega e criticidade dos itens
	Diagnóstico da doença	Aborda problemas de minimização do tempo total de tratamento de doenças. Por exemplo: os tratamentos de radioterapia.
<p>Saúde especializada e preventiva</p> <p>O aumento da longevidade, a escalada dos custos nos tratamentos de saúde, e a emergência das novas doenças têm forçado os médicos a especializar-se em medidas preventivas e atendimentos especializados. Muitos pesquisadores têm utilizado a PO para analisar a propagação de doenças infecciosas, avaliar os aspectos de custo-benefício dos testes de triagem, bem como o processo de doação de órgãos vitais.</p>	O planejamento do tratamento	Aborda problemas de avaliação do custo e eficácia para uma terapia ideal, e uma estratégia para maximizar o bem-estar do paciente. Além disso, aborda problemas de rastreabilidade de complicações relacionadas à doenças.
	A doação de órgãos e transplante	Aborda problemas sobre o transplante de órgãos centrado em políticas para a atribuição de órgãos doados para os pacientes à espera.
	Prevenção de doenças	Aborda problemas de otimização relacionados com a prevenção das doenças principalmente seleção de vacina.

Fonte: Adaptado de Rais; Viana (2011)

Considerando o objetivo principal desta dissertação, de buscar pela otimização da escala de trabalho, sua abordagem se dará em termos de PO *hard*. A seguir, será apresentada uma breve descrição dos principais métodos de PO possíveis de serem utilizados para solucionar problemas de escalonamento, horários e escalas.

2.2.1 Métodos para Resolução de Problemas de Quadro de Lotação

Os métodos disponíveis podem ser classificados em duas principais categorias: algoritmos exatos e heurísticas/meta-heurísticas. Programação matemática é o método exato tradicional, que garante encontrar uma solução ótima para cada instância do problema de escalas de equipes (BURKE; LI; *et al.*, 2010). No entanto, esse método encontra dificuldades computacionais devido ao tempo decorrente para encontrar a solução desejada. Para reduzir a complexidade, alguns pesquisadores têm restringido as dimensões do problema e desenvolveram modelos simplificados. No entanto, isto leva a soluções que não são aplicáveis as situações das organizações (BURKE; LI; *et al.*, 2010). Contudo, outros métodos foram testados para resolver os problemas reais. As heurísticas demonstraram encontrar boas soluções dentro de um período temporal mais razoável (BURKE; LI; *et al.*, 2010). Segundo Burke e LI; *et al.* (2010), na década de 90, as meta-heurísticas começaram chamar a atenção dos pesquisadores, sendo vistas como métodos de solução para problemas de escalas e cronogramas. Essas abordagens são capazes de produzir soluções de boa qualidade para problemas de otimização combinatórias difíceis dentro de um tempo computacional razoável. Assim, são geralmente preferíveis como metodologia de solução (AYOB *et al.*, 2013). No entanto, a principal desvantagem das metas-heurísticas é que elas não podem, comprovadamente, produzir soluções ideais nem podem reduzir o espaço de busca. Além disso, há um critério de parada bem definido (AYOB *et al.*, 2013).

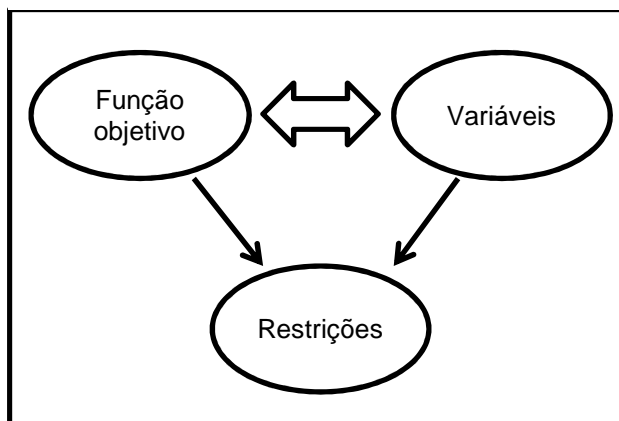
Hadwan *et al.* (2013), ainda apresenta a abordagem dos métodos utilizando meta-heurísticas híbridas. O autor diz que a abordagem tem sido aplicada com sucesso para resolver os problemas de escalas de equipe.

2.2.1.1 Programação matemática

Muitos dos problemas a ser solucionados em PO podem ser descritos em funções ou modelos matemáticos. A Programação Matemática é a disciplina que estuda a minimização ou maximização de funções em problemas com ou sem restrições. Conforme Prado (2012), para criar um modelo matemático de um

problema é necessário cumprir três etapas (Figura 5): Definir as variáveis do problema; definir a FO e; definir o conjunto de restrições.

Figura 5: Etapas para criação de um modelo matemático



Fonte: Prado (2012)

Conforme a natureza do problema, as equações ou inequações que representam a FO e o conjunto de restrições podem ser funções de grau um ou maior. Neste escopo, tem sido classificado entre os mais importantes avanços científicos dos meados do século XX, a Programação Linear, cujo uso como ferramenta de otimização tem proporcionado um impacto extraordinário, que poupou milhões de dólares para muitas empresas, tendo seu emprego se espalhado rapidamente por vários setores da sociedade (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

Programação Linear - A programação linear usa um modelo matemático para descrever um problema, onde tanto a FO como as restrições são equações ou inequações lineares, ou seja, de primeiro grau, e o resultado para as variáveis do modelo são valores reais ou contínuos. No caso de haver restrição que admita a solução da FO apenas com variáveis discretas (número inteiro), temos o que é chamado de Programação Linear Inteira. Historicamente a programação linear contínua, ou simplesmente programação linear, tem sido mais intensamente utilizada, embora que para o problema de QL, seja aplicada a Programação Linear Inteira, visto que o número de funcionários normalmente é um número inteiro (PRADO, 2012).

A palavra programação é utilizada no sentido de planejamento e não deve ser confundida com o significado de programação de computadores. Assim, a programação linear envolve o planejamento de atividades para obter um resultado ótimo, isto é, um resultado que atinja o melhor objetivo especificado de acordo com o modelo matemático entre todas as alternativas viáveis (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

O artigo de Naudin *et al.* (2009) apresenta uma abordagem exata usando métodos *Branch-and-Price* em uma situação real. Opefuxi-ional (1998) utilizou o método de Programação Linear que foi realizado com base em dados da unidade de cardiologia do Hospital Royal Victoria de Montreal. Com o horizonte de planejamento de seis semanas. Variáveis artificiais com elevadas multas são usadas para minimizar o excesso ou falta de pessoal. Os autores apontam os resultados como positivos, porém, foi observada uma quantidade relativamente pequena de restrições neste modelo.

2.2.1.2 Heurísticas

O uso de algoritmos como os de programação linear, embora contribuam de forma inestimável na resolução de ampla gama de problemas práticos, nem sempre são os mais indicados.

Alguns problemas são tão complicados que pode não ser possível uma solução ótima, sendo casos em que se passa a aceitar uma solução boa, ou viável, que não necessariamente seja a ótima, mas que provavelmente esteja muito próxima de ser ótima (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

Os métodos heurísticos geralmente se baseiam em ideias relativamente simples de senso comum de como procurar uma boa solução. Essas ideias precisam ser cuidadosamente adaptadas para se adequar ao problema de interesse específico e a forma de solução dada para um caso pode não ser aplicável a outro (HILLIER; LIEBERMAN, 2013). É um método onde a solução para o problema pode ser encontrada através de tentativas e erros, por exemplo.

Como as heurísticas são algoritmos específicos para um caso, é preciso ter conhecimento específico do problema, sendo assim, o sucesso está fortemente baseado na experiência de um especialista na área do problema. O desenvolvimento da heurística pode demandar um longo tempo de testes e ajustes até encontrar uma solução realmente satisfatória (POLTOSI, 2007).

2.2.1.3 Meta-heurísticas

Por muitos anos o uso de heurísticas significou que as equipes de PO precisavam iniciar praticamente do zero o desenvolvimento de um algoritmo que se adequasse ao problema em estudo, caso se tratasse de um novo problema. Essa dificuldade começou a ser extinta com o surgimento da meta-heurística, um método heurístico de resolução geral que fornece tanto uma estrutura quanto diretrizes de estratégia gerais, que se ajusta a um tipo de problema específico. Assim, a meta-heurística se tornou uma das mais importantes técnicas na caixa de ferramentas dos profissionais de PO (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

Meta-heurísticas são técnicas de otimização combinatória gerais, que não são dedicados à solução de um único problema. Essas técnicas buscam a interação entre procedimentos de busca de ótimos locais e, estratégias para criar um processo capaz de escapar dos ótimos locais e desempenhar uma busca por soluções em todo o espaço de soluções viáveis, a fim de encontrar o resultado ótimo global (GLOVER; KOCHENBERGER, 2003). Esse processo tende a ser relativamente robusto, o que não significa a garantia de

que a meta-heurística retornará como resultado a melhor solução. Em comparação com a abordagem de Programação Linear Inteira, o risco do processo é de não retornar quaisquer solução viável por um longo tempo (ERNST, A. T. *et al.*, 2004).

As metas-heurísticas podem ser entendidas como algoritmos modelos, prontos para aplicação, capazes de serem utilizados em conformidade aos seus

conceitos em diferentes problemas (GLOVER; KOCHENBERGER, 2003). Essas podem ser diferenciadas pelas seguintes características (POLTOSI, 2007):

- Critério de escolha de uma solução inicial;
- Definição da vizinhança $N(s)$ de uma solução s ;
- Critério de seleção de uma solução vizinha dentro de $N(s)$;
- Critério de término.

Dentre as meta-heurísticas mais relevantes Hillier e Lieberman (2013) destacaram no livro *Introdução à Pesquisa Operacional: Busca Tabu; Algoritmos Genéticos e; Recozimento Simulado (Simulated Annealing)*. Ernst *et al.*, (2004) acrescenta à lista das principais meta-heurísticas: *Greedy Random Adaptive Search Procedure (GRASP)*, *Iterated Local Search (ILS)* e Otimização de Colônias. Porém, além de existirem várias outras, também é utilizado o emprego de mais de uma meta-heurística na solução de um problema, aplicando a solução de um método como ponto de partida de outro, a fim de refinar o resultado obtido, ou de forma cooperativa, onde os algoritmos trocam informações entre si. Essa combinação de técnicas é conhecida como hibridização (POLTOSI, 2007).

Outras meta-heurísticas são encontradas na literatura, com por exemplo na pesquisa de Croce, Della; Salassa (2014), que apresentam o problema de escalas de da equipe de enfermagem em um hospital particular localizado em Turim, Itália. A abordagem utilizada foi na meta-heurística busca em vizinhança variável (VNS). Os autores consideram o método satisfatório, na medida em que os objetivos foram alcançados.

Lü e Hao (2012) apresentam um método de busca adaptativa na vizinhança (ANS) para resolver o problema de QL. O algoritmo utiliza uma estratégia de combinação de vizinhança para selecionar, probabilisticamente, um ou dois movimentos *swap* para executar a cada iteração. Os autores consideram a técnica robusta e com resultados significativamente satisfatórios em termos de tempo e qualidade da solução obtida.

Já o trabalho de Kundu *et al.* (2008) faz uma comparação entre os métodos meta-heurísticas *Simulated Annealing* e Algoritmo Genético, aplicados em um

problema de escala de equipe de enfermagem genérico. Os autores apresentam os benefícios dos métodos e apontam o mais indicado de acordo com os resultados obtidos.

Por fim, Maenhout; Vannhoucke (2011), propuseram uma ferramenta de otimização heurística para o problema *nurse rostering* que otimiza a programação de um conjunto de enfermeiros heterogêneos. O procedimento heurístico compreende uma meta-heurística evolutiva que opera em um conjunto ótimo de Pareto de soluções. Para os autores, os resultados computacionais foram considerados satisfatórios.

2.2.1.3.1 Algoritmo Evolutivo

Algoritmos Evolutivos (AE) são técnicas de busca estocástica inspirados na teoria da evolução biológica formulada por Charles Darwin em meados do século XIX. Darwin observou que espécies com variações, que transmitem uma vantagem em termos de sobrevivência pela melhor adaptação ao ambiente, têm mais chances de sobrevivência para a geração seguinte. Esse fenômeno foi chamado desde essa época de sobrevivência dos mais adaptados (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

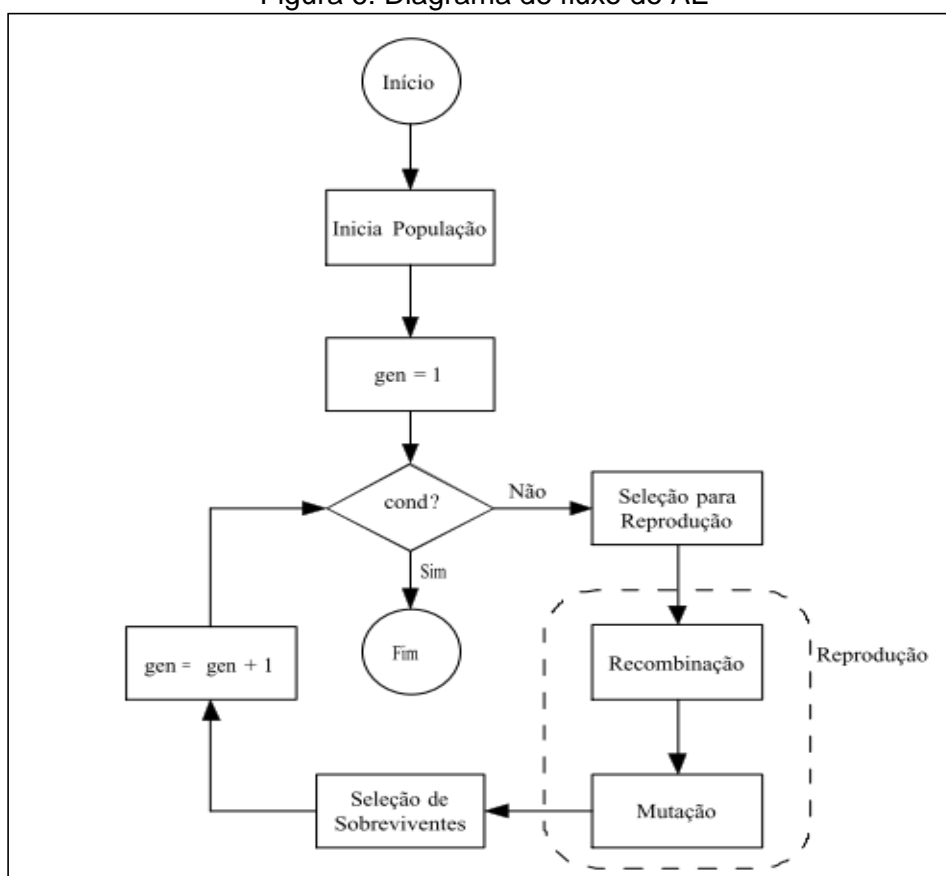
Em qualquer espécie, cada filho herda alguns dos cromossomos de cada um dos pais, em que os genes dentro dos cromossomos determinam as características individuais do filho. Um filho que por acaso herda as melhores características dos pais tem maior probabilidade de sobreviver na idade adulta e depois se tornar um pai capaz de transmitir essas características à geração seguinte. A população tende a melhorar lentamente ao longo do tempo por meio desse processo (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

Essas ideias podem ser transferidas para lidar com problemas de otimização de forma bastante natural. As soluções viáveis para determinado problema correspondem aos integrantes de dada espécie, na qual a adaptação de cada integrante agora é medida pelo valor da função objetivo. A sobrevivência dos mais adaptados deve tender a levar um algoritmo evolutivo a uma solução experimental

que é, pelo menos, próxima da solução ótima, conforme demonstrado na Figura 6 (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

Algoritmos evolutivos pertencem ao conjunto de técnicas e procedimentos adaptáveis, os quais são aplicados com sucesso em problemas complexos, em que técnicas tradicionais seriam ineficazes ou não aplicáveis. Utilizando-se algoritmos evolutivos, não existe a garantia de obtenção da solução ótima; porém, uma solução viável para o problema em questão será obtida (FRANCISCO, 2013).

Figura 6: Diagrama de fluxo do AE



Fonte: Gabriel; Delbem (2008)

No AE as soluções podem ser codificadas em arranjos binários com tamanhos fixos, no qual cada elemento do vetor representa a presença (1) ou ausência (0) de uma determinada característica, conforme Figura 7.

Figura 7: Soluções codificadas em arranjos binários.

Genes	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Alelos	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0

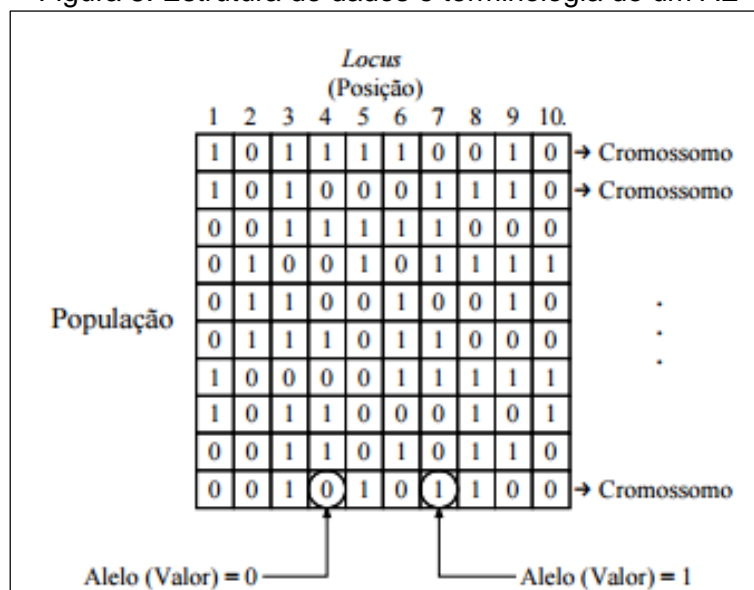
Fonte: Francisco (2013)

O cromossomo representa o conjunto de parâmetros da FO, cujo retorno esperado é dado frente à maximização ou minimização da qualidade desta solução (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

As terminologias adotadas nos sistemas evolutivos são descritas abaixo, e ilustradas na Figura 8(GABRIEL; DELBEM, 2008; ROSA; LUZ, 2009; FRANCISCO, 2013):

- **Cromossomo** – Estrutura de dados formada por uma sequência de genes, com a função de codificar uma solução para o problema;
- **Genes** – Componente elementar de um cromossomo. Os genes correspondem a cada posição da estrutura de dados ou vetores, na qual será alocado um valor, o chamado Alelo;
- **Alelo** – Representa os dados que um gene pode assumir;
- **Lócus** – Posição ocupada por um gene em um cromossomo;
- **Fitness** – Valor obtido a partir da FO.
- **População e seu Tamanho** – O método mais comumente adotado na geração da população inicial é a inicialização aleatória dos indivíduos (FRANCISCO, 2013).

Figura 8: Estrutura de dados e terminologia de um AE



Fonte: Gabriel; Delbem (2008)

O tamanho da população é um parâmetro importante do AE, pois tal parâmetro pode afetar no desempenho do algoritmo. A quantidade insuficiente de indivíduos em uma população irá oferecer pouca cobertura no espaço de busca do problema. Já a quantidade excessiva de indivíduos em uma população fornecerá uma cobertura representativa do domínio do problema e prevenirá a convergência prematura para soluções locais, enquanto que o objetivo é encontrar soluções globais, porém, utilizará recursos computacionais e temporais em alta escala (FRANCISCO, 2013).

Os AEs utilizam operadores genéticos como mecanismo para obter uma população sucessiva na qual o valor de aptidão dos indivíduos seja superior aos dos seus progenitores, resultando-se desta forma, na evolução dos indivíduos. Os operadores são (FRANCISCO, 2013):

Cruzamentos (Crossover) – Assim como na natureza, nos sistemas artificiais o cruzamento corresponde ao cruzamento entre duas soluções para o problema tratado, com objetivo de gerar uma solução melhor adaptada. Possibilita a produção de novos indivíduos a partir do cruzamento de informação genética de indivíduos progenitores, os quais são escolhidos entre os indivíduos da população

atual. Os indivíduos gerados serão inseridos na nova população de soluções candidatas, com o propósito de trocar informação entre diferentes soluções candidatas. Os tipos de cruzamentos empregado no AE são:

O **cruzamento de um ponto** é o método clássico de cruzamento, no qual são selecionados dois indivíduos da população atual, ambos com comprimento fixo X . Será determinado um ponto de corte, o qual indica quais genes serão fornecidos de cada progenitor ao novo indivíduo.

O ponto de corte corresponde a uma posição do vetor, ou lista, de genes de cada indivíduo. O ponto de corte deve, obrigatoriamente, ser um número inteiro, escolhido aleatoriamente, maior que zero e menor que X . Assim, um novo indivíduo é então gerado, herdando informação genética de dois outros indivíduos, por meio da troca de um conjunto de atributos, conforme Figura 9.



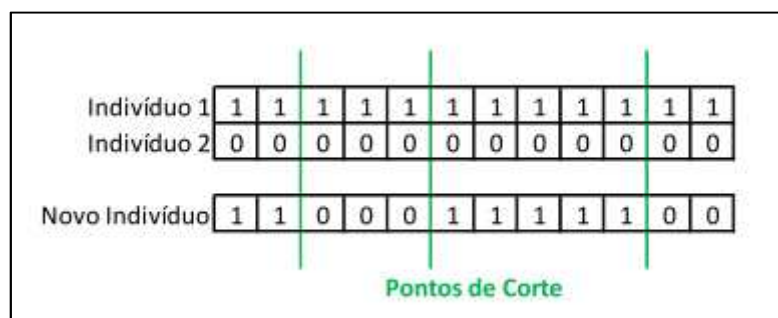
Fonte: Francisco (2013)

Outro tipo conhecido de cruzamento é o **cruzamento de N pontos**, no qual permite que seja inserida maior variação na nova população, pois são selecionados dois indivíduos da população atual, ambos com comprimento fixo X , e serão determinados mais de um ponto de corte, os quais indicam quais genes serão fornecidos de cada progenitor ao novo indivíduo, conforme Figura 10.

O cruzamento com mais de um ponto de corte permite que o novo indivíduo tenha maior variação genética quando comparado àquele gerado a partir do

cruzamento de um ponto. Consequentemente, existirá aqui maior variação na nova população, evitando-se desta forma, que seja atingido um mínimo local no espaço de busca do problema.

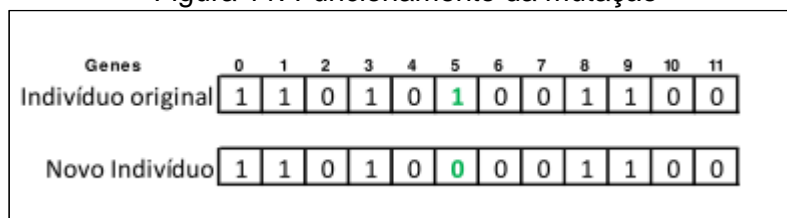
Figura 10: Funcionamento do cruzamento de N pontos



Fonte: Francisco (2013)

O **operador de mutação** permite a inserção de diversidade na população, pois modifica, aleatoriamente, um ou mais genes de um cromossomo. Inicialmente deve ser definida a taxa de mutação a ser adotada, para que seja determinada a quantidade de indivíduos que estarão sujeitos à mutação em uma população. A taxa de mutação, usualmente, corresponde a um valor de porcentagem baixo. Os indivíduos codificados binariamente são mutados a partir da troca do valor do alelo por zero ou um, de acordo com o valor atual, conforme Figura 11.

Figura 11: Funcionamento da mutação



Fonte: Francisco (2013)

A **condição de parada** do AE corresponde ao parâmetro no qual é determinada a finalização da execução do algoritmo desenvolvido. Existem duas abordagens de condição de parada encontradas na literatura relacionada: quando não é possível obter conhecimento prévio da solução desejada, é definido a partir da quantidade de execuções do algoritmo desenvolvido. Ao adotar esta metodologia, a quantidade de gerações é pré-definida e ao atingir este valor, o algoritmo é finalizado. Na outra condição, quando é conhecida a solução desejada para o problema tratado, então é definida como condição de parada do algoritmo, somente quando for obtida a solução esperada, ou próxima dela.

3 METODOLOGIA

No que se refere ao método de pesquisa, o desenvolvimento de modelos matemáticos corresponde, no universo da Pesquisa Operacional, à pesquisa quantitativa. Conforme a tipologia de pesquisa apresentada por Bertrand e Fransoo (2002), observam-se na literatura duas classes distintas de pesquisa baseada em modelos quantitativos (modelagem e simulação): a pesquisa axiomática e a pesquisa empírica.

A pesquisa apresentada neste trabalho pode ser classificada como pesquisa *Empírica Normativa* na seção 3.5.1 e, *Empírica Descritiva* na seção 3.5.2. Nessa linha de pesquisa, a principal preocupação do pesquisador é assegurar que exista adesão entre observações e ações na realidade e o modelo elaborado daquela realidade (CAUCHICK *et al.*, 2012).

3.1 Justificativa da Seleção do Método

No contexto do presente trabalho, a Modelagem e Simulação (modelagem quantitativa) é indicada levando em conta que:

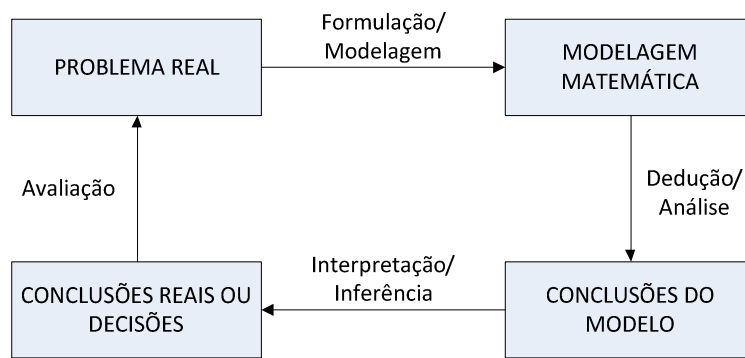
- A “Modelagem e Simulação” é o processo de criar e experimentar um sistema físico através de um modelo matemático computadorizado, onde um sistema pode ser definido como um conjunto de componentes ou processos que se interagem e que recebem entradas e oferecem resultados para algum propósito (CAUCHICK *et al.*, 2012).
- Este trabalho refere-se a uma pesquisa com uma proposta para o desenvolvimento e o uso de um modelo matemático que objetiva aperfeiçoar o desempenho de um processo real e, que exige a tomada de decisão para problemas enfrentados pelos gestores da instituição pesquisada (BERTRAND; FRANSOO, 2002).
- A metodologia de pesquisa baseado em Modelagem é indicada para estudos envolvendo matemática, estatística e ciência da computação, tais como

- otimização combinatória e teoria das filas (BERTRAND; FRANSOO, 2002).
- A metodologia permite testar um novo modelo para a instituição antes de implementá-lo (CAUCHICK *et al.*, 2012).

3.2 Delineamento da Pesquisa

O delineamento desta pesquisa segue as etapas propostas por Cauchick *et al.* (2012), baseada em Bertrand e Fransoo (2002), conforme Figura 12.

Figura 12: Processo de modelagem



Fonte: Adaptado de Cauchick *et al.* (2012).

A proposta de Cauchick *et al.* (2012), ilustra um processo simplificado da abordagem de solução de um problema utilizando formulação/modelagem matemática. As deduções/análises resultantes da modelagem matemática admitem conclusões do modelo e interpretações/inferências da situação real.

Este trabalho foi realizado a partir da identificação de um problema real no QL de um hospital de Porto Alegre. Para entender o problema e verificar como este vem sendo tratado, foi realizado a revisão da literatura conforme os capítulos 1 e 2. Além disso, foram realizadas visitas e entrevistas *in loco* objetivando compreender o problema no ambiente da pesquisa, etapa demonstrada nos capítulos 1 e 3.4.

Conhecido o problema real, a etapa seguinte consistiu em propor um modelo para elaboração de QL adaptado de modelos já consagrados na literatura, onde está incluso a modelagem matemática, conforme seção 3.5.1. Na seção 3.5.2 está a

proposição do modelo para a avaliação do QL. Na sequência, a seção 3.5.1.5 tratou da etapa de dedução/análise, aplicando técnicas matemáticas e tecnologia computacional para resolver o modelo e visualizar as conclusões e/ou decisões sugeridas pelo mesmo. Por fim, a seção 3.6 foi dedicada à experimentação e validação do modelo. Nesta etapa buscou-se saber se o modelo tem significado suficiente para inferir conclusões e/ou decisões para o problema real e, avaliar as necessidades de revisão, fato que implica na orientação para repetição do ciclo.

3.3 Método de trabalho

O Fluxograma apresentado na Figura 13 mostra o detalhamento das etapas do trabalho, conforme detalhado a seguir:

A fase inicial do trabalho dedicou-se ao macro entendimento do problema no ambiente de pesquisa e à verificação de como o mesmo tem sido abordado na literatura. O objetivo desta fase foi reunir elementos para realizar a estruturação de um modelo conceitual capaz de indicar variáveis de controle e variáveis influenciadas do problema.

O estudo de campo foi realizado com o objetivo de contextualizar o modelo conceitual da fase inicial com o ambiente de pesquisa. Sua realização ocorreu para elicitare os dados indicados pelo modelo e para diagnosticar suas correlações. Durante a fase do estudo de campo o Gestor de RH acompanhou todo o processo e indicou os profissionais capacitados para responder as questões específicas dentro da área de delimitação da pesquisa. Foi realizada uma série de entrevistas exploratórias, sem roteiro estruturado, a fim de identificar os principais aspectos que são levados em consideração para a construção do QL. Para essa fase foram entrevistados quatro enfermeiros chefes, sendo que um dos entrevistados foi questionado mais de uma vez em questões pontuais para sanar dúvidas ocorridas durante o estudo. Também foi entrevistada a gestora da área assistencial do hospital e profissionais das áreas de apoio (marketing, controladoria, RH e processos).

Após a obtenção das informações exploratórias, os setores foram visitados para observação das rotinas de trabalho bem como as informações qualitativas e quantitativas (número de leitos do setor, número de funcionários, cobertura mínima, etc). Os dados coletados foram tratados estatisticamente e apresentados em gráfico e tabelas na seção 3.4.4.

A partir das informações e conclusões proporcionadas pelo estudo de campo, o trabalho dedicou-se à construção de um modelo para otimização do QL. Baseado na literatura e no contexto do ambiente de pesquisa, esse modelo traduziu o problema de pesquisa em equações matemáticas para a proposição de uma FO.

Definida a FO global, a pesquisa passou a analisar como os indicadores de desempenho de um hospital são influenciados pelas restrições que compõe a FO. Para essa etapa foi escolhido a Árvores da Realidade Atual – ARA, por se tratar de uma técnica utilizada para projetar o entendimento de sistemas complexos (WANDERLEY; COGAN, 2012; ESHERICK et al., 2013). Por meio da ARA é possível identificar os efeitos indesejados exibidos pelo sistema, relacionar os efeitos indesejados as causas-raiz por meio de cadeias lógicas de causa e efeito e identificar um ou mais problemas-raiz apresentados no problema. A ARA é um diagrama que, através de conexões de causa e efeito, interliga todos os sintomas do sistema, permitindo encontrar a restrição(WANDERLEY; COGAN, 2012). Com a construção de Árvores da Realidade Atual (ARA) que auxiliaram a identificação de causas e efeitos, um modelo de avaliação do QL foi proposto, resultando em funções que representam cada indicador.

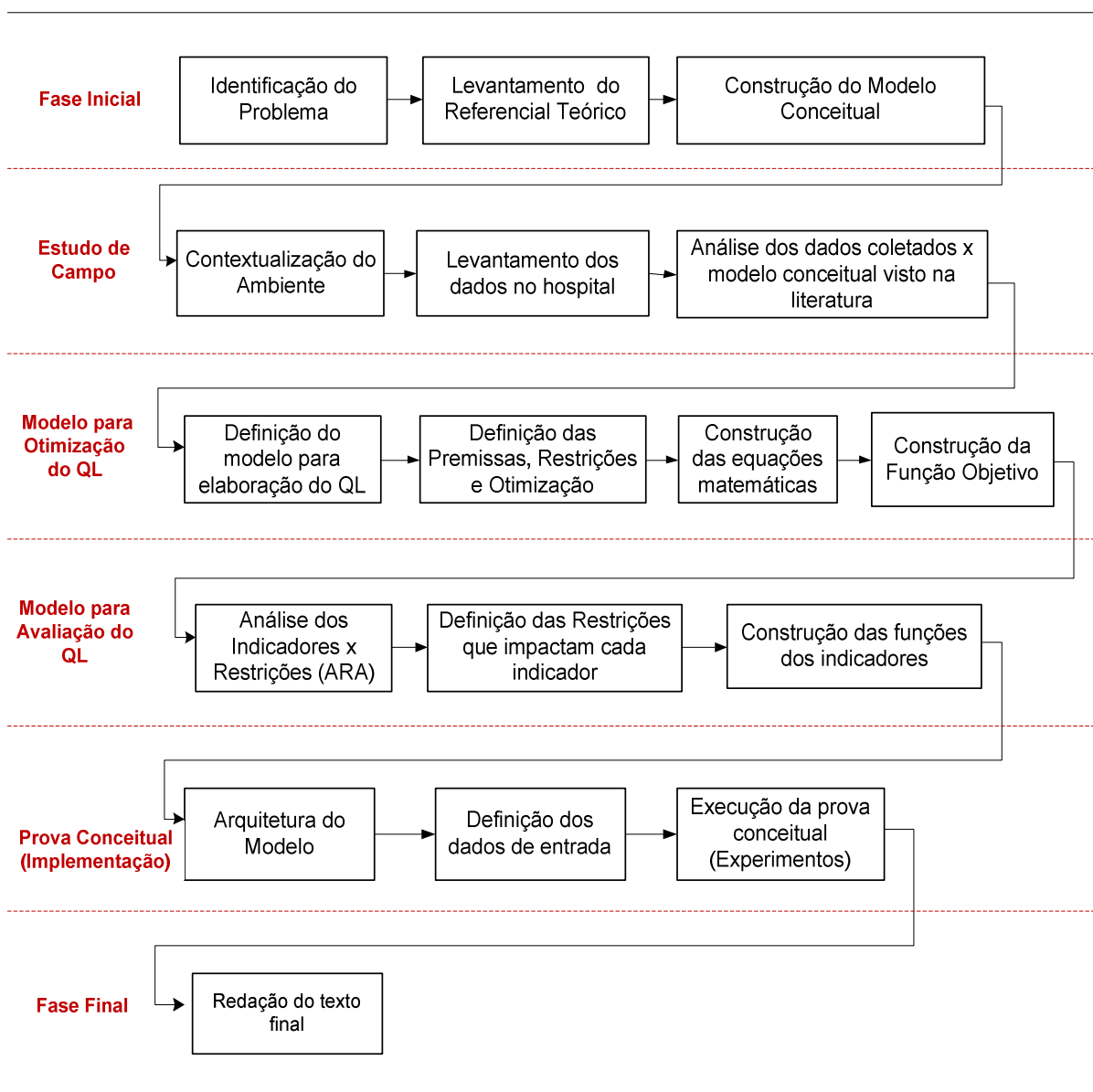
Para experimentação da proposta de avaliação de QL apresentada nesta pesquisa, foi elaborada uma prova conceitual arquitetando o modelo em planilha eletrônica (MS Excel), onde, definido dados de entrada que representavam situações cotidianas da elaboração de escala, o modelo foi testado.

Os experimentos foram realizados em um computador com processador Intel 1.1 GHz Duo Core e 4GB de RAM, com o sistema operacional Windows 8. A prova de conceito foi desenvolvida na planilha eletrônica Excel 2010, com programação

em VBA (*Visual Basic for Applications*) e execução de Algoritmo Evolutivo com utilização do suplemento Solver™.

Por fim, a pesquisa encaminhou a produção textual do trabalho.

Figura 13: Etapas do trabalho



Fonte: Elaborado pela autora

MODELO PROPOSTO

Otimizar significa criar condições mais favoráveis para determinado evento ou situação, estabelecendo o melhor valor possível de alguma coisa.

3.4 Contextualização do Ambiente

Diante das particularidades existentes em cada caso e, para atendimento do objetivo de proposição de um modelo, fez-se necessário a busca por conhecimento a respeito do hospital. Assim, foram analisados os dados sobre infraestrutura, produtividade, dimensionamento e funcionamento da escala do QL, normas específicas, culturas existentes, diretrizes da alta administração e modelos comportamentais das atividades/produções físicas. Este panorama está resumido nas seções a seguir.

3.4.1 O Organograma do Hospital

O hospital pesquisado encerrou o ano de 2014 tendo em seu quadro o total de 2905 funcionários, sendo 1042 técnicos de enfermagem e 221 enfermeiros. A administração geral do hospital é realizada por um Diretor Superintendente Corporativo, que assessorado por departamentos estratégicos e de controle, dirige duas grandes áreas:

- Área de Apoio ao Negócio: executa funções administrativas, financeiras, de hotelaria, suprimentos, marketing e informática;
- Área de Negócio (Assistencial): dividida em dois segmentos, um para atendimento a pacientes privativos e semi-privativos e, outro para atendimento a pacientes do Sistema Único de Saúde - SUS. São as áreas que executam as atividades fim do hospital.

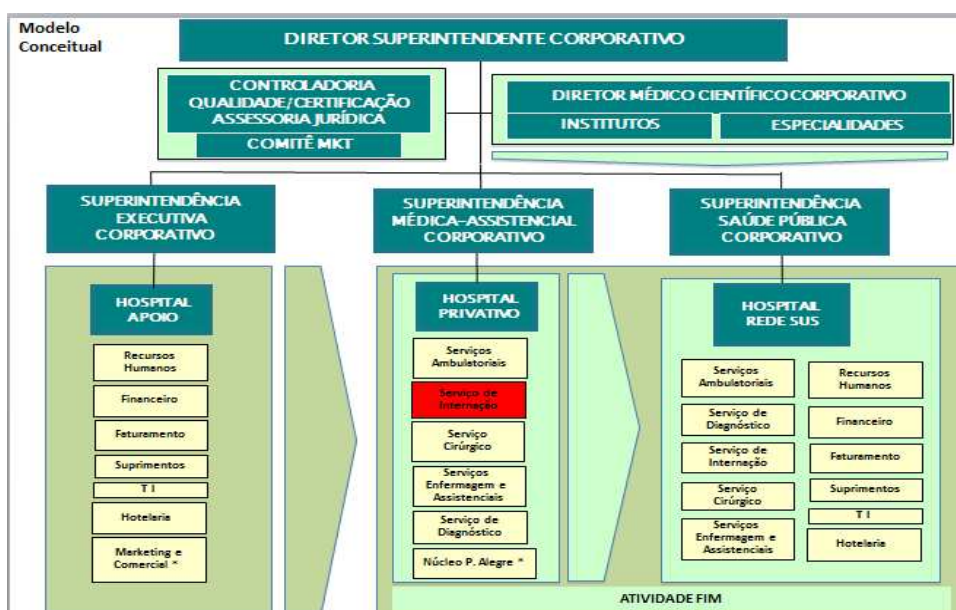
As áreas de Apoio são aquelas que não entram em contato direto com os pacientes, apoiando o trabalho das áreas assistenciais através do provimento de recursos humanos, tecnológicos e de materiais, além de apoios de controle e

gestão. Já as áreas Assistenciais são aquelas que se relacionam diretamente com os pacientes, prestando serviços aos mesmos. O Quadro 3 detalha a constituição da estrutura organizacional das áreas do hospital. Destacado na cor verde, estão as unidades que compõem a Unidade de Internação (UI) do hospital, onde a pesquisa foi desenvolvida.

Verifica-se que nas áreas Assistenciais, as áreas estão organizadas por Famílias, o que se deve ao maior grau de complexidade das operações assistenciais (ligadas diretamente aos pacientes e aos seus tratamentos) do que as das áreas de apoio. Ao todo, são 57 áreas de Apoio e 55 áreas Assistenciais subdivididas em seis famílias.

Este projeto foi limitado a verificar e propor um modelo para otimização do QL no setor de internação da área assistencial subordinada à superintendência de atendimento privativo do hospital. A Figura 14 mostra na forma de organograma a situação deste setor no contexto de funcionamento do hospital. O setor em estudo encerrou o ano de 2014 contando com 253 técnicos de enfermagem e 56 enfermeiros, o equivalente 25% do número total de enfermeiros e técnicos, concentrando um quarto da fatia total da equipe de enfermagem do hospital, o que justifica o estudo ter sido aplicado neste setor.

Figura 14: Organograma do hospital



Fonte: Fornecido pelo hospital

Quadro 3: Estrutura das áreas do hospital analisado

ÁREAS DE APOIO	ÁREAS ASSISTENCIAIS
Almoxarifado	FAMILIA INTERNAÇÃO
Auditoria Interna	CAPS A
Call Center	CAPS B
CCCMD - Centro Científico Cultural Mãe Deus	Housing
Centro Clínico	Unid. Amb. Saúde Mental – IAPI
Centro Comunitário Vila Gaúcha	Unidade Dependência Química
Centro de Material Esterelizado	Unidade Internação A - 4º Andar
Comercial	Unidade Internação A - 5º Andar
Compras	Unidade Internação A - 6º Andar
Condomínio Centro Clínico	Unidade Internação A - 7º Andar
Contabilidade	Unidade Internação A - 8º Andar
Controladoria	Unidade Internação A - 9º Andar
Controle de Infecção Hospitalar	Unidade Internação B - 4º Andar
Costura	Unidade Internação B - 5º Andar
Diretoria Assistencial	Unidade Internação B - 6º Andar
Diretoria de Operações	Unidade Internação B - 7º Andar
Diretoria dos Hospitais da Rede	Unidade Transtornos Humor
Diretoria Estatutária	PACIENTES GRAVES
Diretoria Executiva	CTI'S Adulto
Diretoria Médica / Científica	Emergência
Farmácia	Pronto Atendimento
Faturamento	Serviços Ambulatoriais
Financeiro	Unidade Cuidados Especiais
Governança	TRATAMENTOS
Hotelaria Hospitalar	Ambulatório Transplantes
Manutenção	Fisioterapia
Marketing	Hemodiálise Ambulatorial
Nutrição	Hemodiálise Internados
Pastoral da Saúde	Hemoterapia
Qualidade	Instituto Medicina Vascular
Recepção CDI	Oncologia
Recepções	DIAGNÓSTICOS
Recursos Físicos	Densitometria Óssea
Recursos Humanos	Ecografia
RH Administrativo	Laboratório
Responsabilidade Social	Liitotripsia
Rouparia	Mamografia
Segurança Patrimonial	Medicina Fetal
Serviço de Apoio ao Cliente	Medicina Nuclear
Serviço de Epidemiologia	Patologia
SESMT	PET CT
Superintendência	Radiologia
Suprimentos	Ressonância Magnética
Tecnologia da Informação	Tomografia Computadorizada
Transporte	MATERNIDADE
Unid Básica Saúde Vila Gaúcha	Centro Obstétrico
Unidade Móvel	CTI Neonatologia
Universidade Corporativa	Sala Recuperação Obstétrica
	Sala Recuperação Pediátrica
	Unidade Internação Maternidade
	CENTRO CIRÚRGICO
	Centro Cirúrgico
	Centro Terapia Endovascular
	Endoscopia
	Hospital Dia
	Sala Recuperação Internados

Fonte: Fornecido pelo hospital

3.4.2 Infraestrutura do Setor de Internação

O setor de internação é composto por dez unidades hospitalares distribuídas em duas torres interligadas, denominadas neste trabalho como torre A e torre B, ocupando 6 andares. Ao todo, possui 224 leitos, atendendo pacientes com diferentes patologias, conforme demonstrado na Tabela 3.

Dentre as dez unidades citadas, destaca-se a unidade UI A – 9º andar, que além de funcionar como setor de internação, possui uma equipe de técnicos assistenciais que são responsáveis por treinar todos os novos enfermeiros e técnicos de enfermagem recém contratados pelo hospital. Também chamado de incubadora, é neste local que os novos contratados laboram nos 15 primeiros dias de emprego, recebendo treinamentos e orientações sobre os padrões de atendimento definidos e praticados no hospital.

O hospital segue o Sistema de Classificação de Pacientes (SCP), o qual pode ser definido como um sistema que permite a identificação e classificação de pacientes em grupos de cuidados, ou categorias, e a quantificação dessas categorias como medida dos esforços de enfermagem requeridos. A classificação é definida por Mahnis *et al.* (2002) da seguinte forma:

- **Cuidados mínimos (PCM)** - cuidados a pacientes estáveis sob o ponto de vista clínico e de enfermagem, mas fisicamente auto suficientes quanto ao atendimento das necessidades humanas básicas;
- **Cuidados intermediários (PCI)** - cuidados a pacientes estáveis sob o ponto de vista clínico e de enfermagem, com parcial dependência das ações de enfermagem para o atendimento das necessidades humanas básicas;
- **Cuidados semi-intensiva (PCSI)** - cuidados a pacientes crônicos, estáveis sob o ponto de vista clínico e de enfermagem, porém, com total dependência das ações de enfermagem quanto ao atendimento das necessidades humanas básicas;
- **Cuidados intensivos (PCIT)** - cuidados a pacientes graves, com risco iminente de morte, sujeitos à instabilidade de sinais vitais, que requeiram assistência de enfermagem e médica permanente e especializada.

Essa classificação é utilizada pelo COFEN para normatizar o tempo de assistência de enfermagem para cada paciente. Para efeito de cálculo, devem ser consideradas como horas de Enfermagem, por leito, nas 24 horas (COFEN, 2004):

- PCM - 3,8 horas de Enfermagem, por cliente;
- PCI - 5,6 horas de Enfermagem, por cliente;
- PCSI - 9,4 horas de Enfermagem, por cliente;
- PCIT - 17,9 horas de Enfermagem, por cliente.

Tabela 3: Infraestrutura do hospital em dezembro de 2014.

Unidades	Tipo de Paciente	Número total de leitos	Leitos PCM	Leitos PCI	Leitos PCSI	Leitos PCIT	Taxa média de ocupação*
UI A - 4º Andar	Clínicos e Cirúrgicos	16	6	9	1	0	78%
UI A - 5º Andar	Cardiologia	33	18	6	8	1	82%
UI A - 6º Andar	Neurologia	32	18	5	7	2	83%
UI A - 7º Andar	Traumatologia	32	11	13	8	0	80%
UI A - 8º Andar	Oncologia	24	9	6	8	1	84%
UI A - 9º Andar	Clínicos e Cirúrgicos	24	12	4	6	2	89%
UI B - 4º Andar	Clínicos e Cirúrgicos	15	5	5	4	1	96%
UI B - 5º Andar	Cardiologia	16	5	5	4	2	96%
UI B - 6º Andar	Neurologia	16	5	4	6	1	96%
UI B - 7º Andar	Traumatologia	16	6	4	6	0	92%

* Média do ano de 2014

Fonte: Elaborado pela autora

3.4.3 QL do setor de Internação

O setor de Internação, onde o modelo foi aplicado, é coordenado por uma enfermeira chefe, responsável pelas atividades assistenciais desenvolvidas pela equipe de enfermagem do setor. Além da coordenação das atividades assistenciais, a enfermeira chefe é responsável pelos processos, capacitações, avaliação de desempenho e o QL da área.

O processo de construção do QL é realizado manualmente pela chefia da Unidade de Internação, como na maioria dos hospitais (PASCHOU *et al.*, 2015), e é divulgado para os membros das equipes. No caso de pedidos de alteração, a Chefia da Unidade deve ser consultada para verificar a viabilidade do ajuste proposto.

Cada Unidade de Internação possui uma equipe permanente de enfermeiras e técnicos. Na prática, eventualmente ocorrem deslocamentos temporários de um profissional para cobrir ausência de pessoal em outra unidade. O hospital se utiliza de enfermeiras “folguistas” e/ou “feristas”, que são contratados para cobrir a demanda mínima nas ausências dos funcionários fixos.

No hospital pesquisado, os profissionais da enfermagem trabalham em turno fixo. Os turnos são classificados como: manhã, tarde, noite ou integral. O turno integral se aplica à enfermeiras que exercem funções de chefia e/ou administrativas, geralmente um profissional por setor assistencial. Os enfermeiros e técnicos que trabalham no turno da noite seguem um regime 12 x 36, que indica 12 horas de trabalho e 36 horas de descanso. O hospital trabalha com duas equipes para cobrir o horário da noite, ou seja, enquanto uma equipe trabalha a outra equipe folga. As escalas para as equipes noturnas e profissionais de turno integral não apresentam dificuldades em serem determinadas.

No caso dos demais enfermeiros e técnicos de enfermagem, a lei prevê que a cada oito dias trabalhados deve haver um dia de folga. Os feriados civis e religiosos trabalhados também são convertidos em folgas. O número de técnicos em cada enfermaria é usualmente superior ao número de enfermeiras, seguindo a Resolução COFEN 293/2004 (COFEN, 2004).

3.4.4 Indicadores do Setor de Internação

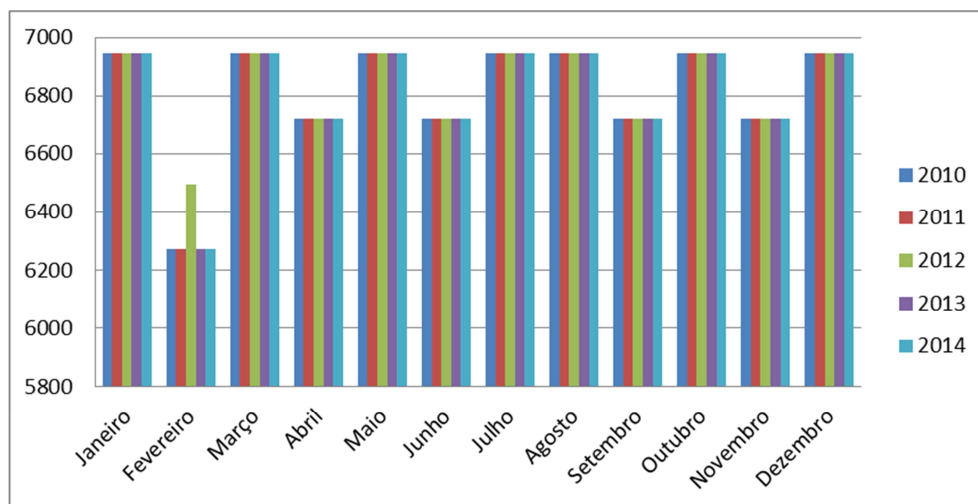
Essa seção objetivou conhecer a capacidade instalada e o comportamento do setor objeto de estudo neste trabalho. Além disso, buscou evidências da relação de influência do QL nos indicadores de desempenho, conforme preconizado por pesquisadores da área. Relembrando a literatura estudada, Picchiai (2009) preconiza que a produtividade é determinada pelas pessoas; Schmoeller e Gelbcke (2011) defendem a teoria que a escala de trabalho deve buscar a satisfação dos pacientes da instituição e dos trabalhadores, visando o desenvolvimento de um cuidado de enfermagem seguro; Fugulin *et al.* (2011) afirmam que se não houver uma cobertura mínima alocada, a equipe de enfermagem será submetida a

excessiva carga de trabalho, que dificulta a organização e a execução dos processos assistenciais, interferindo na qualidade dos serviços prestados; Fugulin *et al.* (2011) também alertam que os indicadores de *turnover* e absenteísmo são influenciados pelo QL das instituições.

Sendo assim, foram analisados indicadores de produtividade, de pessoal, de satisfação do cliente, e da qualidade. Os dados checados compreenderam o período dos últimos cinco anos (2010 a 2014). Esses dados foram coletados junto ao departamento de recursos humanos, controladoria e marketing do hospital.

Neste contexto, um dos indicadores de produtividade que impactam diretamente no QL refere-se ao *número de leitos disponíveis*. No hospital em questão, durante o período contemplado, o número de leitos nas torres A e B permaneceram constantes, sendo 161 o total de leitos na torre A e 63 o total de leitos na torre B. A capacidade instalada da Unidade de Internação se manteve a mesma no período analisado, conforme demonstrado no Gráfico 1.

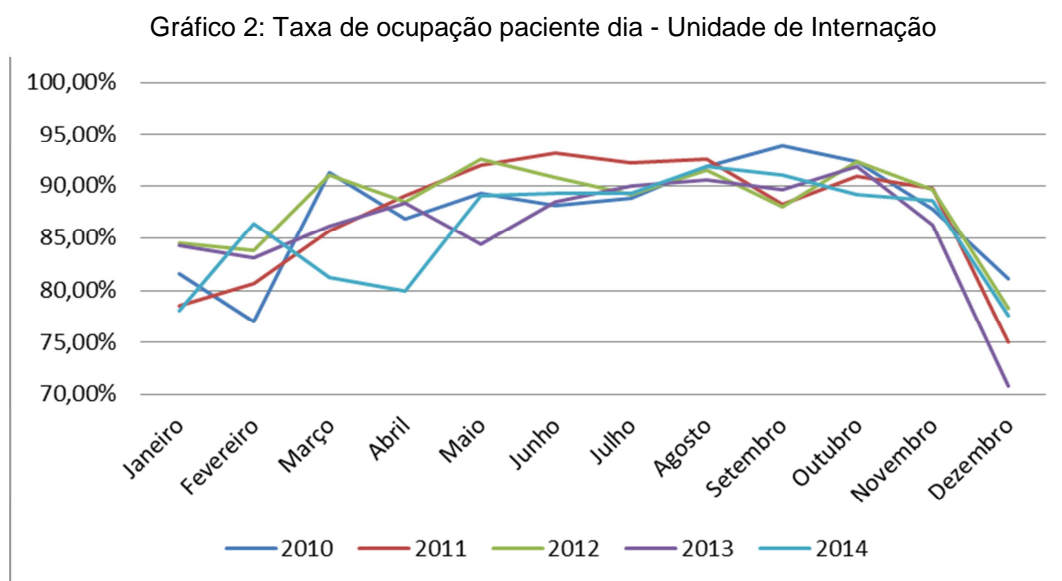
Gráfico 1: Capacidade Instalada - Unidade de Internação



Fonte: Elaborado pela autora a partir dos dados fornecidos pelo hospital

Outro importante indicador diretamente relacionado ao problema de QL é a *taxa de ocupação*, que mensura o percentual de paciente dia considerando a capacidade instalada disponível. Esse indicador também pode ser mensurado por valores absolutos de números de pacientes, chegando a informação de números de *paciente dia* por mês.

O Gráfico 2 apresenta uma visão do comportamento da *taxa de ocupação*, sendo essa comparada mês a mês ao longo de 5 anos. Já o Quadro 4 apresenta uma análise de correlação entre os anos e corrobora com o que foi demonstrado no Gráfico 2. De acordo com o que preconiza Hair *et al.* (2005), variáveis com coeficientes de correlação entre $\pm 0,41$ e $\pm 0,70$ são consideradas com relação moderada, entre $\pm 0,71$ e $\pm 0,90$ são consideradas com relação alta, e acima de $\pm 0,91$ são consideradas com relação muito forte. Com base nisso, e observando o Quadro 4, pode-se afirmar que os anos entre 2010 e 2013 possuem correlação alta a muito forte, demonstrando um comportamento característico entre os meses. Já 2014, que em decorrência dos meses de março e abril exibiram um comportamento irregular, apresentou uma correlação moderada. No entanto, ainda é possível considerar que a Unidade de Internação do hospital possui um comportamento típico em sua demanda. A partir desta informação, o gestor tem condições de gerir com maior precisão os períodos para férias, compensação de horas e treinamentos.



Fonte: Elaborado pela autora a partir dos dados fornecidos pelo hospital

Quadro 4: Correlação dos 5 anos da Taxa de Ocupação - Unidade de Internação.

Correlações						
		Taxa de ocupação Unidade de Internação 2010	Taxa de ocupação Unidade de Internação 2011	Taxa de ocupação Unidade de Internação 2012	Taxa de ocupação Unidade de Internação 2013	Taxa de ocupação Unidade de Internação 2014
Taxa de ocupação Unidade de Internação 2010	Correlação de Pearson	1	,752**	,756**	,701*	,576*
	Sig. (2 extremidades)		,005	,004	,011	,050
	N	12	12	12	12	12
Taxa de ocupação Unidade de Internação 2011	Correlação de Pearson	,752**	1	,919**	,809**	,772**
	Sig. (2 extremidades)	,005		,000	,001	,003
	N	12	12	12	12	12
Taxa de ocupação Unidade de Internação 2012	Correlação de Pearson	,756**	,919**	1	,795**	,628*
	Sig. (2 extremidades)	,004	,000		,002	,029
	N	12	12	12	12	12
Taxa de ocupação Unidade de Internação 2013	Correlação de Pearson	,701*	,809**	,795**	1	,642*
	Sig. (2 extremidades)	,011	,001	,002		,024
	N	12	12	12	12	12
Taxa de ocupação Unidade de Internação 2014	Correlação de Pearson	,576*	,772**	,628*	,642*	1
	Sig. (2 extremidades)	,050	,003	,029	,024	
	N	12	12	12	12	12

** A correlação é significativa no nível 0,01 (2 extremidades).
* A correlação é significativa no nível 0,05 (2 extremidades).

Fonte: Elaborado pela autora a partir dos dados fornecidos pelo hospital

Seguindo a análise dos dados da Unidade de Internação, observa-se no

Quadro 5 que há uma correlação negativa moderada entre as variáveis *número de paciente dia* e *percentual de funcionários em férias*, a medida não supõe normalidade nos dados, o que indica que há uma característica do setor em proporcionar aos funcionários períodos de férias que coincidam com a baixa demanda de pacientes, isso ocorre principalmente nos meses de janeiro e dezembro. No entanto, mesmo os meses de julho e agosto demonstrarem ser períodos de alta demanda, conforme evidenciado no Gráfico 2, tipicamente, em média, 40% dos funcionários gozam de férias neste período, como pode ser visto no

Gráfico 3.

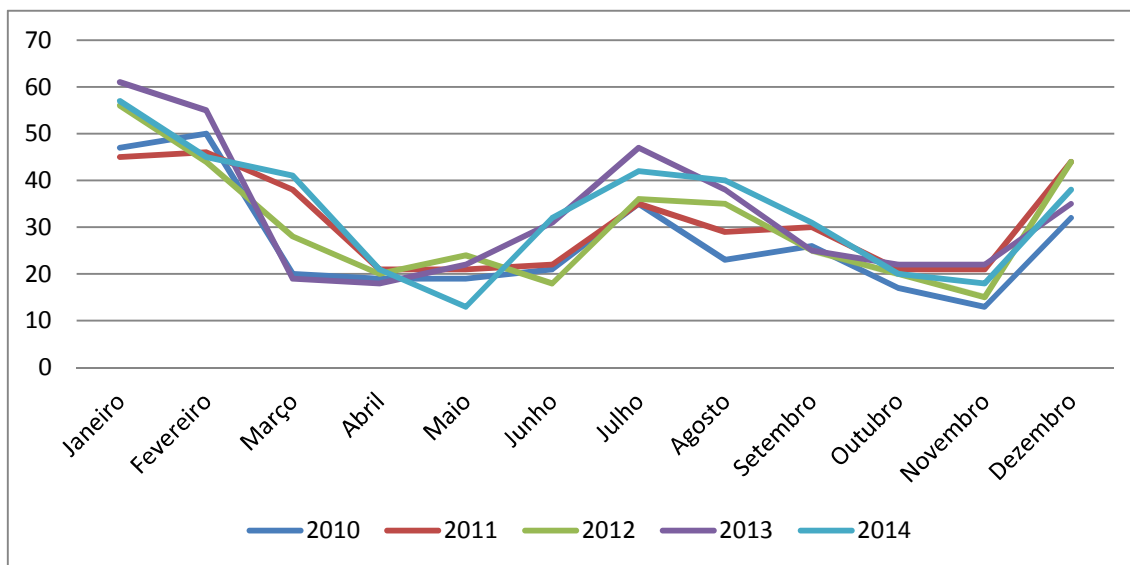
Quadro 5: Correlação entre as variáveis *paciente dia* e *percentual de funcionários em férias*

Correlações			
		% de funcionários em férias	Pacientes dia
% de funcionários em férias	Correlação de Pearson	1	-,507**
	Sig. (2 extremidades)		,000
	N	60	60
Pacientes dia	Correlação de Pearson	-,507**	1
	Sig. (2 extremidades)	,000	
	N	60	60

** A correlação é significativa no nível 0,01 (2 extremidades).

Fonte: Elaborado pela autora a partir dos dados fornecidos pelo hospital

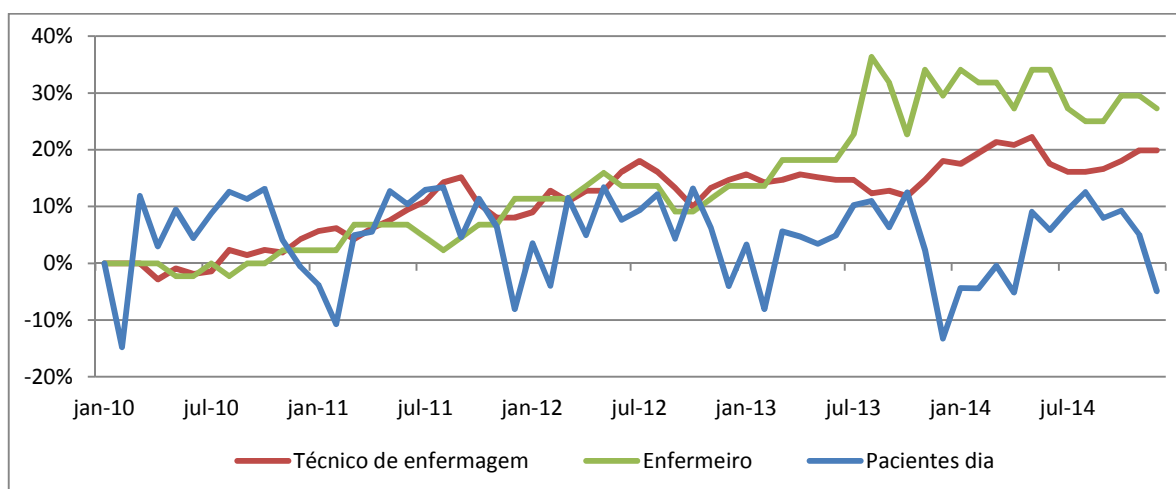
Gráfico 3: Percentual de funcionários em férias – Unidade de Internação



Fonte: Elaborado pela autora a partir dos dados fornecidos pelo hospital

Ao longo dos anos de 2010 a 2014 observou-se um aumento no quadro de pessoal da Unidade de Internação. Com base nos meses de janeiro de 2010 e dezembro de 2014, foi identificado um aumento de 27% na categoria de Enfermeiros, e 20% em Técnicos de Enfermagem. No entanto, essa evolução não ocorreu no número de paciente dia, conforme demonstra o Gráfico 4.

Gráfico 4: Comportamento do quantitativo da equipe de enfermagem em relação ao comportamento da demanda de pacientes – Unidade de Internação.



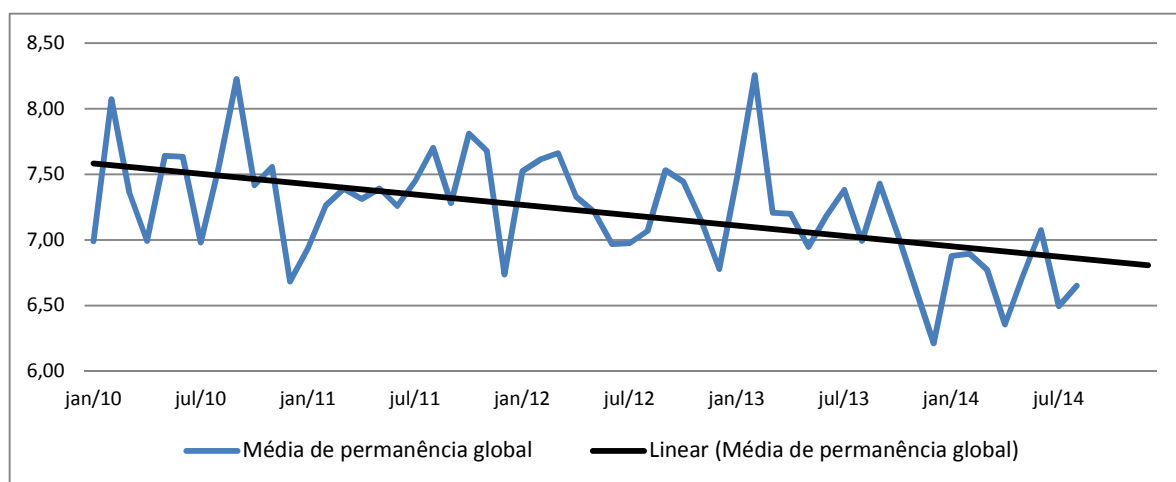
Fonte: Elaborado pela autora a partir dos dados fornecidos pelo hospital

Esse comportamento proporcionou ao setor um número menor de paciente para cada Enfermeiro e Técnico de enfermagem internado no hospital. A partir desta constatação, foram analisadas as variáveis de *Satisfação do Cliente* e *Proporção de Paciente Internado por Técnicos e Enfermeiros*, e a correlação resultou em coeficientes de força de associação moderada alta, conforme demonstrado no Quadro 6. Isto evidencia que a quantidade de pacientes atendidos por membros da equipe de enfermagem influencia na satisfação do cliente atendido. Neste caso, quanto menor a proporção entre pacientes e a equipe de enfermagem, maior tende a ser a satisfação do cliente.

Outra variável observada na análise trata-se da *Permanência média global do paciente internado*. Segundo Kortbeel *et al.* (2015), a carga de trabalho das enfermarias é influenciadas diretamente pelo tempo de permanência do paciente. No

hospital, analisado esta variável vem demonstrando uma queda no seu comportamento, conforme demonstrado no Gráfico 5. O Quadro 6 apresenta análise de correlação desta variável com as variáveis de *Satisfação do Cliente* e *Proporção de Paciente Internado por Técnicos e Enfermeiros*. Como pode ser observado, o coeficiente de correlação resultou em uma força de associação moderada, permitindo afirmar que há indícios de que a satisfação do cliente é influenciada pelo tempo de permanência do paciente no hospital, assim como a proporção de paciente por membros da equipe de enfermagem influencia no tempo de permanência do paciente.

Gráfico 5: Comportamento da variável *Permanência média global do paciente internado*



Fonte: Elaborado pela autora a partir dos dados fornecidos pelo hospital

Quadro 6: Análise de correlação das variáveis de “Satisfação do Cliente” e “Proporção de Paciente Internado por Técnicos e Enfermeiros” – Unidade de Internação

Correlações						
		% Ótimo / % Muito satisfeito	% Insatisfeito / % Recomendari a*	proporção de pacientes por Enfermeiros	proporção de pacientes por técnicos de enfermagem	Permanecina média de paciente internado
% Ótimo / % Muito satisfeito	Correlação de Pearson Sig. (2 extremidades) N	1 59	-,938** 59	,630** 59	,590** 59	,592** 59
% Insatisfeito / % Recomendaria*	Correlação de Pearson Sig. (2 extremidades) N	-,938** 59	1 59	-,655** 59	-,628** 59	-,630** 59
proporção de pacientes por Enfermeiros	Correlação de Pearson Sig. (2 extremidades) N	,630** 59	-,655** 59	1 60	,982** 60	,558** 60
proporção de pacientes por técnicos de enfermagem	Correlação de Pearson Sig. (2 extremidades) N	,590** 59	-,628** 59	,982** 60	1 60	,534** 60
Permanecina média de paciente internado	Correlação de Pearson Sig. (2 extremidades) N	,592** 59	-,630** 59	,558** 60	,534** 60	1 60

** A correlação é significativa no nível 0,01 (2 extremidades).

Fonte: Elaborado pela autora a partir dos dados fornecidos pelo hospital

Os indicadores acompanhados pelo setor de RH como: % Absenteísmo, % *Turnover*, % de funcionários em férias, e Hora homem treinamento, apresentam coeficientes de correlação com força de associação pequena ou leve, quase imperceptível, demonstrando assim indícios de que essas variáveis não influenciam a satisfação do cliente, conforme análise apresentada no Quadro 7.

Quadro 7: Análise de correlação entre as variáveis controladas pelo RH e a Satisfação do Cliente.

Correlações							
		% Ótimo / % Muito satisfeito	% Insatisfeito / % Recomendari a*	% Absentéismo	% Turn over	% de funcionários em férias	Hora homem treinamento
% Ótimo / % Muito satisfeito	Correlação de Pearson	1	-,938**	-,320*	-,217	-,068	-,147
	Sig. (2 extremidades)		,000	,014	,098	,610	,265
	N	59	59	59	59	59	59
% Insatisfeito / % Recomendaria*	Correlação de Pearson	-,938**	1	,255	,211	,070	,196
	Sig. (2 extremidades)	,000		,051	,109	,596	,137
	N	59	59	59	59	59	59
% Absenteísmo	Correlação de Pearson	-,320*	,255	1	-,111	-,007	-,028
	Sig. (2 extremidades)	,014	,051		,399	,958	,835
	N	59	59	60	60	60	60
% Turn over	Correlação de Pearson	-,217	,211	-,111	1	,094	,226
	Sig. (2 extremidades)	,098	,109	,399		,475	,082
	N	59	59	60	60	60	60
% de funcionários em férias	Correlação de Pearson	-,068	,070	-,007	,094	1	,016
	Sig. (2 extremidades)	,610	,596	,958	,475		,906
	N	59	59	60	60	60	60
Hora homem treinamento	Correlação de Pearson	-,147	,196	-,028	,226	,016	1
	Sig. (2 extremidades)	,265	,137	,835	,082	,906	
	N	59	59	60	60	60	60

** . A correlação é significativa no nível 0,01 (2 extremidades).
* . A correlação é significativa no nível 0,05 (2 extremidades).

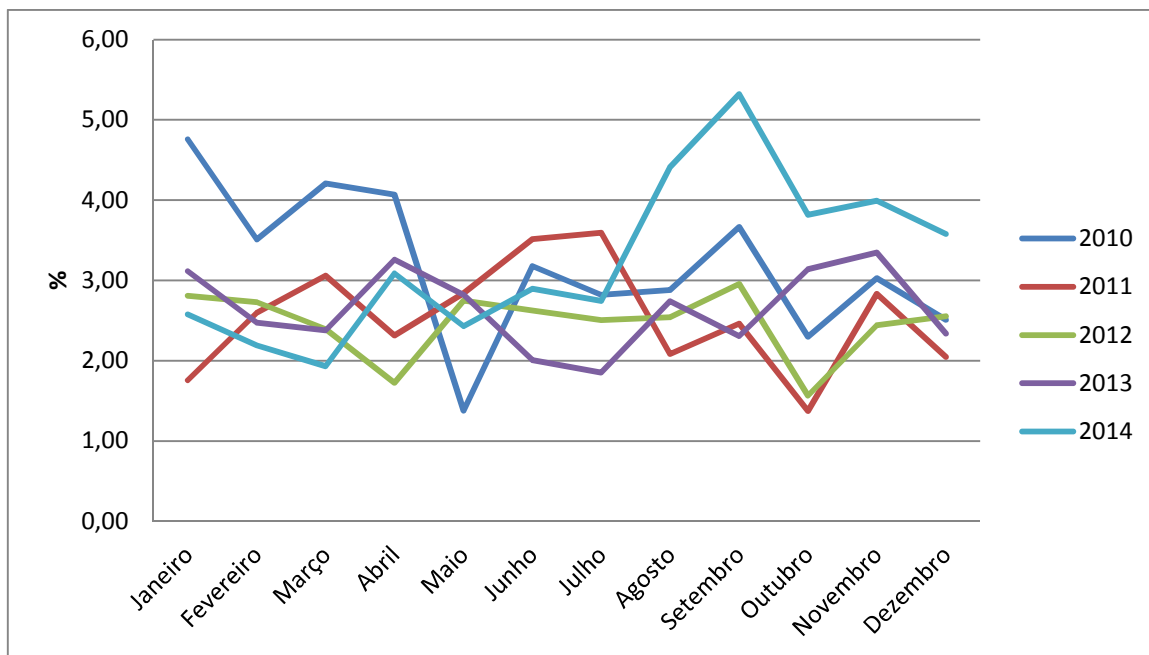
Fonte: Elaborado pela autora a partir dos dados fornecidos pelo hospital

Além disso, Absenteísmo, *Turnover* e Hora homem treinamento não apresentaram coeficientes de correlação relevantes com nenhuma das variáveis analisadas. Esses indicadores demonstraram não ter um padrão de comportamento na análise realizada mês a mês ao longo dos cinco anos, conforme pode ser visto no

Gráfico 6, no Gráfico 7 e no

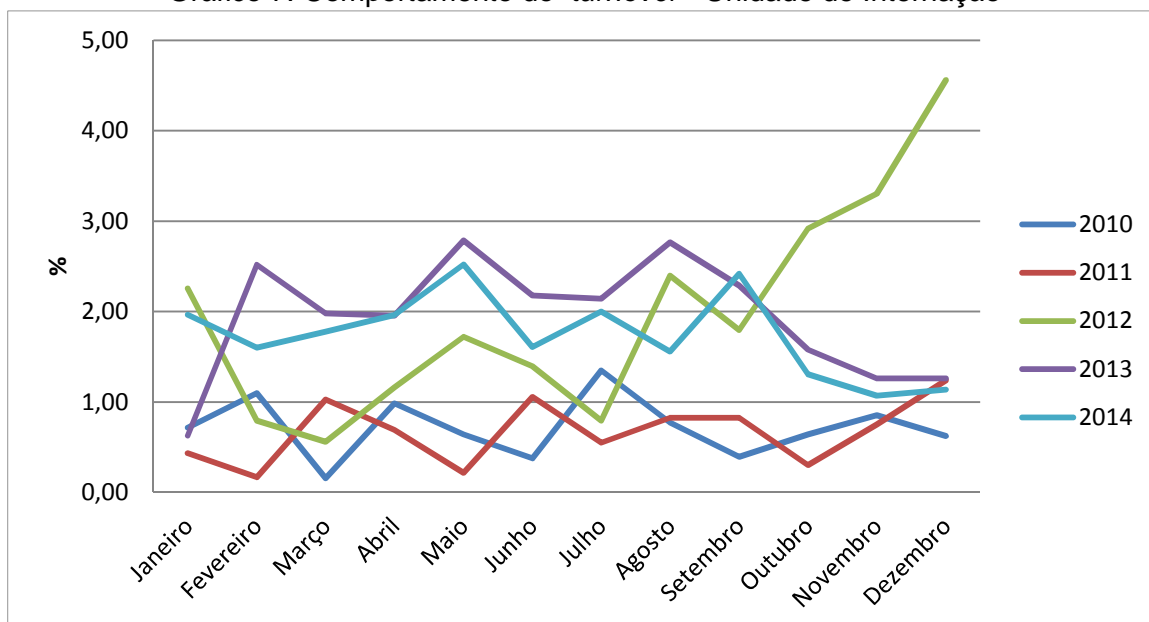
Gráfico 8.

Gráfico 6: Comportamento do Absenteísmo – Unidade de Internação



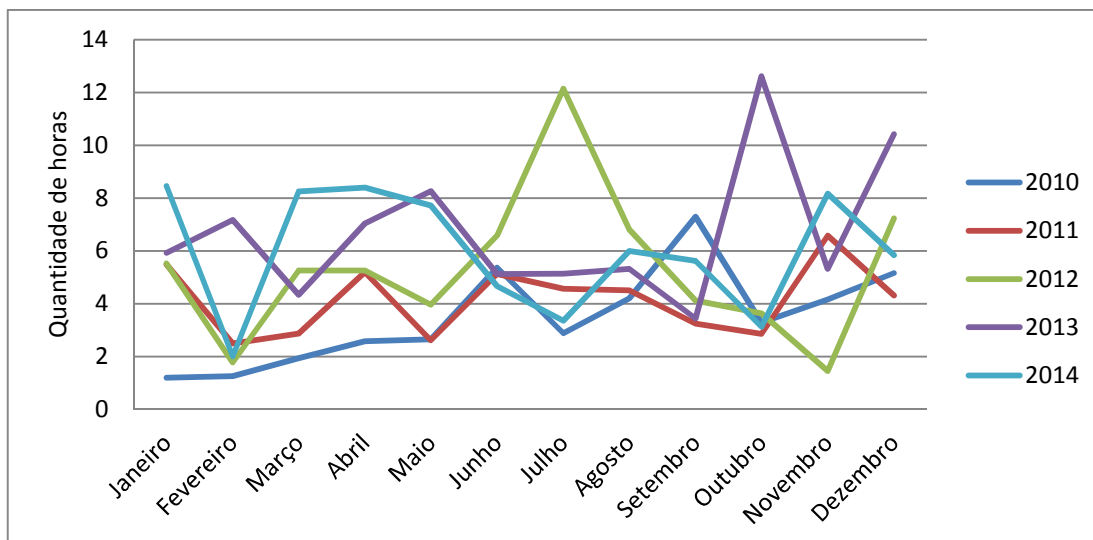
Fonte: Elaborado pela autora

Gráfico 7: Comportamento do turnover - Unidade de Internação



Fonte: Elaborado pela autora

Gráfico 8: Comportamento do Hora homem treinamento - Unidade de Internação



Fonte: Elaborado pela autora

A partir dos dados disponibilizados pelo hospital, não foi possível evidenciar todas as relações de influência do QL nos indicadores citados no referencial teórico. No entanto, essa seção foi importante para situar a pesquisa no contexto comportamental do setor e entender algumas das correlações existentes.

3.5 Definições do Modelo Proposto

Na prática, os problemas de QL para equipe de enfermagem são demasiadamente complexos para serem expressos através de modelos disponíveis. Tais modelos não são ricos o suficiente para representar a variedade de cenários existentes nos ambientes hospitalares reais (SMET; BILGIN; *et al.*, 2014).

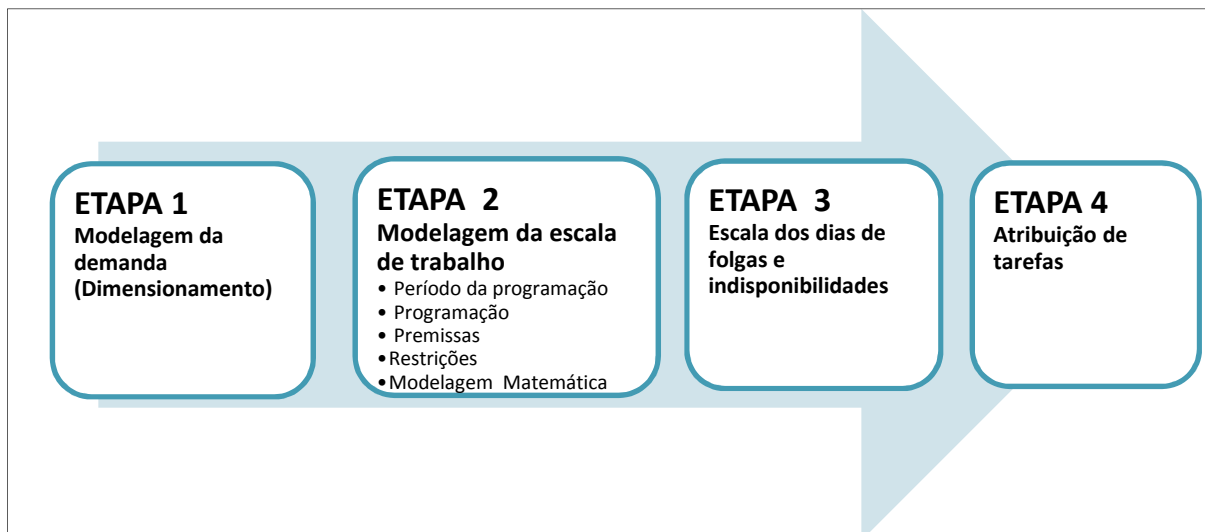
Esta pesquisa centra-se em duas questões de modelagem que requerem cuidados na construção do modelo de forma que este possa ser aplicável em outras instituições. A primeira questão tratada foi a proposição de um modelo para otimização do QL, o qual foi baseado em duas referências bibliográficas de grande visibilidade com mais de 260 citações: Ernst *et al.*, (2004) e Smet; Bilgin *et al.* (2014). O modelo seguiu os principais passos para a construção do QL, no entanto foram estruturadas restrições compatíveis com as leis e normativas vigentes no Brasil. Além disso, o modelo apresenta flexibilidade na composição dos pesos, de forma que o responsável do QL possa fazer as ponderações mais adequadas a sua realidade (Figura 15). A segunda questão abordada no modelo considera um procedimento de avaliação da qualidade do QL.

3.5.1 Definição do Modelo para Elaboração do QL

De acordo com Burke e Curtois (2014), um dos grandes desafios do problema de escalas de trabalho é desenvolver um modelo que possa ser usado para outras instâncias com restrições e objetivos distintos. Em todos os casos, existem tipos comuns de restrições que são relativamente fáceis de modelar. No entanto, os tipos de restrições que são relacionadas ao horário de trabalho e folgas de cada membro da equipe pode variar significativamente de caso para caso.

O modelo construído neste estudo fez uso de dois modelos verificados na literatura, conforme descrito nas seções 2.1.4.1 e 2.1.4.2.

Figura 15: Modelo Proposto para elaboração do QL



Fonte: Elaborado pela autora, baseado nos modelos de Ernst *et al.* (2004) e Smet, Bilgin *et al.* (2014).

- **Etapa 1** - De acordo com o modelo de Ernst *et al.* (2004), a primeira etapa para a elaboração do QL é a **Modelagem da demanda**, ou seja o dimensionamento da equipe. Conforme as delimitações da seção 1.4, não é objetivo deste trabalho dimensionar a equipe. Assim, para contemplar a primeira etapa da elaboração, o dimensionamento da equipe será realizado pelo método que já vem sendo utilizado pelo hospital, o qual segue o modelo indicado pelo COREN, e desenvolvido por Canavezi (2010), membro do COREN-SP.
- **Etapa 2** - Baseado no modelo de Smet, Bilgin *et al.* (2014), a segunda etapa é tratar a Modelagem da escala de trabalho. Assim, é necessário a definição das seguintes sub etapas: o período da programação, a programação, as premissas e as restrições da escala, conforme detalhamento a seguir.

a) O modelo proposto utilizou o **Período de programação** de um mês (OSOGAMI; IMAI, 2000; CHEANG *et al.*, 2003; ERNST, A. T. *et al.*, 2004; BURKE; BAI; *et al.*, 2010; DRAKE, 2013; AWADALLAH *et al.*, 2013; BÄUMELT *et al.*, 2014; HASPELAGH *et al.*, 2014; ROCHA *et al.*, 2014; VIEIRA *et al.*, 2015), iniciando no dia 16 do mês atual e terminando no dia 15 do mês subsequente. Para atender as

restrições que sobrepõem a dois períodos de programação, as mesmas foram programadas para acessarem ao cronograma do período anterior.

b) Na **Programação** Smet, Bilgin *et al.* (2014) recomendam quatro elementos para compor as atribuições: o enfermeiro, a data, o tipo de turno e o tipo de habilidade necessária.

No modelo apresentado neste estudo, serão considerados como elementos: os enfermeiros/técnicos de enfermagem e as datas. Os turnos são fixados no contrato de trabalho de cada profissional, não sendo permitido que o funcionário seja escalado em turno diferente do que está previsto em seu contrato. Já os tipos de habilidades não são aplicadas no setor analisado, já que as equipes são homogêneas. Assim, tipo de turno e tipo de habilidades não serão contemplados.

c) As **Premissas** do modelo estão detalhadas na seção 3.5.1.1.

d) As **Restrições** do modelo estão detalhadas na seção 3.5.1.2.

e) A **Modelagem Matemática** está detalhada na seção 3.5.1.3.

- **Etapa 3 - O Escalonamento dos dias de folgas e indisponibilidade** é realizado individualmente para cada membro da equipe, dadas suas preferências particulares, o número de folgas a que cada um tem direito, a data da última folga, o período de aquisição de férias e as atividades externas.
- **Etapa 4 - A atribuição de tarefas** não é definida na escala de trabalho, e sim elaborada no início de cada turno em reunião com o grupo de profissionais que está iniciando o trabalho. Depende das necessidades de assistência dos pacientes que estão internados naquele dia.

3.5.1.1 Premissas do modelo

São as seguintes premissas que devem ser atendidas na elaboração de uma escala de trabalho da equipe de enfermagem:

- A escala de trabalho parte do dimensionamento previamente definido;
- As folgas devem ser planejadas de forma a garantir o número mínimo necessário de profissionais em assistência, de acordo com a demanda de cada turno/dia;
- A unidade de medida de escala é turno, onde um turno corresponde a 6 horas;
- Os contratos de trabalho definem um só turno para cada pessoa (Manhã, Tarde ou Noite). As escalas são realizadas por turno, com funcionários daquele turno;
- O modelo está previsto para gerar escalas de trabalho dos turnos manhã e tarde;
- O turno da noite não será contemplado pelo modelo pois o hospital trabalha com regime 12x36, tendo duas equipes intercalando para cobrir o horário da noite.
- A escala do mês é realizada considerando parte da escala do mês anterior de maneira que um conjunto completo de 6 semanas seja considerada.
- Todos os enfermeiros têm o mesmo nível de habilidades;
- Todos os técnicos de enfermagem têm o mesmo nível de habilidades;
- A escala em turno garante o intervalo de 11 horas entre cada jornada de trabalho;
- Definições de incompatibilidade de funcionários devem ser feitas fora do QL, alocando as pessoas incompatíveis em diferentes turnos ou setores;
- Existem folgas obrigatórias por lei a cada período trabalhado. O número de folgas a que o técnico tem direito corresponde ao número de domingos mais o número de feriados que ocorrem no período da escala;
- O direito a folga é adquirido a cada 6 turnos de trabalho;
- O intervalo entre folgas por lei é de 6 dias mas é tolerado intervalo de 7 e 8 dias. Para viabilizar as escalas, serão aceitos ocorrências de intervalos mais curtos e mais longos, no entanto serão penalizados na FO;
- Feriados em domingo perdem seu efeito e são desconsiderados;
- As horas excedentes de trabalho são acumuladas em banco de horas para serem convertidas em folgas. Cada 6 horas acumuladas, são revertidas em uma folga.

- As escalas de trabalho são geradas por andar e, por turno.
- Deve ser verificada a disponibilidade de um funcionário para trabalhar em determinado turno. O profissional pode estar em licença, dispensa ou férias no período;
- Para promover a satisfação dos funcionários, procura-se conceder as folgas em datas solicitadas por estes, respeitando a prioridade vigente para o período da escala.

3.5.1.2 Restrições do Modelo

As restrições indicadas neste modelo, foram elaboradas baseada nas necessidades e expectativas apuradas nas entrevistas com a equipe do hospital, na revisão da literatura e nas normativas da legislação, da instituição e dos órgãos reguladores. Além disso, buscou-se o equilíbrio entre atender as necessidades dos funcionários e um custo viável para a instituição. As restrições serão divididas em dois tipos: Restrições Obrigatórias (RO) e Restrições Desejáveis (RD).

Restrições Obrigatórias (RO) – As restrições obrigatórias são aquelas que devem ser atendidas para que seja obtida uma solução viável (BURKE; *et al.*, 2004; SMET; BILGIN; *et al.*, 2014; SMET; WAUTERS; *et al.*, 2014). Neste modelo foram definidas as seguintes restrições obrigatórias:

[RO1] Disponibilidade – A pessoa deve estar disponível para trabalhar no turno escalado (o profissional não pode ser escalado se estiver em licença ou férias no período);

[RO2] Folgas aos Domingos – Cada pessoa deve ter no mínimo uma folga em domingo durante a escala mensal;

Restrições Desejáveis (RD) – Considerando que as restrições obrigatórias devam ser atendidas a todo custo, apenas as violações das restrições desejáveis contribuem para a qualidade da solução. É praticamente impossível encontrar uma escala que atenda a todos os requisitos desejáveis, além do que, são frequentemente conflitantes (BURKE; CURTOIS, 2014).

Para cada uma das restrições desejáveis deve ser atribuído um peso, que influenciará na importância desta variável no resultado da FO (LÜ; HAO, 2012). Neste modelo, as restrições desejáveis são:

- Cobertura Mínima – As pessoas devem ser designadas ao trabalho em quantidade diária que garanta a cobertura mínima de funcionários por turno;
- Dias de trabalho – O número total de dias trabalhados no período da escala deve ser igual ao previsto em contrato, menos o número de dias indisponíveis (férias, atividades externas e licenças);
- Sequência máxima – As pessoas podem trabalhar até 8 dias consecutivos, quando devem folgar pelo menos um dia;
- Equitatividade – As pessoas devem ser escaladas de forma mais equitativa possível para atuação em sábados, domingos e feriados (outros dias da semana não importam estar equilibrados);
- Folgas de Feriados – As folgas geradas por feriados preferencialmente são concedidas no mesmo mês do feriado;
- Cobertura máxima – Cada turno/dia deve ter o pessoal designado de forma a atender a demanda ideal estabelecida, sem excessos de funcionários;
- Proporção da equipe – A proporção entre enfermeiros e técnicos de enfermagem atuando no turno, deve ser de acordo com a classificação do COFEN do SCP;
- Dia proibido – Um dia isolado de trabalho é proibido;
- Limite de banco de horas – Uma pessoa não pode ter horas adquiridas (banco de horas) de valor superior a 50% da carga horária mensal de seu contrato;
- Indisponibilidade – A pessoa não pode ser escalada se estiver designada para atividade externa (treinamento, visita, reunião, representação,...);
- Emendas – As folgas que o funcionário tiver direito não devem ser “emendadas” com o período de gozo das férias;
- Férias – No mês anterior ao que gozará férias, o funcionário deverá folgar todas as horas adquiridas;
- Solicitações – A pessoa preferencialmente não será escalada em data de

interesse particular quando previamente informada;

- Banco – A pessoa deve encerrar o período da escala com o menor número absoluto de folgas adquiridas possíveis;
- Compensação de Horas – Uma pessoa deve encerrar pelo menos uma das 4 últimas escalas mensais com nenhuma hora de crédito no banco de horas;

3.5.1.3 Modelagem Matemática

Para entendimento da formulação matemática do modelo proposto, é necessário conhecer as seguintes definições:

<i>c</i>	<i>Representa o cargo do funcionário.</i>
<i>d</i>	<i>Representa um dia qualquer do período da escala.</i>
<i>i</i>	<i>Representa um funcionário.</i>
<i>m</i>	<i>Representa um mês que compõe uma escala começando no dia 16, até o dia 15 subsequente.</i>
<i>n</i>	<i>Representa o número total de funcionários da escala.</i>
<i>p</i>	<i>Representa o número total de dias do período da escala.</i>
<i>r</i>	<i>Representa a proporção entre cargos de funcionários em cada dia da escala, sendo $r_{mín}$ o valor mínimo e $r_{máx}$ o valor máximo de proporção.</i>
<i>k</i>	<i>Representa o número mínimo de funcionários necessários em um turno de trabalho.</i>
<i>j</i>	<i>Representa o número de funcionários escalados em um turno de trabalho</i>
<i>seg</i>	<i>Representa um dia <i>d</i> igual à segunda-feira</i>
<i>ter</i>	<i>Representa um dia <i>d</i> igual à terça-feira</i>
<i>qua</i>	<i>Representa um dia <i>d</i> igual à quarta-feira</i>
<i>qui</i>	<i>Representa um dia <i>d</i> igual à quinta-feira</i>
<i>sex</i>	<i>Representa um dia <i>d</i> igual à sexta-feira</i>
<i>sáb</i>	<i>Representa um dia <i>d</i> igual a sábado</i>
<i>dom</i>	<i>Representa um dia <i>d</i> igual a domingo</i>
<i>fer</i>	<i>Representa um dia <i>d</i> que for feriado</i>
<i>A_{id}</i>	<i>É a matriz que contém a disponibilidade do funcionário</i>

i no dia d . Vale 0 (ou vazio) se disponível, 1 representa uma folga solicitada, 2 indica férias, 3 é um dia d que o funcionário i está em atividade externa e 4 se em licença.

B_{id} É a matriz que contém a memória da escala anterior do funcionário i no dia d do mês $m-1$. Vale 0 (ou vazio) se foi folga, 1 se foi um dia trabalhado, 2 se um dia de férias, 3 se um dia de trabalho em atividade externa e 4 se um dia em licença.

C_{im} É a matriz com o saldo final de horas em banco do funcionário i desde o mês $m-4$ até m , sendo m o mês atual, $m-1$ o mês anterior e assim sucessivamente;

E_{id} É a matriz binária cujo valor 1 indica que o funcionário i está escalado no dia d , 0 (ou vazio) caso contrário.

F_{id} É a matriz que concatena as matrizes B_{id} e E_{id} e representa o período total de análise da escala, composto por 42 dias.

X Representa a solução da função com o conjunto de todas as variáveis de decisão.

W Representa o peso da função definido pelo especialista

a_1 Representa o valor da penalidade inicial conforme definido no Quadro 8, definido pelo especialista.

O conjunto de restrições apresentadas na seção 3.5.1.2 foi descrito matematicamente de maneira a compor uma função específica que representa a avaliação da escala em relação ao ponto de vista da restrição. Para todas as funções, a melhor combinação de escala é a que resulta em $F(X) = 0$. Isso porque, quando ocorre o não cumprimento de qualquer restrição, o mesmo é transformado em penalidades que farão aumentar o valor da função.

As funções matemáticas também devem considerar a necessidade de relaxação das restrições desejáveis do modelo (POLTOSI, 2007). Neste trabalho as relaxações são contempladas com a utilização de escalas exponenciais (progressão

geométrica¹) nas funções que representam cada restrição desejável. Uma escala que cresce exponencialmente permite uma relaxação pois aplica penas mais brandas para casos onde há poucas infrações, mas aplica penas mais severas para restrições com maior número de reincidência, direcionando uma solução balanceada para a escala, ou seja, sem sobrecarregar, ou penalizar, apenas uma $F(x)$.

Por exemplo, se na restrição de cobertura mínima, em um dos dias for designado um técnico a menos do que o necessário, a penalidade será x^1 . No entanto, uma escala com a designação de dois técnicos a menos, a penalidade será x^2 e não $2x$.

Considerando que as restrições podem ter diferentes graus de importância, o modelo permite 3 níveis de ponderação, conforme o Quadro 8, onde o enquadramento deve considerar a opinião dos especialistas do hospital, ficando o modelo flexível para ser ajustado às necessidades de outros setores ou instituições.

Quadro 8: Níveis de ponderação das restrições com respectivas bases de cálculos

Nível	Termo inicial (a_1)	Razão (q)	Fórmula
Grave	10	2	$a_n = a_1 \cdot q^{n-1}$
Média	5	2	$a_n = a_1 \cdot q^{n-1}$
Leve	3	2	$a_n = a_1 \cdot q^{n-1}$

Fonte: Elaborado pela autora

Em situações reais, normalmente não se encontra uma solução que satisfaça todas as restrições. Assim, é possível atribuir um peso a cada restrição e, em seguida, procurar uma solução viável. No entanto, a maneira de vincular os pesos é bastante subjetivo e varia de pessoa para pessoa (BURKE; LI; *et al.*, 2012).

Para este trabalho foi proposto um modelo que permite ao tomador de decisão atribuir pesos de forma a direcionar o resultado da escala de trabalho aos

¹ Progressão Geométrica (PG) é qualquer sequência de números reais ou complexos, onde cada termo a partir do segundo, é igual ao anterior, multiplicado por uma constante denominada razão. Numa PG a_1 refere-se ao primeiro termo da sequência e q refere-se a razão.

interesses da instituição. Essa característica também contribui para uma generalização do modelo proposto, ou seja, a aplicação em outras instituições adequando a suas prioridades.

As restrições obrigatórias pressupõem serem atendidas sem concessões. No entanto, o modelo aqui proposto desenhou todas as restrições com funções que necessitam atribuição de pesos, permitindo que o tomador de decisão possa definir quais restrições são consideradas obrigatórias no contexto em que a escala está sendo construída. Nesses casos, os pesos são números elevados que qualquer violação à restrição inviabiliza sua aceitação.

Nestas condições, as funções que pretendem avaliar a escala de trabalho estão apresentadas a seguir:

F_1 Função Cobertura Mínima: Representa o somatório de pontos da $RD1$, restrição que penaliza a escala definida na matriz E_{id} se no dia d o número de funcionários i trabalhando for inferior ao definido por k .

$$RD1_d = \begin{cases} 0, & \text{se } (j - k) \leq 0 \\ a_1 2^{(|j-k|-1)}, & \text{cc} \end{cases} \quad (4.1)$$

$$F_1 = w_1 \sum_{d=1}^p RD1_d \quad (4.2)$$

O valor de $RD1_d$ equivale à penalidade atribuída à escala do dia d em função da cobertura definida j e da cobertura mínima exigida k . Onde j representa o número de funcionários escalados em um turno de trabalho, k representa o número mínimo de funcionários necessários em um turno de trabalho, d representa um dia qualquer do período da escala, p representa o número total de dias do período da escala e W representa o peso da função definido pelo especialista.

O valor de F_1 equivale ao somatório das penalidades diárias, desde o primeiro dia $d = 1$ até o último dia da escala $d = p$ definida na matriz E_{id} .

F_2 Função Disponibilidade: Representa o somatório de pontos da $RO1$, restrição que penaliza a escala definida na matriz E_{id} que concorrer com a indicação de licença ou férias na matriz A_{id} .

$$RO1_{id} = \begin{cases} 1, se (E_{id} = 1) and [(A_{id} = 2) or (A_{id} = 4)] \\ 0, cc \end{cases} \quad (4.3)$$

$$F_2 = w_2 \{ \sum_{i=1}^n \sum_{d=1}^p a_1 2^{[(\sum_{d=1}^p RO1_{id}) - 1]} \}; \forall RO2_{id} = 1 \quad (4.4)$$

O Valor de $RO1_{id}$ equivale à penalidade atribuída a cada dia d , de cada funcionário i , em função dos valores indicados nas matrizes de escala E_{id} e de indisponibilidades A_{id} . Onde E_{id} é a matriz binária cujo valor 1 indica que o funcionário i está escalado no dia d , 0 (ou vazio) caso contrário, A_{id} é a matriz que contém a disponibilidade do funcionário i no dia d . Vale 0 (ou vazio) se disponível, 1 representa uma folga solicitada, 2 indica férias, 3 é um dia d que o funcionário i está em atividade externa e 4 se em licença, i representa um funcionário, d representa um dia qualquer do período da escala, p representa o número total de dias do período da escala, n representa o número total de funcionários da escala e W representa o peso da função definido pelo especialista.

O valor de F_2 equivale ao somatório, para todos os funcionários, do somatório de dias de conflitos, desde o primeiro dia da escala E_{id} $d = 16$ até o último dia $d = 15$, quando há conflitos ($RO1_{id}=1$).

F_3 Função Folgas aos Domingos: Representa o somatório de pontos da $RO2$, restrição que penaliza a escala definida na matriz E_{id} se o funcionário não for escalado para, no mínimo, uma folga em domingo.

$$RO2_i = \begin{cases} 1, se (\sum_{d=dom} E_{id}) > (\sum_{dom=1} E_{id}) \\ 0, cc \end{cases} \quad (4.5)$$

$$F_3 = \begin{cases} 0, se \sum_{i=1}^n RO2_i = 0 \\ w_3 \{ a_1 2^{[(\sum_{i=1}^n RO2_i) - 1]} \}, cc \end{cases} \quad (4.6)$$

O valor de $RO2_i$ equivale à penalidade atribuída à escala do funcionário i , em função da comparação entre a quantidade de domingos existentes na escala

$d = dom$ e a quantidade de domingos que o funcionário for designado ao trabalho $dom = 1$. Onde E_{id} é a matriz binária cujo valor 1 indica que o funcionário i está escalado no dia d , 0 (ou vazio) caso contrário, i representa um funcionário, d representa um dia qualquer do período da escala, n representa o número total de funcionários da escala e W representa o peso da função definido pelo especialista.

O valor de F_3 equivale ao somatório de funcionários que não obtiveram pelo menos um domingo de folga $dom = 0$.

F_4 Função Dias de Trabalho: Representa o somatório de pontos da $RD2$, restrição que penaliza a escala definida na matriz E_{id} se o funcionário não for escalado para cumprir quantidade de dias de trabalho igual ao previsto em contrato.

$$RD2_{id} = \begin{cases} 1, se (E_{id} = 1) or [A_{id} = (2, 3 or 4)] \\ 0, cc \end{cases} \quad (4.7)$$

$$F_4 = w_4 \left\{ \sum_{i=1}^n \sum_{d=16}^{15} a_1 2^{[(\sum_{d=16}^{15} RD2_{id}) - 36 - 1]} \right\}; \forall RD2_{id} = 1 \quad (4.8)$$

O Valor de $RD2_{id}$ informa a escala atribuída a cada dia (d), de cada funcionário (i), em função dos valores indicados nas matrizes de escala (E_{id}) e de indisponibilidades (A_{id}). Onde E_{id} é a matriz binária cujo valor 1 indica que o funcionário i está escalado no dia d , 0 (ou vazio) caso contrário, A_{id} é a matriz que contém a disponibilidade do funcionário i no dia d . Vale 0 (ou vazio) se disponível, 1 representa uma folga solicitada, 2 indica férias, 3 é um dia d que o funcionário i está em atividade externa e 4 se em licença, i representa um funcionário, d representa um dia qualquer do período da escala, n representa o número total de funcionários da escala e W representa o peso da função definido pelo especialista.

O valor de F_4 equivale ao somatório, para todos os funcionários (de $i = 1$ até $i = 1$), do somatório de dias que diferencia de 36, desde o primeiro dia ($d = 16$) até o último dia ($d = 16$) da escala E_{id} . A função se aplica para todos os dias de escala para trabalho ($RD2_{id} = 1$).

F_5 Função Sequência Máxima: Representa o somatório de pontos da $RD3$, restrição que penaliza a escala definida na matriz E_{id} quando as sequências de dias trabalhados forem diferentes de 6 a 8.

$$RD3_{i(low)} = \sum_{\psi=1}^5 w_{\psi} \rho_{\psi} \quad (4.9.1)$$

$$RD3_{i(high)} = \sum_{\psi=9}^{19} w_{\psi} \rho_{\psi} + (12\rho_{\psi}; \forall \psi > 19) \quad (4.9.2)$$

$$F_5 = w_5 \{ \sum_{i=1}^n RD3_{i(low)} + \sum_{i=1}^n a_1 2^{(\sum_{i=1}^n RO4_{i(high)} - 1)} \}, \forall RD3_{id} > 0 \quad (4.10)$$

Onde:

low: representa as sequências ininterruptas de dias trabalhados menor do que seis. Nesta condição a penalidade aplicada é branda, visto que é desejado que as sequências não fossem menores do que seis.

high: representa as sequências ininterruptas de dias trabalhados maiores do que oito. Nesta condição a penalidade aplicada é muito mais alta, visto que se trata de uma restrição desejável de alta importância para a viabilidade da escala, pois o não cumprimento da condição implica em desobedecer a legislação.

ψ : representa as possíveis sequências de dias ininterruptos de trabalho que a escala permite.

ρ : representa a quantidade de sequências ininterruptas efetivamente programadas para cada sequência.

w : representa o peso atribuído a cada sequência existente (ψ).

$$w_{\psi} = \begin{cases} a_1 2^{(6-\psi-1)}, & \text{se } \psi < 6 \\ a_1 2^{(\psi-8-1)}, & \text{se } \psi > 8 \\ 0, & \text{cc} \end{cases} \quad (4.9.3)$$

O Valor de $RD3_{i(low)}$ equivale à penalidade atribuída à escala do funcionário (i), em função das sequências de dias escalados para trabalho que forem menores do que o mínimo esperado. O valor de $RD3_{i(high)}$ equivale à penalidade atribuída à escala do funcionário na condição oposta, ou seja, quando existem sequências

superiores ao limite estabelecido na restrição. São calculadas pelo somatório do produto *peso x sequências existentes* ($w_{\psi}\rho_{\psi}$). O valor atribuído à F_5 equivale ao somatório das penalidades de $RD3$, conforme posicionamento (*low* ou *high*).

F_6 Função Equitativa: Representa o somatório de pontos da $RD4$, restrição que penaliza a escala definida na matriz E_{id} quando o funcionário i é escalado em quantidade de dias d sábados, domingos e feriados, diferente dos demais funcionários.

$$RD4_{id} = \begin{cases} 1, se (B_{id} \leq 4) or [A_{id} = (2, 3 or 4)] or (E_{id} = 1); \forall d = (sáb, dom or fer) \\ 0, cc \end{cases} \quad (4.11)$$

$$F_6 = w_6 \{a_1 2^{[(\sum_{i=1}^n \Delta \bar{x}_i) - 1]}\}; \forall \Delta \bar{x}_i > 1 \quad (4.12)$$

Onde:

$$\bar{x} = \left\lfloor \frac{\sum_{i=1}^n RD1_{id}}{n} \right\rfloor; \quad (4.12.1)$$

$$\Delta \bar{x}_i = |\bar{x} - \sum_{d=1}^{42} RD4_{id}|; \quad (4.12.2)$$

sendo:

\bar{x} : Média (arredondamento para baixo) do número de sábados, domingos e feriados trabalhados;

$\Delta \bar{x}_i$: Valor absoluto da diferença do número de sábados, domingos e feriados trabalhados por um funcionário i em relação à média \bar{x}

O Valor de $RD4_{id}$ informa a escala atribuída a cada dia (d) sábado, domingo ou feriado, de cada funcionário (i), em função dos valores indicados nas matrizes de escala (E_{id}), de escala no período anterior (E_{id}) e de indisponibilidades (A_{id}). O valor de F_6 equivale ao somatório, para todos os funcionários (de $i = 1$ até $i = n$), do somatório de dias de escala em análise, desde o primeiro dia ($d = 1$) da escala A_{id} , até o último dia ($d = 42$) da escala E_{id} . A função se aplica para todos os dias de escala para trabalho ($RD4_{id} = 1$).

F_7 Função Folgas de Feriados: Representa o somatório de pontos da $RD5$, restrição que penaliza a escala definida na matriz E_{id} quando o funcionário i não cumprir o direito a uma folga, adquirida por feriado, no mês m motivador.

$$RD5_i = \varphi + \omega - 36 + \alpha - \beta \quad (4.13)$$

$$F_7 = w_7 \{a_1 2^{[(\sum_{i=1}^n RD5_i) - 1]}\}; \forall RD5_i > 0 \quad (4.14)$$

Onde:

$$\alpha = \sum_{d=fer} [(B_{id}) \cup (E_{id})] \quad (4.13.1)$$

$$\beta = \sum_{\substack{d=2 \\ d=4}} [(B_{id}) \cup (E_{id})] \quad (4.13.2)$$

$$\varphi = \sum_{d>0} (B_{id}) \quad (4.13.3)$$

$$\omega = \sum_{d=1} (E_{id}) + \sum_{d=3} (A_{id}) \quad (4.13.4)$$

O Valor de $RD5_i$ informa a quantidade de feriados na escala e quantos dias (d) devem ser descontados de 36 para definir o total de dias que o funcionário deve trabalhar no período em análise. O valor de F_7 equivale ao somatório, para todos os funcionários (de $i=1$ até $i=n$), de dias que diferencia de 36. A função se aplica para todos os funcionários da escala que não folgam no mês motivador ($RD5_i > 0$).

F_8 Função Cobertura Máxima: Representa o somatório de pontos da $RD6$, restrição que penaliza a escala definida na matriz E_{id} se no dia (d) o número de funcionários trabalhando for superior ao definido em k .

$$RD6_d = \begin{cases} 0, se (j - k) > 0 \\ a_1 2^{(|j-k|-1)}, cc \end{cases} \quad (4.15)$$

$$F_8 = w_8 \sum_{d=1}^p RD6_d \quad (4.16)$$

O valor de $RD6_d$ equivale à penalidade atribuída à escala do dia (d) em função da cobertura definida (j) e da cobertura mínima exigida (k). Onde E_{id} é a matriz binária cujo valor 1 indica que o funcionário i está escalado no dia d , 0 (ou vazio) caso contrário, j representa o número de funcionários escalados em um turno

de trabalho, k representa o número mínimo de funcionários necessários em um turno de trabalho, d representa um dia qualquer do período da escala, p representa o número total de dias do período da escala, i representa um funcionário, d representa um dia qualquer do período da escala, n representa o número total de funcionários da escala e W representa o peso da função definido pelo especialista.

O valor de F_8 equivale ao somatório das penalidades diárias, desde o primeiro ($d = 1$) até o último dia da escala ($d = p$) definida nas matrizes B_{id} e E_{id} .

F_9 Função Proporção da Equipe: Representa o somatório de pontos da $RD7$, restrição que penaliza a escala definida na matriz E_{id} quando a proporção entre cargos enfermeiros/técnicos for diferente dos limites mínimo e máximo definidos por r .

$$RD7_d = \begin{cases} 0, se 33\% \leq \xi \leq 56\% \\ 1, se 15\% \leq \xi < 33\% \text{ or } 56\% < \xi \leq 80\% \\ 2, se 0\% < \xi < 15\% \text{ or } \xi > 80\% \\ 10, cc \end{cases} \quad (4.17)$$

$$F_9 = w_9 \sum_{d=1}^p a_1 2^{RD7_d-1}; \forall RD7_d > 0 \quad (4.18)$$

Onde:

$$\xi = \left(\frac{\sum_{i=enf} E_{id}=1}{\sum_{i=téc} E_{id}=1 + \sum_{i=enf} E_{id}=1} \right) \quad (4.17.1)$$

O valor de $RD7_d$ equivale à penalidade atribuída à escala do dia (d) em função do número de técnicos ($i = téc$) e enfermeiros ($i = enf$) escalados. Onde E_{id} é a matriz binária cujo valor 1 indica que o funcionário i está escalado no dia d , 0 (ou vazio) caso contrário, p representa o número total de dias do período da escala, i representa um funcionário, d representa um dia qualquer do período da escala e W representa o peso da função definido pelo especialista.

O valor de F_9 equivale ao somatório das penalidades diárias, desde o primeiro ($d = 16$) até o último dia da escala ($d = 15$) definida na matriz E_{id} , quando houver penalidades por $RD7_d$ ($RD7_d > 0$).

F_{10} Função Dia Proibido: Representa o somatório de pontos da $RD8$, restrição que penaliza a escala definida na matriz E_{id} quando um funcionário (i) for escalado em um dia (d) com folgas no dia anterior e no dia posterior.

$$RD8_i = \sum_{(d-1)+(d+1)=0} [(E_{id}) + (A_{id})] \quad (4.19)$$

$$F_{10} = w_{10} \{a_1 2^{[(\sum_{i=1}^n RD8_i) - 1]}\}; \forall RD8_i > 0 \quad (4.20)$$

O valor de $RD8_i$ equivale à penalidade atribuída à escala de cada funcionário (i) em função do número de dias de escala com folgas adjacentes em ambos os dias, anterior ($d - 1 = 0$) e posterior ($d + 1 = 0$). Onde E_{id} é a matriz binária cujo valor 1 indica que o funcionário i está escalado no dia d , 0 (ou vazio) caso contrário, A_{id} é a matriz que contém a disponibilidade do funcionário i no dia d . Vale 0 (ou vazio) se disponível, 1 representa uma folga solicitada, 2 indica férias, 3 é um dia d que o funcionário i está em atividade externa e 4 se em licença, i representa um funcionário, d representa um dia qualquer do período da escala, e W representa o peso da função definido pelo especialista.

O valor de F_{10} equivale ao somatório das penalidades da escala de cada funcionário (i), quando houver penalidades por $RD8_i$ ($RD8_i > 0$).

F_{11} Função Limite de Banco de Horas: Representa o somatório de pontos da $RD9$, restrição que penaliza a escala definida na matriz E_{id} quando o funcionário i for escalado em m de maneira a aumentar o saldo de horas já acumulado em $m - 1$ para além de 50% da carga horária mensal de seu contrato.

$$RD9_i = \begin{cases} \mu, & \text{se } \mu > 90 \\ 0, & \text{cc} \end{cases} \quad (4.21)$$

$$F_{11} = w_{11} \{a_1 2^{[(\sum_{i=1}^n RD9_i) - 1]}\}; \forall RD9_i > 0 \quad (4.22)$$

Onde:

$$\mu = 6 \sum_{d=3} A_{id} + 6 \sum_{d=1} E_{id} + C_{i(m-1)} \quad (4.21.1)$$

O valor de $RD9_i$ equivale a penalidade atribuída à escala de cada funcionário, quando a escala projetar um número de horas em banco superior a 90h (equivale a 50% do contrato). Onde E_{id} é a matriz binária cujo valor 1 indica que o funcionário i está escalado no dia d , 0 (ou vazio) caso contrário, A_{id} é a matriz que contém a disponibilidade do funcionário i no dia d . Vale 0 (ou vazio) se disponível, 1 representa uma folga solicitada, 2 indica férias, 3 é um dia d que o funcionário i está em atividade externa e 4 se em licença, n representa o número total de funcionários da escala, i representa um funcionário, d representa um dia qualquer do período da escala, m representa um mês que compõe uma escala começando no dia 16, até o dia 15 subsequente e W representa o peso da função definido pelo especialista.

O valor de F_{11} equivale ao somatório das penalidades da escala de cada funcionário (i), quando houver penalidades por $RD9_i$ ($RD9_i > 0$).

F_{12} Função Indisponibilidade: Representa o somatório de pontos da $RD10$ restrição que penaliza a escala definida na matriz E_{id} que concorrer com a indicação de atividade externa na matriz A_{id} .

$$RD10_{id} = \begin{cases} 1, & \text{se } (E_{id} = 1) \text{ and } (A_{id} = 3) \\ 0, & \text{cc} \end{cases} \quad (4.23)$$

$$F_{12} = w_{12} \left\{ \sum_{i=1}^n \sum_{d=1}^p a_1 2^{[(\sum_{d=16}^{15} RD10_{id}) - 1]} \right\}; \forall RD10_{id} = 1 \quad (4.24)$$

O Valor de $RD10_{id}$ equivale à penalidade atribuída a cada dia (d), de cada funcionário (i), em função dos valores indicados nas matrizes de escala (E_{id}) e de indisponibilidades (A_{id}). Onde E_{id} é a matriz binária cujo valor 1 indica que o funcionário i está escalado no dia d , 0 (ou vazio) caso contrário, A_{id} é a matriz que contém a disponibilidade do funcionário i no dia d . Vale 0 (ou vazio) se disponível, 1 representa uma folga solicitada, 2 indica férias, 3 é um dia d que o funcionário i está em atividade externa e 4 se em licença, n representa o número total de funcionários da escala, i representa um funcionário, d representa um dia qualquer do período da escala e W representa o peso da função definido pelo especialista.

O valor de F_{12} equivale ao somatório, para todos os funcionários, do somatório de dias de conflitos, desde o primeiro dia da escala E_{id} ($d = 1$) até o último dia ($d = p$), quando houver conflitos ($RD10_{id} = 1$).

F_{13} Função Emendas: Representa o somatório de pontos da $RD11$, restrição que penaliza a escala definida na matriz E_{id} quando folgas ($d = 0$) ficarem concedidas em dias adjacentes a indicação de férias ($d = 2$) na matriz A_{id} .

$$RD11_i = \sum_{(d-1)+d=4} [(A_{id^2}) + (E_{id^2})] \quad (4.25)$$

$$F_{13} = \begin{cases} 0, & \text{se } \sum_{i=1}^n RD11_i = 0 \\ W_{13} \{a_1 2^{[\sum_{i=1}^n RD11_i - 1]}\}, & \text{cc} \end{cases} \quad (4.26)$$

O valor de $RD11_i$ equivale à penalidade atribuída à escala de cada funcionário, quando a escala conceder folgas no dia anterior ou posterior ao período de férias. É calculada somando-se o quadrado dos códigos dos dias ($d - 1 = 2$) na escala A_{id} e dias ($d = 0$) na escala E_{id} . Se a soma for 4 a restrição foi descumprida e a penalidade é aplicada. Onde E_{id} é a matriz binária cujo valor 1 indica que o funcionário i está escalado no dia d , 0 (ou vazio) caso contrário, A_{id} é a matriz que contém a disponibilidade do funcionário i no dia d . Vale 0 (ou vazio) se disponível, 1 representa uma folga solicitada, 2 indica férias, 3 é um dia d que o funcionário i está em atividade externa e 4 se em licença, n representa o número total de funcionários da escala, i representa um funcionário, d representa um dia qualquer do período da escala, e W representa o peso da função definido pelo especialista.

O valor de F_{13} equivale ao somatório das penalidades da escala de cada funcionário (i), quando há penalidades por $RD11_i$.

F_{14} Função Férias: Representa o somatório de pontos da $RD12$, restrição que penaliza a concessão de férias definida na matriz A_{id} quando a matriz C_{im} indicar saldo de horas positivo no mês ($m - 1$).

$$RD12_i = \begin{cases} 0, & \text{se } \sum_{d=2} Aid = 0 \text{ or } C_{i(m-1)} = 0 \\ \sum_{d=2} Aid, & \text{cc} \end{cases} \quad (4.27)$$

$$F_{14} = \begin{cases} 0, \text{ se } \sum_{i=1}^n RD12_i = 0 \\ w_{14} \{a_1 2^{[\sum_{i=1}^n RD12_i - 1]}\}, cc \end{cases} \quad (4.28)$$

O valor de $RD12_i$ maior do que zero ocorre como penalidade à existência de programação de férias na matriz A_{id} ($d = 2$) para o funcionário (i) no mês (m), quando o banco de horas do mês anterior ($m - 1$) não é zero. Onde E_{id} é a matriz binária cujo valor 1 indica que o funcionário i está escalado no dia d , 0 (ou vazio) caso contrário, A_{id} é a matriz que contém a disponibilidade do funcionário i no dia d . Vale 0 (ou vazio) se disponível, 1 representa uma folga solicitada, 2 indica férias, 3 é um dia d que o funcionário i está em atividade externa e 4 se em licença, n representa o número total de funcionários da escala, C_{im} é a matriz com o saldo final de horas em banco do funcionário i desde o mês $m-4$ até m , sendo m o mês atual, $m - 1$ o mês anterior e assim sucessivamente, i representa um funcionário, d representa um dia qualquer do período da escala, m representa um mês que compõe uma escala começando no dia 16, até o dia 15 subsequente, c representa o cargo do funcionário e W representa o peso da função definido pelo especialista.

O valor de F_{14} equivale ao somatório das penalidades da escala de cada funcionário (i), quando houver penalidades por $RD12_i$.

F_{15} Função Solicitação: Representa o somatório de pontos da $RD13$, restrição que penaliza a escala definida na matriz E_{id} que concorrer com a solicitação de folga na matriz A_{id} .

$$RD13_{id} = \begin{cases} 1, \text{ se } (E_{id} = 1) \text{ and } (A_{id} = 1) \\ 0, cc \end{cases} \quad (4.29)$$

$$F_{15} = w_{15} \{ \sum_{i=1}^n \sum_{d=1}^p a_1 2^{[\sum_{d=1}^p RD13_{id} - 1]} \}; \forall RD13_{id} = 1 \quad (4.30)$$

O Valor de $RD13_{id}$ equivale à penalidade atribuída a cada dia (d), de cada funcionário (i), em função dos valores indicados nas matrizes de escala (E_{id}) e de indisponibilidades (A_{id}). Onde E_{id} é a matriz binária cujo valor 1 indica que o funcionário i está escalado no dia d , 0 (ou vazio) caso contrário, A_{id} é a matriz que contém a disponibilidade do funcionário i no dia d . Vale 0 (ou vazio) se disponível, 1 representa uma folga solicitada, 2 indica férias, 3 é um dia d que o funcionário i está

em atividade externa e 4 se em licença, n representa o número total de funcionários da escala, i representa um funcionário, d representa um dia qualquer do período da escala, m representa um mês que compõe uma escala começando no dia 16, até o dia 15 subsequente, c representa o cargo do funcionário, p representa o número total de dias do período da escala, i representa um funcionário, e W representa o peso da função definido pelo especialista.

O valor de F_{15} equivale ao somatório, para todos os funcionários, do somatório de dias de conflitos, desde o primeiro dia da escala E_{id} ($d = 1$) até o último dia ($d = p$), quando houver conflitos ($RD13_{id}=1$).

F_{16} Função Banco: Representa o somatório de pontos da $RD14$, restrição que penaliza a escala definida na matriz E_{id} quando ela projeta o encerramento do mês m com o número de turnos positivo em banco (folgas adquiridas) maior do que 2 para o funcionário i .

$$RD14_i = \begin{cases} \left\lfloor \frac{C_{im}}{6} \right\rfloor, & \text{se } \left\lfloor \frac{C_{im}}{6} \right\rfloor > 2 \\ 0, & \text{cc} \end{cases} \quad (4.31)$$

$$F_{16} = w_{16} \{ a_1 2^{[(\sum_{i=1}^n RD14_i) - 1]} \}; \forall RD14_i > 0 \quad (4.32)$$

O valor de $RD14_i$ equivale à penalidade que será atribuída a escala do funcionário i , quando for escalado de forma a acumular mais do que 2 turnos de 6 horas no banco de horas. A quantidade de turnos tolerados representa uma relaxação necessária para viabilização da escala. Onde E_{id} é a matriz binária cujo valor 1 indica que o funcionário i está escalado no dia d , 0 (ou vazio) caso contrário, C_{im} é a matriz com o saldo final de horas em banco do funcionário i desde o mês $m-4$ até m , sendo m o mês atual, $m-1$ o mês anterior e assim sucessivamente, n representa o número total de funcionários da escala, i representa um funcionário, d representa um dia qualquer do período da escala, m representa um mês que compõe uma escala começando no dia 16, até o dia 15 subsequente, c representa o cargo do funcionário e W representa o peso da função definido pelo especialista.

O valor de F_{16} equivale ao somatório das penalidades da escala de cada funcionário i , quando houver penalidades por $RD14_i$.

F_{17} Função Compensação de horas: Representa o somatório de pontos da $RD15$, restrição que penaliza a escala definida na matriz E_{id} quando ela gerar uma matriz C_{im} para o funcionário i sem, pelo menos, um mês m sem saldo positivo de horas (no banco de horas).

$$RD15_i = \begin{cases} 1, se C_{im} \leq 0 \notin C_{im}, \forall C_{im} \\ 0, cc \end{cases} \quad (4.33)$$

$$F_{16} = w_{17} \{a_1 2^{[(\sum_{i=1}^n RD15_i) - 1]}\}; \forall RD15_i > 0 \quad (4.34)$$

O valor de $RD15_i$ equivale à penalidade que será atribuída a escala de um funcionário i , quando não existir na matriz (C_{im}) que registra o saldo de horas em banco nos 4 últimos meses (de $m - 4$ a $m - 1$) e o saldo projetado para o mês em escala m , pelo menos um mês sem saldo positivo. Onde E_{id} é a matriz binária cujo valor 1 indica que o funcionário i está escalado no dia d , 0 (ou vazio) caso contrário, C_{im} é a matriz com o saldo final de horas em banco do funcionário i desde o mês $m-4$ até m , sendo m o mês atual, $m-1$ o mês anterior e assim sucessivamente, n representa o número total de funcionários da escala, i representa um funcionário, d representa um dia qualquer do período da escala, m representa um mês que compõe uma escala começando no dia 16, até o dia 15 subsequente, c representa o cargo do funcionário e W representa o peso da função definido pelo especialista.

O valor de F_{17} equivale ao somatório das penalidades da escala de cada funcionário i , quando houver penalidades por $RD15_i$.

3.5.1.4 Otimização do Quadro de Lotação

O principal objetivo de uma escala é usar os recursos disponíveis da forma mais eficiente (POLTOSI, 2007). Neste contexto, este trabalho propõe avaliar uma escala, considerando que ela é melhor quanto menor forem os resultados decorrentes das penalidades de suas funções. Assim, a formulação proposta busca

minimizar uma FO formada pelo somatório das funções das restrições, conforme equação 4.35.

$$\text{minimizar } \sum_{X=1}^{17} F_X \quad (4.35)$$

Sujeito à:

$$F2 = 0 \quad (4.36)$$

$$F3 = 0 \quad (4.37)$$

Como complemento a FO, um peso é atribuído a cada função F_x para refletir sua importância (especialmente em comparação com outras). Quanto maior o peso, mais fortemente é desejado que seja satisfeita a função (HE; QU, 2012; WU *et al.*, 2015).

Neste trabalho as restrições obrigatórias (RO1 e RO2) representadas nas formulações 4.36 e 4.37 são garantidas pelas atribuições de pesos elevados capazes de inviabilizar o não cumprimento das restrições. As funções de 1 a 17 foram definidas e tratadas na seção 4.2.1.2 e representam as penalidades atribuídas por violação de restrições.

3.5.1.5 Arquitetura do modelo

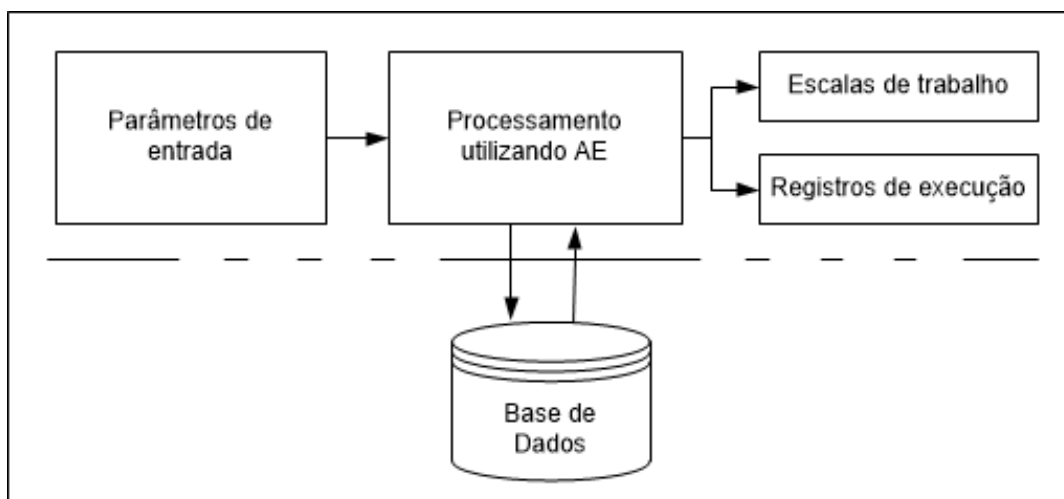
Procedimentos exatos e heurísticos foram desenvolvidos para gerar uma programação de escala viável, conforme apresentado na seção 2.2.1. Esses modelos buscaram encontrar métodos cada vez mais sofisticados com o objetivo de responder problemas complexos diminuindo cada vez mais o tempo de resposta, além de obter respostas com a melhor qualidade possível.

No presente trabalho, onde é proposto um modelo para otimizar o QL de um dos setores de uma Instituição hospitalar, o objetivo não é utilizar o método mais eficaz para o problema, no entanto busca-se demonstrar de forma empírica que o

modelo para otimização de QL apresenta melhoras na solução após a realização das iterações. Para tanto, foi utilizada a ferramenta Microsoft Excel VBA 2010, na qual foi programado o Algoritmo Evolutivo (AE) com o uso do recurso Solver.

O mecanismo de processamento do QL aqui proposto visa demonstrar a aplicação do modelo apresentado na seção 4.2.1. A aplicação está concentrada na obtenção de escalas de trabalho não apenas viáveis, mas de melhor qualidade considerando os critérios desejados apresentados na seção 4.2.1.4. O esquema geral de funcionamento está ilustrado na Figura 16. A aplicação desenvolvida corresponde a parte acima da linha tracejada.

Figura 16: Arquitetura do artefato



Fonte: Elaborado pela autora Adaptado de Poltosi (2007)

3.5.1.5.1 Dados de entrada

No modelo proposto, a codificação de cada cromossomo representa uma linha do QL, contendo cada um dos membros da equipe com suas informações, organizadas de acordo com os parâmetros decorrentes do mês em questão, conforme segue abaixo:

Parâmetros da Escala: feriados, inserção da equipe, cobertura ideal requerida, proporção de enfermeiros em relação aos técnicos de enfermagem;

Parâmetros específicos de cada técnico: dias de preferência de folgas, última folga do período anterior, folgas adquiridas, banco de horas e indisponibilidade (férias, atividades externas, licenças, etc).

Parâmetros Gerais: Classificação das restrições para modelar a relaxação permitida na escala, os pesos das parcelas da FO, e a definição do número de vezes que o Algoritmo Evolutivo deve ser executado, o que chamamos de número de ciclos de iteração;

Parâmetros do Algoritmo Evolutivo: Tamanho da população inicial, taxa de mutação e tempo máximo em processo.

3.5.1.5.2 Processamento do modelo

No teste de conceito aqui proposto, uma vez que as informações decorrentes da estrutura de soluções estão informadas adequadamente, o algoritmo evolutivo começa com a criação de uma população inicial de soluções aleatórias (GABRIEL; DELBEM, 2008; FRANCISCO, 2013). Cada indivíduo da população é representado por um vetor e uma matriz de funcionários e dias. O vetor representa quando os membros da equipe estão escalados, ou dispensados. Assim, atribuindo o binário 1 à posição do vetor, o enfermeiro da linha é habilitado ao trabalho, caso contrário (0) o funcionário não é habilitado. No exemplo do Quadro 9, o “Enfermeiro abc1” está habilitado ao trabalho no dia 16, enquanto não está habilitado ao trabalho no dia 17. Já o “Técnico abc6” não está habilitado ao trabalho no dia 16, enquanto está habilitado ao trabalho no dia 17.

Quadro 9: Exemplo de vetor de solução para a escala de enfermeiros e técnicos

Funcionário		Eid																													
		escala mês atual																													
		seg	ter	qua	qui	sex	sáb	dom	seg	ter	qua	qui	sex	sáb	dom	seg	ter	qua	qui	fer	sáb	dom	seg	ter	qua	qui	sex	sáb	dom	seg	ter
abc1	ENFERMEIRO	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1
abc6	TECNICO	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	

Fonte: Elaborado pela autora

Após gerar a população inicial, o AE inicia a varredura horizontal na tabela criando sucessivas novas gerações da população através do processo de

diversificação, intensificação e atualização do conjunto da população, buscando uma solução que melhore o *valor* da FO.

Devido às limitações do *software* utilizado para as simulações do modelo matemático, os processos de diversificação, intensificação e atualização da população são realizados a cada conjunto de quatro linhas, ou seja, observando grupos de quatro funcionários cada, conforme Figura 17. Quando a avaliação atinge o último funcionário da escala, um ciclo está completo. As linhas de código da programação proposta no teste de conceito direcionam a repetição da avaliação de toda a escala repetidas vezes, ou seja, por vários ciclos, até o limite de parada parametrizado ser atingido.

Figura 17: Funcionamento do AE com varreduras horizontais

Funcionário	carga	Cim				Bid												Eid																														
		saído em horas 4 meses anterior				escala anterior												escala mês atual																														
		-4	-3	-2	-1	qui	sex	sáb	dom	seg	ter	qua	qui	sex	sáb	dom	seg	ter	qua	qui	sex	sáb	dom	seg	ter	qua	qui	sex	sáb	dom	seg	ter	qua	qui	sex	sáb	dom	seg	ter	qua								
abc1	ENFERMEIRO	12	15	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1				
abc6	TECNICO	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1		
abc19	TECNICO	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
abc8	TECNICO	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1		
abc7	TECNICO	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1		
abc17	TECNICO	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
abc15	TECNICO	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
abc13	TECNICO	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
abc5	ENFERMEIRO	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	
abc9	TECNICO	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
abc10	TECNICO	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
abc12	TECNICO	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
abc4	ENFERMEIRO	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
abc16	TECNICO	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fonte: Elaborado pela autora

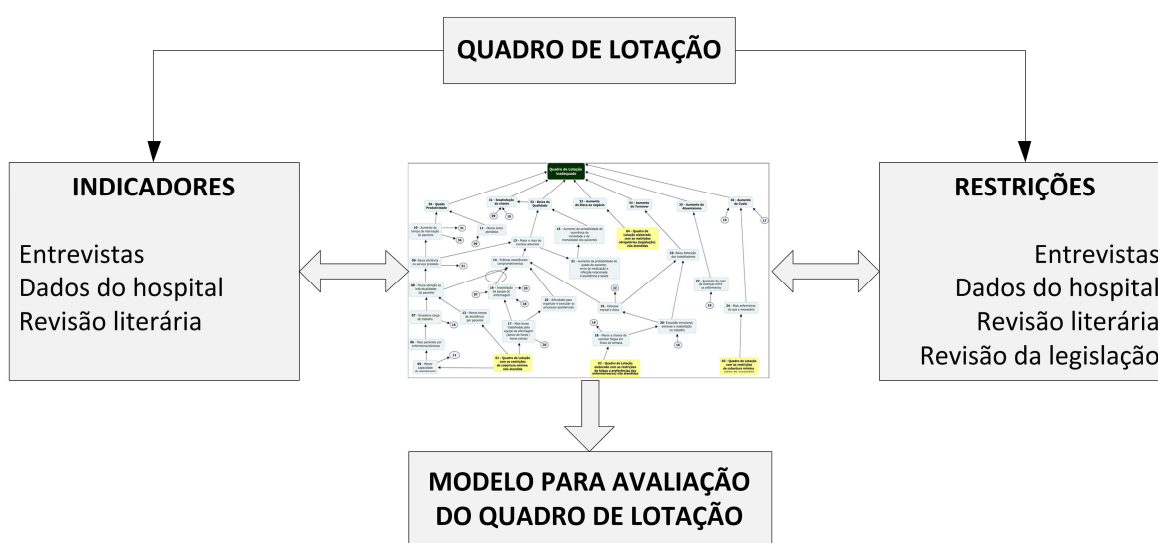
A repetição dos ciclos de iteração resulta na evolução do valor de *fitness*, o que ocorre com maior velocidade nos primeiros ciclos e tende a uma estabilidade na medida em que o processo avança. Isso ocorre porque os cromossomos gerados atingem um grau de qualidade e ficam incapazes de produzir novas gerações melhores que as atuais, prendendo-se então a ótimos locais no âmbito da FO.

Para provocar uma busca por soluções na vizinhança e fugir de ótimos locais, o teste de conceito foi programado para modificar sua busca por evolução do valor da FO sempre que um ciclo for inteiramente realizado e não for observado melhoria na FO. Encontrada esta situação, o AE passa a fazer varreduras verticais em busca de melhores resultados, assim os dias passam a ser vistos como cromossomos.

Para propor um modelo de avaliação do QL, primeiramente buscou-se na literatura e em entrevistas com os especialistas da área os possíveis impactos causados pelo resultado da escala de pessoal na operação do hospital. A pesquisa resultou nos indicadores descritos na seção 2.1.3. Além dos indicadores, foram consideradas na análise as restrições do modelo, as quais foram determinadas por um conjunto de informações oriundas da literatura, normas da instituição e legislação do setor, conforme pode ser visto na seção 4.2.1.4.

A partir das duas dimensões analisadas individualmente, foi necessário entender a relação entre as restrições do modelo e os impactos causados pelo resultado do QL nos indicadores do setor. Para isso, foi utilizada a metodologia da Árvore da Realidade Atual, conhecida por ARA. A Figura 19 ilustra o modelo de análise.

Figura 19: Modelo de análise dos dados Indicadores x restrições.



Fonte: Elaborado pela autora

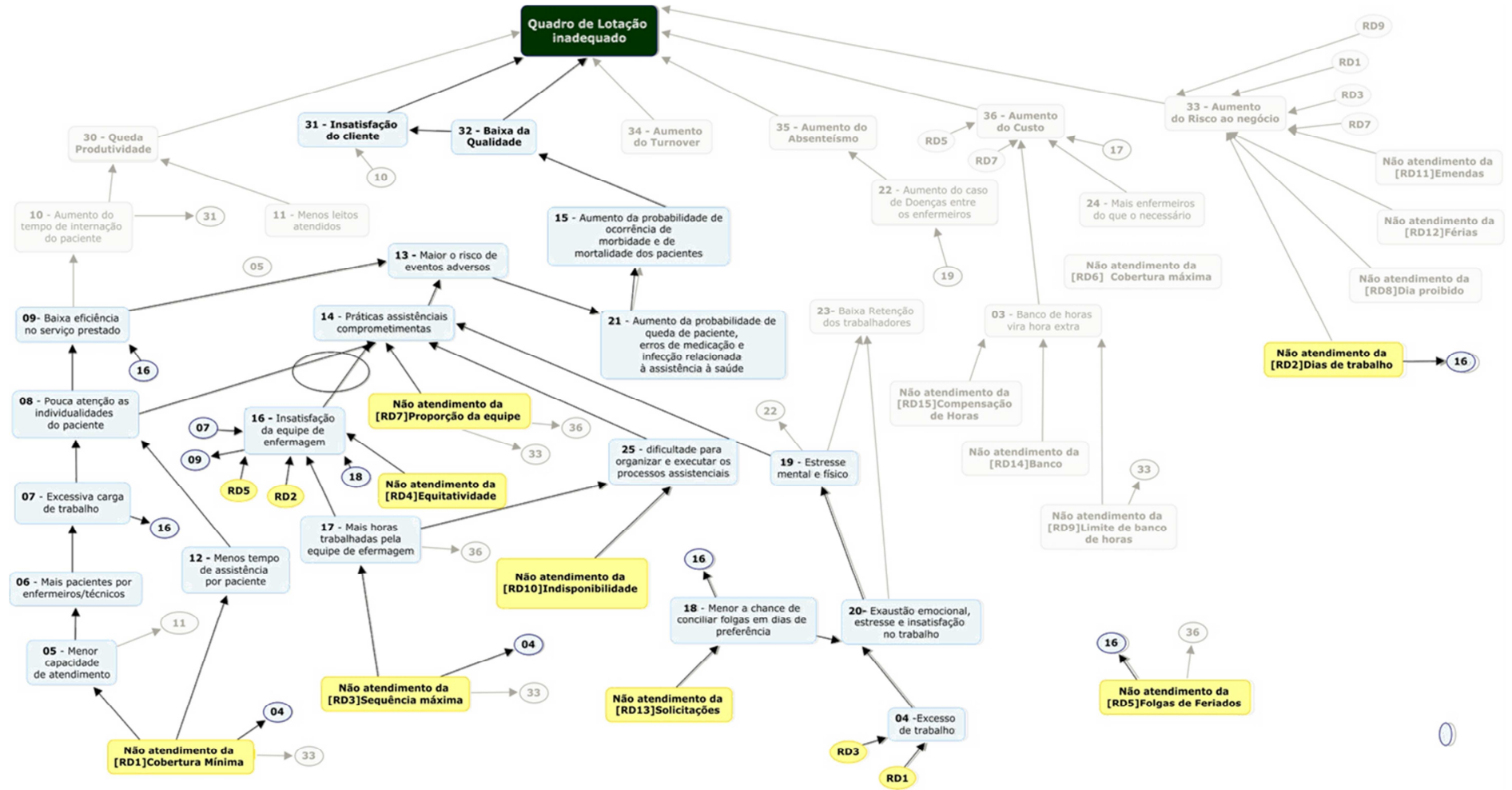
A ARA é o modelo de causa e efeito de uma situação existente. Ela é aplicada, principalmente, para responder a questão “o que mudar?”. Assim, as relações de causa e efeito que são enfocadas na ARA são os efeitos indesejados (EI) (ESHERICK *et al.*, 2013).

O pressuposto por trás dessa análise é que, embora existam muitos efeitos, as causas primárias são poucas e simples. A ARA é projetada para proporcionar o

entendimento de sistemas complexos, identificar os efeitos indesejados e relacioná-los as causas-raiz por meio de cadeias lógicas de causa e efeito. Desse modo, a ARA é um diagrama que, através de conexões de causa e efeito, interliga todos os sintomas do sistema, permitindo encontrar as restrições do problema (ESHERICK *et al.*, 2013). A leitura da ARA deve ser realizada seguindo a direção das setas.

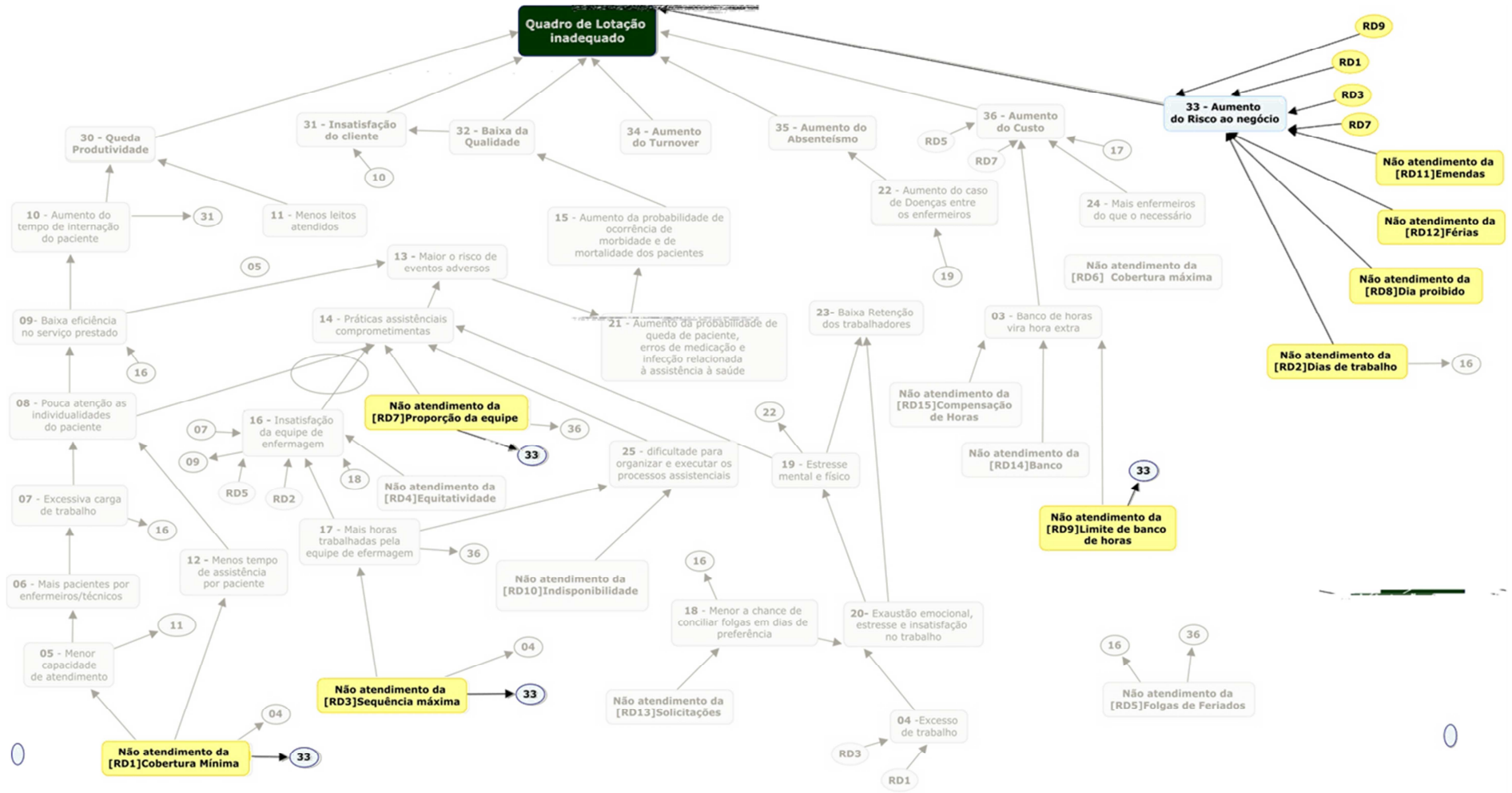
A ARA foi construída buscando responder “*Quais as causas de um QL inadequado?*”. Por tanto, a análise traz para o contexto os indicadores ditos pela literatura como os “indicadores que sofrem influências do QL”, e quais são seus efeitos indesejáveis. Esta análise é ilustrada na Figura 20. Foram observadas e listadas todas as possíveis relações de causa e efeito indesejado relacionados ao problema de QL, às equipes de enfermagem e, às instituições hospitalares. Para melhor entendimento dos *clusters* que se formaram na análise, foram plotadas 5 ARAs demonstrando as causas e efeitos relacionadas ao indicador de forma individual. As mesmas estão apresentadas da Figura 21 a Figura 25.

Figura 22: ARA – Causas e efeitos decorrentes de um QL inadequado – Insatisfação do Cliente e Baixa Qualidade



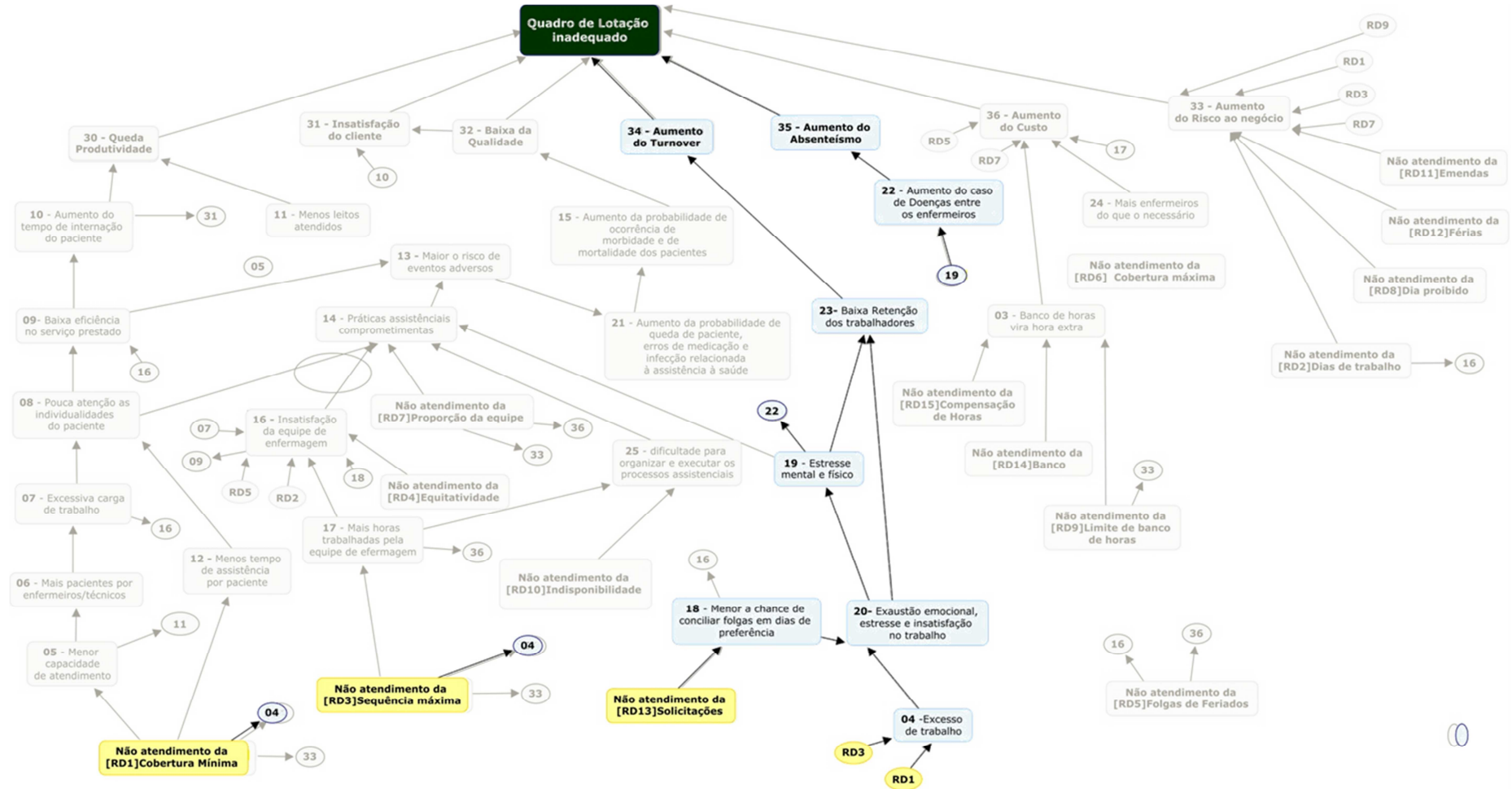
Fonte: Elaborado pela autora

Figura 23: ARA – Causas e efeitos decorrentes de um QL inadequado - Aumento do Risco do Negócio



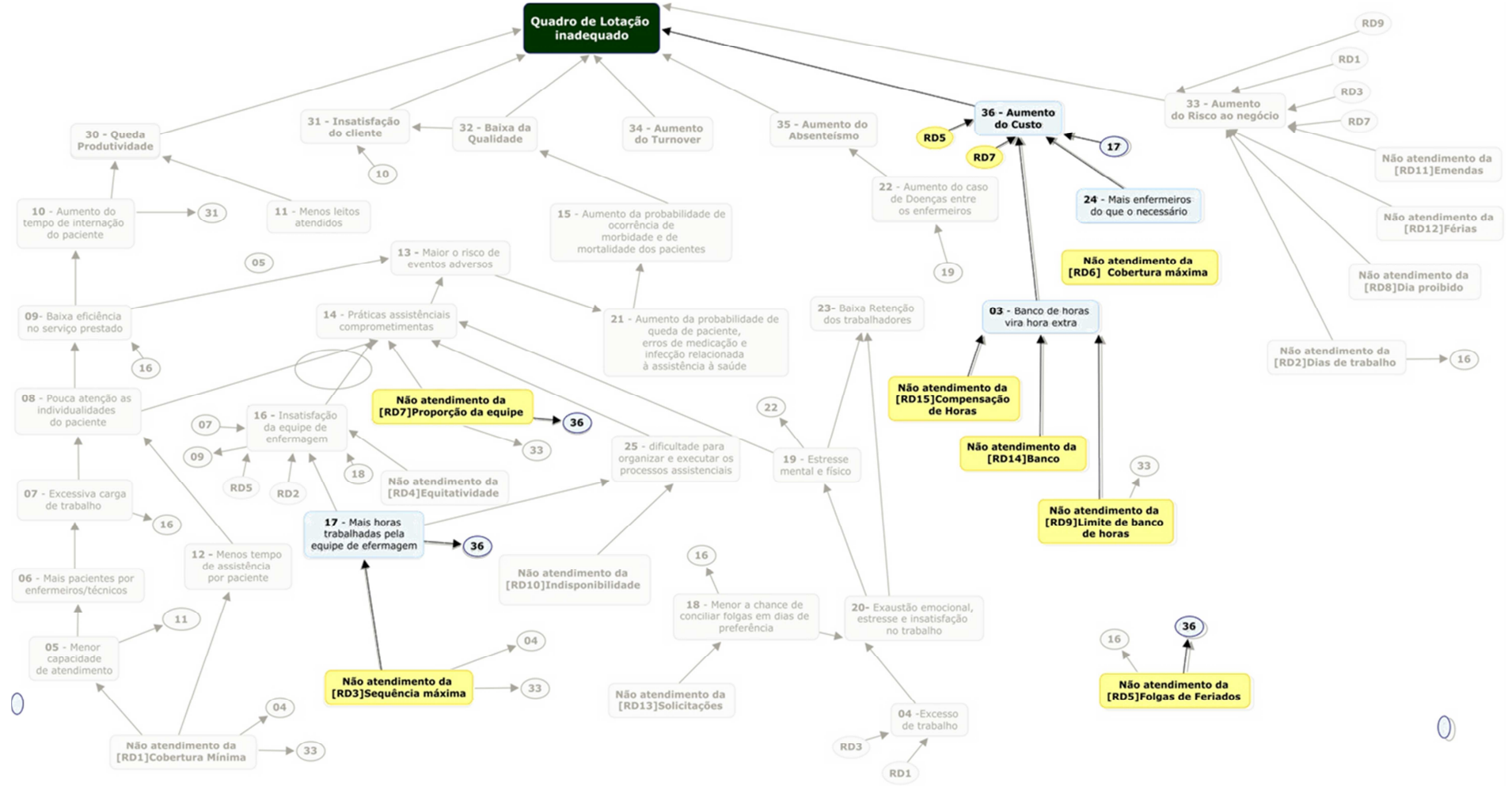
Fonte: Elaborado pela autora

Figura 24: ARA – Causas e efeitos decorrentes de um QL inadequado – Aumento do *Turnover* e Absenteísmo



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 25: ARA – Causas e efeitos decorrentes de um QL inadequado – Aumento do custo



Fonte: Elaborado pela autora

3.5.2.1 Avaliação do Quadro de Lotação

O mapeamento de causa e efeito realizado através da ARA (Figura 20) evidenciou as influências das restrições nos indicadores de desempenho definidos para avaliação do QL. No contexto desta, pesquisa foram identificados sete indicadores de desempenho: produtividade, satisfação do cliente, qualidade dos serviços, risco ao negócio, *turnover*, absenteísmo e custo.

Embora tenham sido identificados sete indicadores, a análise da ARA demonstrou que alguns sofrem as mesmas influências. Assim, foram reduzidos para cinco indicadores, pela agregação dos pontos de vistas “satisfação do cliente & qualidade” e “*turnover* & absenteísmo”.

Desta forma, a otimização do QL buscada de maneira global a partir do ponto de vista da FO (equação 4.35), pode também ser analisada pelo agrupamento de restrições específicas, formando um conjunto de funções de influências capaz de sinalizar o desempenho da escala definida, sob o olhar de cada um dos cinco indicadores.

No âmbito desta pesquisa, ao final da solução computacional que busca minimizar a FO, ficam indicados quais os aspectos restritivos que motivam penalidades à escala, permitindo uma análise qualitativa do resultado e onde ocorrerão possíveis consequências no desempenho em decorrência do QL definido. Portanto, os valores numéricos apresentados em cada perspectiva não representam um índice, mas sim indicam que a escala definida influenciará, em algum grau, o indicador de desempenho do setor/hospital.

A solução computacionalmente apresentada pode indicar um desempenho insatisfatório em uma determinada perspectiva. Neste caso, o desempenho desejado pela administração do hospital pode ser reavaliado através do ajuste do peso das restrições que constituem tal perspectiva. Possivelmente, essa ação resultará em alterações em outras perspectivas, cabendo ao tomador de decisão a definição pela escala dos pesos que representar o melhor interesse da instituição, tendo em vista os objetivos de seu plano estratégico.

A partir do Quadro 10 até o

Quadro 13, estão relacionados os indicadores e as restrições que guardam relações de influência, de acordo com a leitura derivada da ARA.

Quadro 10: Indicador de Produtividade – relações de influências

INFLUÊNCIA DO QL NA PRODUTIVIDADE	
RESTRIÇÕES	REFERENCIAL
[RD1] Cobertura Mínima – As pessoas devem ser designadas ao trabalho em quantidade diária que garanta a cobertura mínima de funcionários por turno;	(POLTOSI, 2007; GARCIA, 2009; PICCHIAI, 2009; INOUE; MATSUDA, 2010)
[RD2] Dias de trabalho – O número total de dias trabalhados no período da escala deve ser igual ao previsto em contrato, menos o número de dias indisponíveis (férias, atividades externas e licenças);	
[RD3 high] Sequência máxima – As pessoas podem trabalhar até 8 dias consecutivos, quando devem folgar pelo menos um dia;	
[RD4] Equitatividade – As pessoas devem ser escaladas de forma mais equitativa possível para atuação em sábados, domingos e feriados (outros dias da semana não importam estar equilibrados);	
[RD5] Folgas de Feriados – As folgas geradas por feriados preferencialmente são concedidas no mesmo mês do feriado;	
[RD13] Solicitações – A pessoa preferencialmente não será escalada em data de interesse particular quando previamente informada;	

Fonte: Elaborado pela autora

Quadro 11: Indicador de Satisfação do Cliente & Qualidade – relações de influências

INFLUÊNCIA DO QL NA SATISFAÇÃO DO CLIENTE & QUALIDADE	
RESTRIÇÕES	REFERENCIAL
[RD1] Cobertura Mínima – As pessoas devem ser designadas ao trabalho em quantidade diária que garanta a cobertura mínima de funcionários por turno;	(LIMA; KURGANCT, 2009; VENTURI, 2009; CUCOLO; PERROCA, 2010; SCHMOELLER; GELBCKE, 2011; FUGULIN <i>et al.</i> , 2011)
[RD2] Dias de trabalho – O número total de dias trabalhados no período da escala deve ser igual ao previsto em contrato, menos o número de dias indisponíveis (férias, atividades externas e licenças);	
[RD3] Sequência máxima – As pessoas podem trabalhar até 8 dias consecutivos, quando devem folgar pelo menos um dia;	
[RD4] Equitatividade – As pessoas devem ser escaladas de forma mais equitativa possível para atuação em sábados, domingos e feriados (outros dias da semana não importam estar equilibrados);	
[RD5] Folgas de Feriados – As folgas geradas por feriados preferencialmente são concedidas no mesmo mês do feriado;	
[RD7] Proporção da equipe – A proporção entre enfermeiros e técnicos de enfermagem atuando no turno, deve ser de acordo com a classificação do COFEN do SCP;	
[RD10] Indisponibilidade – A pessoa não pode ser escalada se estiver designada para atividade externa (treinamento, visita, reunião, representação,...);	
[RD13] Solicitações – A pessoa preferencialmente não será escalada em data de interesse particular quando previamente informada;	

Fonte: Elaborado pela autora

Quadro 12: Indicador de Risco ao Negócio – relações de influências

INFLUÊNCIA DO QL NO RISCO AO NEGÓCIO	
RESTRIÇÕES	REFERENCIAL
[RO2] Folgas aos Domingos – Cada pessoa deve ter no mínimo uma folga em domingo durante a escala mensal;	Normativas do hospital e CLT
[RD1] Cobertura Mínima – As pessoas devem ser designadas ao trabalho em quantidade diária que garanta a cobertura mínima de funcionários por turno;	COFEN
[RD02] Dias de trabalho – O número total de dias trabalhados no período da escala deve ser igual ao previsto em contrato, menos o número de dias indisponíveis (férias, atividades externas e licenças);	Normativas do hospital
[RD03] Sequência máxima – As pessoas podem trabalhar até 8 dias consecutivos, quando devem folgar pelo menos um dia;	Normativas do hospital / CLT
[RD07] Proporção da equipe – A proporção entre enfermeiros e técnicos de enfermagem atuando no turno, deve ser de acordo com a classificação do COFEN do SCP;	COFEN
[RD08] Dia proibido – Um dia isolado de trabalho é proibido;	Normativas do hospital
[RD09] Limite de banco de horas – Uma pessoa não pode ter horas adquiridas (banco de horas) de valor superior a 50% da carga horária mensal de seu contrato;	Normativas do hospital / CLT
[RD11] Emendas – As folgas que o funcionário tiver direito não devem ser “emendadas” com o período de gozo das férias;	Normativas do hospital
[RD12] Férias – No mês anterior ao que gozará férias, o funcionário deverá folgar todas as horas adquiridas;	Normativas do hospital

Fonte: Elaborado pela autora

Quadro 13: Indicador de Custo – relações de influências

INFLUÊNCIA DO QL NO CUSTO	
RESTRIÇÕES	REFERENCIAL
[RD3] Sequência máxima – As pessoas podem trabalhar até 8 dias consecutivos, quando devem folgar pelo menos um dia;	(GAIDZINSKI, 1998; SOUSA <i>et al.</i> , 2009; HADWAN <i>et al.</i> , 2013).
[RD5] Folgas de Feriados – As folgas geradas por feriados preferencialmente são concedidas no mesmo mês do feriado;	
[RD07] Proporção da equipe – A proporção entre enfermeiros e técnicos de enfermagem atuando no turno, deve ser de acordo com a classificação do COFEN do SCP;	
[RD6] Cobertura máxima – Cada turno/dia deve ter o pessoal designado de forma a garantir a demanda ideal estabelecida, sem excessos de funcionários;	
[RD9] Limite de banco de horas – Uma pessoa não pode ter horas adquiridas (banco de horas) de valor superior a 50% da carga horária mensal de seu contrato;	
[RD14] Proporção da equipe – A proporção entre enfermeiros e técnicos de enfermagem atuando no turno, deve ser de acordo com a classificação do COFEN do SCP;	

[RD15] Compensação de Horas – Uma pessoa deve encerrar pelo menos uma das 4 últimas escalas mensais com nenhuma hora de crédito no banco de horas;	
--	--

Fonte: Elaborado pela autora

Quadro 14: Indicador de *Turnover & Absenteísmo* – relações de influências

INFLUÊNCIA DO QL NO <i>TURNOVER & ABSENTEÍSMO</i>	
RESTRIÇÕES	REFERENCIAL
[RD1] Cobertura Mínima – As pessoas devem ser designadas ao trabalho em quantidade diária que garanta a cobertura mínima de funcionários por turno;	(GARCIA, 2009; CAMPOS <i>et al.</i> , 2009; INOUE; MATSUDA, 2010).
[RD3] Sequência máxima – As pessoas podem trabalhar até 8 dias consecutivos, quando devem folgar pelo menos um dia;	
[RD13] Solicitações – A pessoa preferencialmente não será escalada em data de interesse particular quando previamente informada;	

Fonte: Elaborado pela autora

Após o processo de elaboração do QL por meio do modelo apresentado na seção 3.5.1, é possível analisar quais restrições da escala podem interferir nos indicadores de desempenho do setor/hospital. Conforme o painel ilustrativo da Figura 26, as restrições que apresentam valores iguais a zero, não estão sendo violadas, entretanto, as restrições que apresentam valores maiores do que zero estão, em algum grau, contribuindo negativamente para desempenho do respectivo indicador. Contudo, essa análise é qualitativa e não apresenta um índice, apenas indica a quebra da restrição.

Figura 26: Painel de Resultados

PAINEL DE RESULTADOS DOS INDICADORES DO QL									
Produtividade		<i>Turnover & absenteísmo</i>		Risco ao negócio		Custo		Satisfação & Qualidade	
RD1	0	RD1	0	RD1	0	RD3 high	5120	RD1	0
RD2	60	RD3 high	5120	RD2	60	RD5	0	RD2	60
RD3 high	5120	RD13	0	RD3 high	5120	RD6	530	RD3 high	5120
RD4	40			RD3 low	250	RD7	115	RD4	40
RD5	0			RD7	115	RD9	0	RD5	0
RD13	0			RD8	0	RD14	0	RD7	115
				RD9	0	RD15	3	RD10	0
				RD11	0			RD13	0
				RD12	0				
Σ	5220	Σ	5120	Σ	5545	Σ	5765	Σ	5335

Fonte: Elaborado pela autora

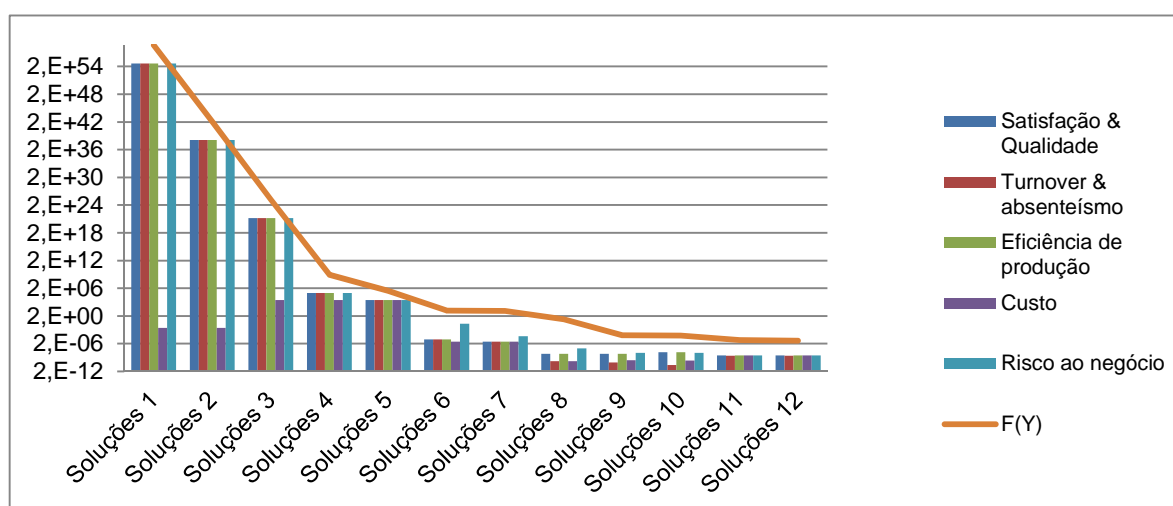
Durante o processo de elaboração do QL, o algoritmo de otimização busca minimizar o valor da FO global. No Gráfico 9 é exibida a evolução qualitativa do QL.

A linha laranja representa os resultados da FO global e verifica-se que ao longo dos ciclos de otimização ela vai sofrendo reduções.

De acordo com o exemplo do Gráfico 9, no primeiro ciclo de iterações os indicadores Risco ao Negócio, Eficiência de Produção, *Turnover* & Absenteísmo e Satisfação & Qualidade estavam sendo fortemente impactados de forma negativa pelo resultado do QL. No decorrer da otimização o algoritmo passa por alguns movimentos de piora, como é o caso do indicador de Custo que no primeiro ciclo sofre pouca influência, porém no segundo ciclo apresenta um aumento considerável na FO, se mantém por algumas iterações, e volta a baixar o valor nos ciclos finais.

Esses movimentos ocorrem por influência dos pesos que foram determinados para cada restrição nos dados de entrada do modelo. Deste modo, os resultados do QL são facilmente manipulados pelo responsável da escala. Se o gestor que está elaborando a escala de um determinado setor entender que o hospital deve operar com baixo custo, mesmo que isso represente um aumento do risco, os pesos determinados para as restrições que influenciam o custo serão elevados, enquanto que os pesos que influenciam o Risco ao Negócio serão menores. Esse processo forçará a FO apresentar soluções que minimize o resultado do Indicador Custo, enquanto que o Risco ao Negócio poderá não ter suas restrições respeitadas.

Gráfico 9: Evolução qualitativa do QL



Fonte: Elaborado pela autora

3.6 Experimentos e Validação

O experimento realizado neste trabalho se deu a fim de testar os conceitos propostos, demonstrar a validade do modelo matemático e confirmar que é computacionalmente possível sua aplicação e uso para geração e melhoria de escalas em hospitais. Para isto, foram realizados testes variando parâmetros, tanto do modelo, quanto do AE, demonstrando que tais parâmetros influenciam na escala apresentada como solução.

Neste sentido, os testes iniciaram com o objetivo de verificar e comprovar a influência dos parâmetros do AE: (a) intensificação da busca, (b) taxa de mutação e (c) tamanho da população; na solução computacionalmente gerada. Assim, o modelo proposto foi colocado a executar os testes, conforme descritos na seção 3.5.1.5, a partir de uma mesma escala inicial, realizando cinco conjuntos de experimentos, segundo parâmetros demonstrados na Tabela 4. Cada conjunto de experimentos é composto de cinco rodadas de testes.

O experimento foi conduzido buscando respeitar o modelo de definição de escalas praticada atualmente no hospital pesquisado, onde cada unidade de internação, neste caso um andar, realiza seu QL individualmente.

Tabela 4: Parâmetros dos experimentos do AE

Parâmetros >>>	Intensificação da busca (s)	Taxa de mutação (%)	Tamanho da população	Número de ciclos de iterações
Conjunto de experimentos 1	100	15	50	10
Conjunto de experimentos 2	100	10	50	10
Conjunto de experimentos 3	100	50	50	10
Conjunto de experimentos 4	100	15	80	10
Conjunto de experimentos 5	50	15	80	10

Fonte: Elaborado pela autora

Os testes realizados totalizaram 25 experimentos e permitiram verificar que o modelo proposto pode ser resolvido e que o resultado final da escala é dependente dos parâmetros do AE. Os resultados destes experimentos estão demonstrados na Tabela 5.

Tabela 5: Resultados dos experimentos de avaliação dos parâmetros do AE

Conjuntos de experimentos	Experimento	Número de melhorias	FO	\overline{FO}	Tempo de processamento	Tempo médio (\bar{t})
1	1	20	3.140.390	2.741.560	02:13:30	02:14:48
	2	22	3.539.840		02:10:46	
	3	25	2.542.940		02:13:58	
	4	23	2.443.380		02:13:22	
	5	24	2.041.250		02:22:25	
2	6	12	2.140.690	2.759.290	02:29:38	02:40:43
	7	24	3.334.620		02:36:59	
	8	23	2.239.730		03:03:35	
	9	21	3.137.440		02:37:59	
3	10	22	2.943.970	2.606.706	02:35:25	02:27:20
	11	22	2.737.930		02:55:22	
	12	24	2.463.540		02:27:27	
	13	22	1.746.530		02:13:49	
	14	25	2.744.670		02:38:08	
4	15	23	3.340.860	3.038.416	02:01:53	02:38:32
	16	18	2.742.220		03:03:01	
	17	19	3.037.590		02:28:14	
	18	19	3.334.310		02:13:25	
	19	20	3.036.070		02:21:14	
5	20	22	3.041.890	3.919.254	03:06:47	01:24:44
	21	20	3.734.570		01:23:52	
	22	14	5.139.180		01:21:02	
	23	16	3.041.450		01:22:31	
	24	28	2.840.160		01:35:07	
	25	19	4.840.910	01:21:06		

Fonte: Elaborado pela autora

A influência dos parâmetros do AE podem ser verificadas analisando conjuntamente a Tabela 4 e a Tabela 5. Por exemplo, os conjuntos de experimentos 4 e 5 demonstram que um *tempo maior de intensificação* de busca gera uma melhor FO, mas requer mais tempo total de processamento, sendo que a melhoria apresentada da FO não é proporcional ao tempo total de processamento. Neste mesmo sentido, a comparação entre os conjuntos 1, 2 e 3 demonstram a influência da *taxa de mutação* no resultado, enquanto os conjuntos 1 e 4 podem demonstrar a influência do *tamanho da população* no resultado.

De acordo com os registros obtidos na Tabela 5, verifica-se que o conjunto 3 apresentou melhor média de resultados para a FO, mesmo que exigindo mais tempo de processamento do que outras soluções. Como o tempo total de processamento não é importante no teste de conceito deste trabalho, os parâmetros deste conjunto serão utilizados para a sequência do experimento, em busca de verificar como os pesos das restrições influenciam nos resultados.

Para o experimento de verificação da influência dos pesos na definição do QL, o modelo foi testado para atendimento de uma escala real hipotética, iniciando com a definição dos parâmetros da escala, conforme a Figura 27.

Figura 27: Parâmetros da escala

listagem de funcionário e respectivos cargos do setor		matriz Cim				matriz Bid											
		saldo em horas meses anterior				escala anterior											
Funcionário (<i>i</i>)	cargo (<i>c</i>)	-4	-3	-2	-1	Q	S	S	D	S	T	Q	Q	S	S	D	
abc1	ENFERMEIRO	12	15	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	
abc2	TÉCNICO	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	
abc3	TÉCNICO	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	
abc4	TÉCNICO	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	
abc5	TÉCNICO	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	
abc6	TÉCNICO	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	
abc7	TÉCNICO	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	
abc8	TÉCNICO	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
abc9	ENFERMEIRO	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	
abc10	TÉCNICO	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	
abc11	TÉCNICO	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
abc12	TÉCNICO	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	
abc13	ENFERMEIRO	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	
abc14	TÉCNICO	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	
ideal TÉCNICOS/turno (<i>k</i>):		9				LEGENDA:											
%MÍNIMO enfermeiros/técnicos (r _{mín}):		14				1 dia trabalhado		3 atividade externa									
%MÁXIMO enfermeiros/técnicos (r _{máx}):		50				2 férias		4 licença									

Fonte: Elaborado pela autora

Para a sequência do experimento, a matriz de indisponibilidades no mês em programação foi preenchida, conforme a Figura 28, permitindo considerar folgas solicitadas e combinadas, atividades externas e férias.

Figura 28: Matriz Aid - Escala mês atual - Indisponibilidades

Matriz Aid - escala mês atual - INDISPONIBILIDADES																															
S	T	Q	Q	S	S	D	S	T	Q	Q	S	S	D	S	T	Q	Q	F	S	D	S	T	Q	Q	S	S	D	S	T	Q	
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1																															
										1																	1				
			1																												
												4	4	4													1				
					1																				2	2	2	2	2	2	2
											1																				
LEGENDA:					1	folga solicitada				3	atividade externa																				
					2	Férias				4	licença / folga para compensação de horas																				

Fonte: Elaborado pela autora

O passo seguinte consistiu na definição dos pesos de cada restrição na FO. Como ponto de partida, as definições dos pesos ocorreram de forma empírica, baseado nas opiniões dos especialistas do hospital, manifestadas durante as entrevistas, e, nas indicações da literatura.

Desta forma o primeiro teste, denominado de *experimento A*, ocorreu com os pesos indicados na Tabela 6, onde também pode ser verificado o resultado computacionalmente obtido após processamento do modelo.

Tabela 6: Parâmetros e resultados do Experimento A

Restrição	Função	Nome	Peso	Tipo	a1	Razão	Resultado
RD1	F1	Cobertura Mínima	9999	Grave	10	2	0
RO1	F2	Disponibilidade	9999999999	Grave	10	2	0
RO2	F3	Folgas aos Domingos	9999999999	Grave	10	2	0
RD2	F4	Dias de trabalho	9999	Grave	10	2	299.970
RD3	F5l	Sequência máxima (low)	9999	Grave	10	2	1.699.830
RD3	F5h	Sequência máxima (high)	1	Grave	10	2	5.120
RD4	F6	Equitatividade	2	Média	5	2	1.280
RD5	F7	Folgas de Feriados	2	Leve	3	2	0
RD6	F8	Cobertura máxima	50	Média	5	2	15.250
RD7	F9	Proporção da equipe	50	Média	5	2	5.250
RD8	F10	Dia proibido	2	Média	5	2	10
RD9	F11	Limite de banco de horas	2	Média	5	2	0
RD10	F12	Indisponibilidade	20	Leve	3	2	0
RD11	F13	Emendas	100	Média	5	2	500
RD12	F14	Férias	100	Leve	3	2	0
RD13	F15	Solicitações	100	Média	5	2	4.999
RD14	F16	Banco	100	Leve	3	2	0
RD15	F17	Compensação de Horas	100	Leve	3	2	0
FO >>>							2.032.209

Fonte: Elaborado pela autora





Os resultados do *experimento A* permitiram verificar que o QL elaborado a partir do modelo proposto conseguiu atender às restrições obrigatórias RO1 e RO2, além de atender as restrições desejáveis RD1, RD7, RD11, RD12, RD14 e RD15 sem penalizações. As restrições que apresentaram penalizações permitiram conhecer os problemas da escala definida e quais os indicadores de desempenho seriam possivelmente influenciados se a opção por utilizá-la fosse exercida, de acordo com o abordado na seção 3.5.2.1.

O QL definido pelo modelo no *experimento A* está demonstrado na Figura 29, com destaques para as indisponibilidades conhecidas (Figura 28), conforme legenda de cores na própria figura.

Figura 29: Matriz Eid - Escala mês atual por Experimento A

Matriz Eid - escala mês atual por Experimento A																															
S	T	Q	Q	S	S	D	S	T	Q	Q	S	S	D	S	T	Q	Q	F	S	D	S	T	Q	Q	S	S	D	S	T	Q	
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	
0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	
0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	
1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	
1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	
1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	
0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	
1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	
0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	
1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	

LEGENDA:

 folga solicitada	 atividade externa
 férias	 licença / folga para compensação de horas

Fonte: Elaborado pela autora

Para testar a capacidade do modelo em alterar os resultados do QL para atender as indicações dos tomadores de decisões do hospital sobre quais restrições devem prioritariamente ser atendidas, foi realizado o *experimento B* utilizando parâmetros a partir da avaliação qualitativa do *experimento A*.

Neste sentido, a escala definida no *experimento A* permitiu a constatação, dentre várias, do não atendimento da RD3 (high), que penalizou a FO quando sequências acima de oito dias trabalhados consecutivamente são definidas, como também, do não atendimento pela escala das solicitações de folgas em dias preferenciais, demonstrados na Tabela 6 pelas penalidades atribuídas a RD13, facilmente comprovados na Figura 29, onde dez solicitações não estão atendidas, estando os funcionários escalados para o trabalho nos respectivos dias.

De forma a obter uma nova geração de escala onde as restrições RD3 (high) e RD13 fossem menos violadas, para o *experimento B* foram respectivamente elevados o peso e o tipo de função penalidade (conforme descritos na seção 3.5), de acordo com os novos valores demonstrados em destaque na Tabela 7, onde também podem ser observados os novos resultados gerados após processamento do modelo.

Tabela 7: Parâmetros e resultados do Experimento B

Restrição	Função	Nome	Peso	Tipo	a1	Razão	Resultado
RD1	F1	Cobertura Mínima	9999	Grave	10	2	99.990
RO1	F2	Disponibilidade	9999999999	Grave	10	2	0
RO2	F3	Folgas aos Domingos	9999999999	Grave	10	2	0
RD2	F4	Dias de trabalho	9999	Grave	10	2	399.960
RD3	F5l	Sequência máxima (low)	9999	Grave	10	2	1.199.880
RD3	F5h	Sequência máxima (high)	100	Grave	10	2	0
RD4	F6	Equitatividade	2	Média	5	2	80
RD5	F7	Folgas de Feriados	2	Leve	3	2	0
RD6	F8	Cobertura máxima	50	Média	5	2	15.750
RD7	F9	Proporção da equipe	50	Média	5	2	4.750
RD8	F10	Dia proibido	2	Média	5	2	0
RD9	F11	Limite de banco de horas	2	Média	5	2	0
RD10	F12	Indisponibilidade	20	Leve	3	2	0
RD11	F13	Emendas	100	Média	5	2	0
RD12	F14	Férias	100	Leve	3	2	0
RD13	F15	Solicitações	100	Grave	10	2	8.999
RD14	F16	Banco	100	Leve	3	2	0
RD15	F17	Compensação de Horas	100	Leve	3	2	0
						FO >>>	1.729.409

Fonte: Elaborado pela autora

Os novos pesos definidos no *experimento B* provocaram melhoria na escala definida pelo processamento do modelo. Conforme resultados apresentados na Tabela 7, a escala gerada com os critérios do *experimento B* e representada na Figura 30 passou a atender sem violações, a RD3 (high) e, diminuiu a quantidade de não atendimento às solicitações de folgas, verificados pela RD13, passando para nove o número de não atendimentos (eram dez no *experimento A*).

Figura 30: Matriz Eid - Escala mês atual por Experimento B

Matriz Eid - escala mês atual por Experimento B																														
S	T	Q	Q	S	S	D	S	T	Q	Q	S	S	D	S	T	Q	Q	F	S	D	S	T	Q	Q	S	S	D	S	T	Q
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1
1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0
1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1
1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0

LEGENDA:

 folga solicitada	 atividade externa
 férias	 licença / folga para compensação de horas

Fonte: Elaborado pela autora

Sobre o resultado da RD13 na FO, o *experimento B* apresentou maior valor absoluto do que o apresentado no *experimento A*, fato devido ao maior peso atribuído, pois a quantidade de não atendimentos foi menor, demonstrando que o modelo busca soluções diferentes conforme as preferências dos tomadores de decisão e, que isto ocorre baseado nos pesos atribuídos.

Mais dois experimentos foram realizados para verificação do modelo e os resultados dos *experimento C* e *experimento D* estão demonstrados na Tabela 8 e na Tabela 9 respectivamente, com destaques aos pesos modificados.

Tabela 8: Parâmetros e resultados do Experimento C

Restrição	Função	Nome	Peso	Tipo	a1	Razão	Resultado
RD1	F1	Cobertura Mínima	9999	Grave	10	2	0
RO1	F2	Disponibilidade	9999999999	Grave	10	2	0
RO2	F3	Folgas aos Domingos	9999999999	Grave	10	2	0
RD2	F4	Dias de trabalho	9999	Grave	10	2	599.940
RD3	F5l	Sequência máxima (low)	9999	Grave	10	2	2.399.760
RD3	F5h	Sequência máxima (high)	100	Grave	10	2	0
RD4	F6	Equitatividade	2	Média	5	2	80
RD5	F7	Folgas de Feriados	2	Leve	3	2	0
RD6	F8	Cobertura máxima	500	Grave	10	2	280.000
RD7	F9	Proporção da equipe	50	Média	5	2	5.250
RD8	F10	Dia proibido	2	Média	5	2	0
RD9	F11	Limite de banco de horas	2	Média	5	2	0
RD10	F12	Indisponibilidade	20	Leve	3	2	0
RD11	F13	Emendas	100	Média	5	2	500
RD12	F14	Férias	100	Leve	3	2	0
RD13	F15	Solicitações	10000	Grave	10	2	699.855
RD14	F16	Banco	100	Leve	3	2	0
RD15	F17	Compensação de Horas	100	Leve	3	2	0
FO >>>							3.985.385

Fonte: Elaborado pela autora





O foco do *experimento C* consistiu em provocar um maior atendimento às solicitações dos funcionários, para o que elevou-se de peso 100 no *experimento B*, para peso 10.000 no *experimento C*. A elevação em cem vezes do peso da restrição RD13 refletiu em uma FO maior, mas também num maior atendimento de solicitações de folgas pelos funcionários.

Conforme pode ser observado na Figura 31, a solução apresentada após processamento do modelo indicou sete não atendimentos, ou seja, menos do que o apresentados nos experimentos anteriores.

Figura 31: Matriz Eid - Escala mês atual por Experimento C

Matriz Eid - escala mês atual por Experimento C																														
S	T	Q	Q	S	S	D	S	T	Q	Q	S	S	D	S	T	Q	Q	F	S	D	S	T	Q	Q	S	S	D	S	T	Q
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1
0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0
1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

LEGENDA:

 folga solicitada	 atividade externa
 férias	 licença / folga para compensação de horas

Fonte: Elaborado pela autora

Perseguindo uma solução que melhorasse o atendimento das solicitações de folga do funcionários, o *experimento D* ocorreu após aumentar o peso da RD13 para 100.000, o que indicaria muita penalidade para a FO caso o descumprimento das indicações recebidas. A solução do *experimento D* está demonstrada na Tabela 9 e na Figura 32, onde é possível verificar uma solução sem penalidades para restrição, por atendimento integral às solicitações dos funcionários.

Tabela 9: Parâmetros e resultados do Experimento D

Restrição	Função	Nome	Peso	Tipo	a1	Razão	Resultado
RD1	F1	Cobertura Mínima	9999	Grave	10	2	199.980
RO1	F2	Disponibilidade	9999999999	Grave	10	2	0
RO2	F3	Folgas aos Domingos	9999999999	Grave	10	2	0
RD2	F4	Dias de trabalho	9999	Grave	10	2	199.980
RD3	F5l	Sequência máxima (low)	9999	Grave	10	2	1.399.860
RD3	F5h	Sequência máxima (high)	100	Grave	10	2	0
RD4	F6	Equitatividade	2	Média	5	2	320
RD5	F7	Folgas de Feriados	2	Leve	3	2	0
RD6	F8	Cobertura máxima	500	Grave	10	2	305.000
RD7	F9	Proporção da equipe	50	Média	5	2	5.000
RD8	F10	Dia proibido	2	Média	5	2	10
RD9	F11	Limite de banco de horas	2	Média	5	2	0
RD10	F12	Indisponibilidade	20	Leve	3	2	0
RD11	F13	Emendas	100	Média	5	2	0
RD12	F14	Férias	100	Leve	3	2	0
RD13	F15	Solicitações	100000	Grave	10	2	0
RD14	F16	Banco	100	Leve	3	2	0
RD15	F17	Compensação de Horas	100	Leve	3	2	0
FO >>>							2.110.150

Fonte: Elaborado pela autora

Embora o *experimento D* tenha sido manipulado para atender a restrição RD13, deve ser observado que na medida em que esse objetivo foi atendido, a restrição RD1, que no *experimento A* estava atendida sem penalidades passou a apresentar um resultado maior do que zero, indicando, assim, que a mesma não foi atendida plenamente.

Figura 32: Matriz Eid - escala mês atual por Experimento D

Matriz Eid - escala mês atual por Experimento D																														
S	T	Q	Q	S	S	D	S	T	Q	Q	S	S	D	S	T	Q	Q	F	S	D	S	T	Q	Q	S	S	D	S	T	Q
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0
1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	
1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0
1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0

LEGENDA:

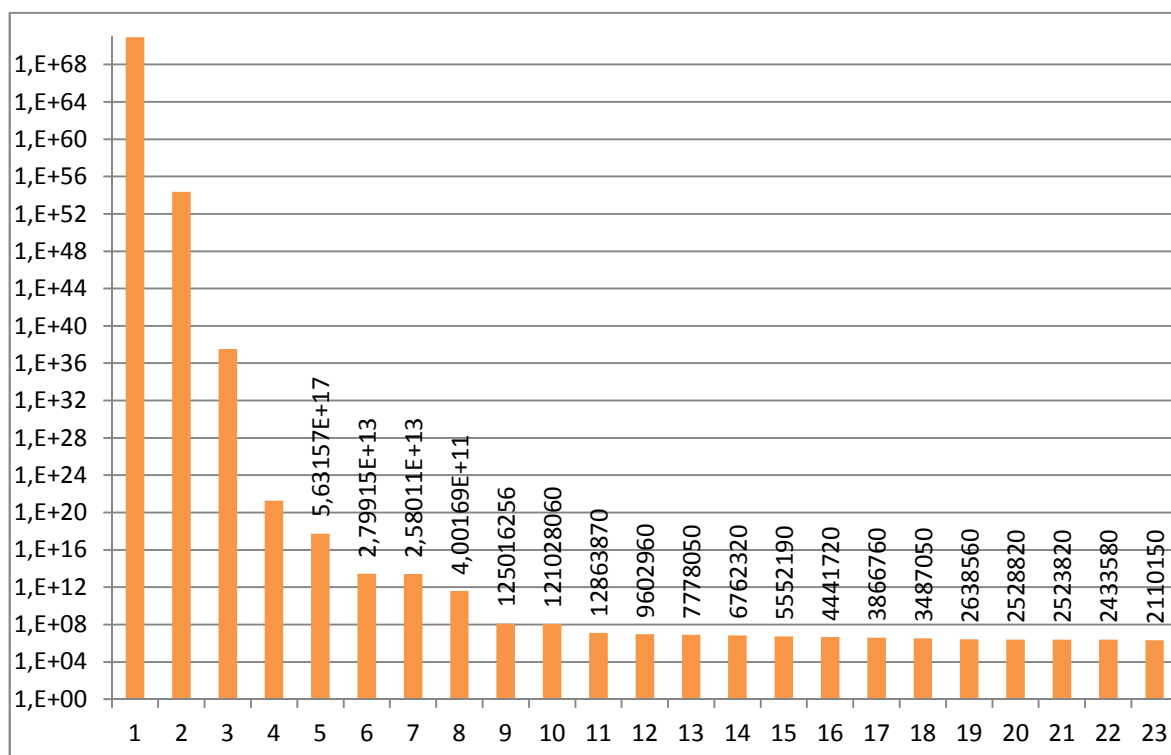
 folga solicitada	 atividade externa
 férias	 licença / folga para compensação de horas

Fonte: Elaborado pela autora

Outra forma de analisar as escalas geradas nos experimentos realizados de acordo com o modelo proposto por este trabalho é através da evolução da FO durante o processamento de geração do QL. Iniciados sem qualquer preenchimento indicando folga (0) ou trabalho (1) na matriz Eid, o valor da FO parte de valores significativos e evoluem a valores minimizados ao longo dos ciclos de processamento detalhados na seção 3.5.1.5.

Para demonstração da evolução da solução gerada pelo modelo proposto e experimentado nos testes de conceito, o Gráfico 10 apresenta a evolução da FO em função das evoluções apresentadas no *experimento D*. O comportamento da FO neste experimento manifesta o que aconteceu nos demais experimentos e ratifica o funcionamento do modelo proposto.

Gráfico 10: Evolução da FO em função das evoluções obtidas no experimento D

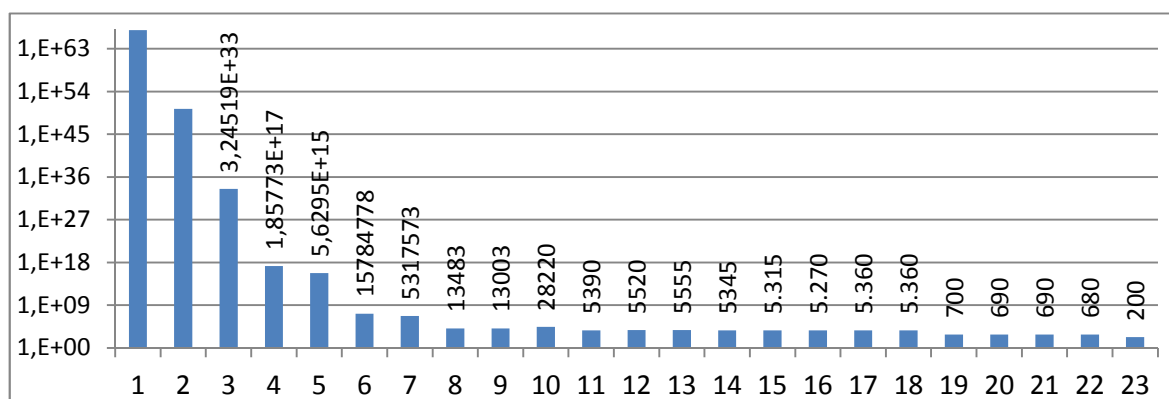


Fonte: Elaborado pela autora

A evolução da FO pode também ser analisada a partir das perspectivas de influência do QL nos indicadores de desempenho. Esta análise é proporcionada analisando o somatório de penalidades das restrições que influenciam cada indicador, conforme tratado na seção 3.5.2.1.

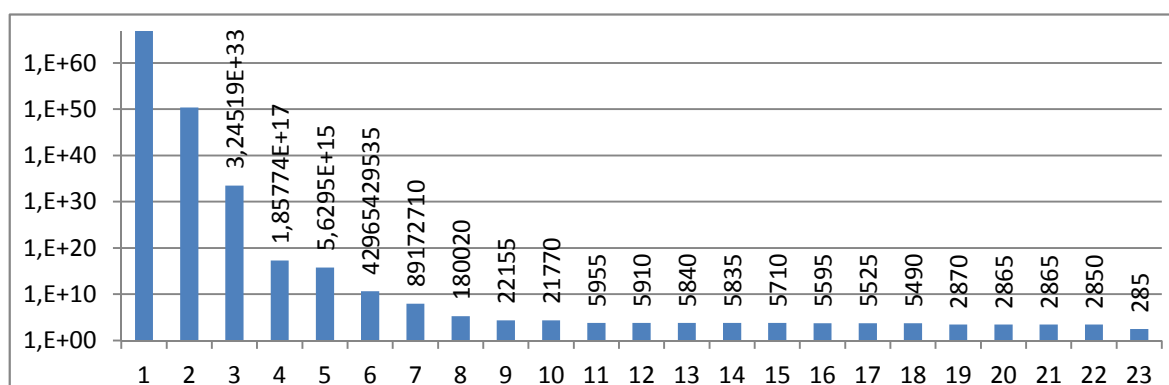
O Gráfico 11 demonstra a evolução da influência do QL nos indicadores de eficiência de produção em função das evoluções da FO obtidas no *experimento D*. O Gráfico 12 demonstra a evolução da influência do QL nos indicadores de risco ao negócio em função das evoluções da FO obtidas no *experimento D*. O Gráfico 13 demonstra a evolução da influência do QL nos indicadores de *turnover* & absenteísmo em função das evoluções da FO obtidas no *experimento D*. O Gráfico 14 demonstra a evolução da influência do QL nos indicadores de satisfação & qualidade em função das evoluções da FO obtidas no *experimento D*. Por fim, o Gráfico 15 demonstra a evolução da influência do QL nos indicadores de custo em função das evoluções da FO obtidas no *experimento D*.

Gráfico 11: Evolução da influência do QL nos indicadores de eficiência de produção em função das evoluções obtidas no experimento D



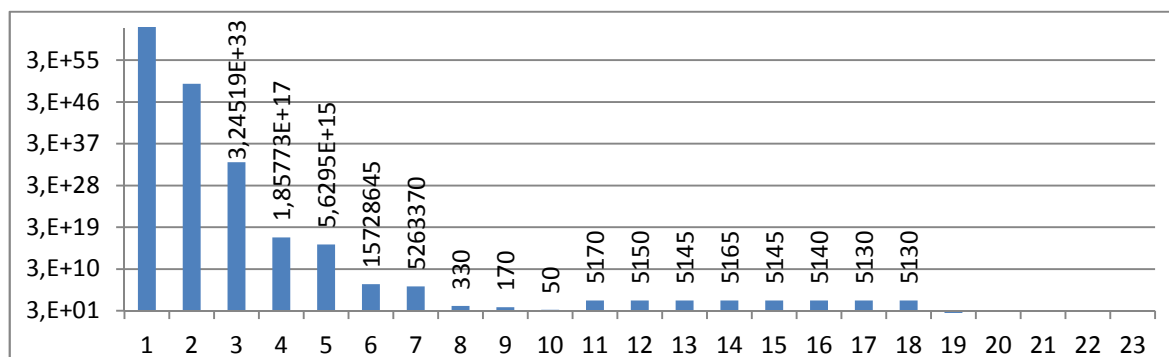
Fonte: Elaborado pela autora

Gráfico 12: Evolução da influência do QL nos indicadores de risco ao negócio em função das evoluções obtidas no experimento D



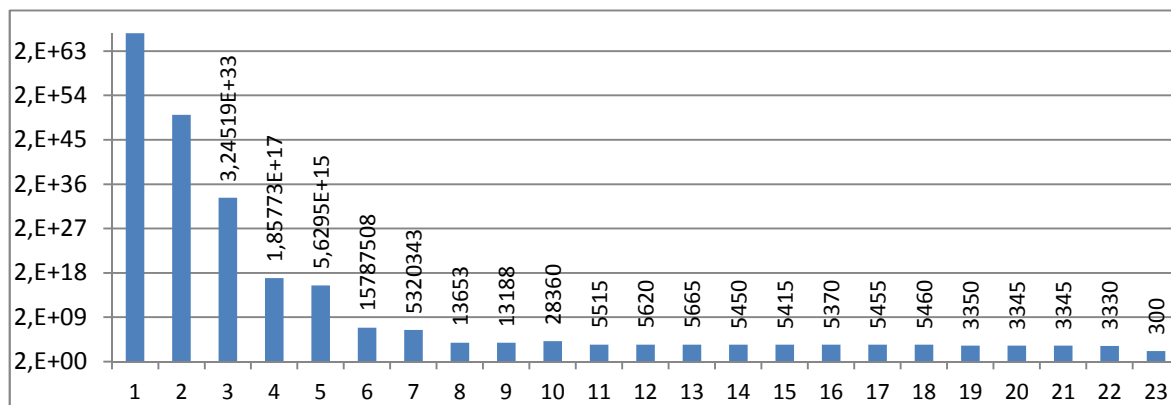
Fonte: Elaborado pela autora

Gráfico 13: Evolução da influência do QL nos indicadores de turnover & absenteísmo em função das evoluções obtidas no experimento D



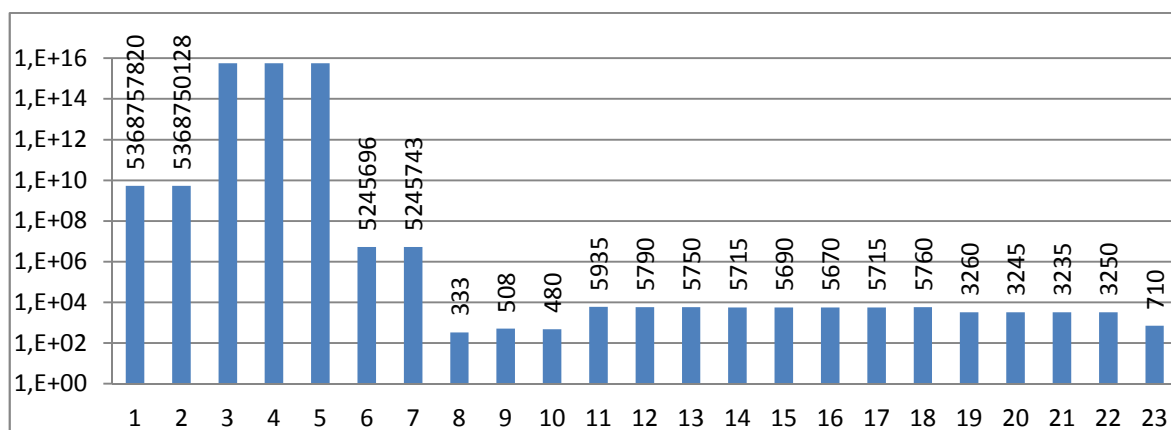
Fonte: Elaborado pela autora

Gráfico 14: Evolução da influência do QL nos indicadores de satisfação & qualidade em função das evoluções obtidas no experimento D



Fonte: Elaborado pela autora

Gráfico 15: Evolução da influência do QL nos indicadores de custo em função das evoluções obtidas no experimento D



Fonte: Elaborado pela autora

A Tabela 10 resume os resultados obtidos nos experimentos A, B, C e D. Nela é possível verificar que a definição dos pesos motiva o modelo a modificar a FO de forma a atender as prioridades definidas pelos tomadores de decisões. Também é possível constatar que a definição de pesos diferentes resulta em diferentes valores de FO.

Cabe reforçar que os valores resultantes do modelo não representam avaliação quantitativa, mas sim, qualitativa da influência da escala definida nos indicadores de desempenho. Assim, quanto menor o valor das penalidades, menor é a tendência de comprometimento dos indicadores de desempenho.

Tabela 10: Resultados dos experimentos nas perspectivas dos indicadores

		Experimento A		Experimento B		Experimento C		Experimento D	
Indicador	Restrição	Penalidades		Penalidades		Penalidades		Penalidades	
		Restrição	Indicador	Restrição	Indicador	Restrição	Indicador	Restrição	Indicador
Eficiência de produção	RD1	0		10		0		20	
	RD2	30		40		60		20	
	RD3 high	5.120	5.840	0	180	0	170	0	200
	RD4	640		40		40		160	
	RD5	0		0		0		0	
	RD13	50		90		70		0	
Turnover & absenteísmo	RD1	0		10		0		20	
	RD3 high	5.120	5.170	0	100	0	70	0	20
	RD13	50		90		70		0	
Risco ao negócio	RD1	0		10		0		20	
	RD2	30		40		60		20	
	RD3 high	5.120		0		0		0	
	RD3 low	170		120		240		140	
	RD7	105	5.435	95	265	105	410	100	285
	RD8	5		0		0		5	
	RD9	0		0		0		0	
	RD11	5		0		5		0	
	RD12	0		0		0		0	
Custo	RD3 high	5.120		0		0		0	
	RD5	0		0		0		0	
	RD6	305		315		560		610	
	RD7	105	5.530	95	410	105	665	100	710
	RD9	0		0		0		0	
	RD14	0		0		0		0	
RD15	0		0		0		0		
Satisfação & Qualidade	RD1	0		10		0		20	
	RD2	30		40		60		20	
	RD3 high	5.120		0		0		0	
	RD4	640	5.945	40	275	40	275	160	300
	RD5	0		0		0		0	
	RD7	105		95		105		100	
	RD10	0		0		0		0	
RD13	50		90		70		0		
Tempo de execução		01:56:42		02:17:32		01:54:03		01:54:07	
FO Global		2.032.209		1.729.409		3.985.385		2.110.150	

Fonte: Elaborado pela autora

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi desenvolvido um modelo matemático baseado em restrições. Este modelo permitiu a elaboração e a geração de elementos para avaliação qualitativa do QL da equipe de enfermagem da Unidade de Internação de um hospital de Porto Alegre/RS, a partir de perspectivas de indicadores de desempenho.

A motivação para o desenvolvimento deste trabalho é contribuir com a discussão em torno do atual momento vivido pelo sistema de saúde brasileiro, que vem enfrentando grandes desafios para melhorar a qualidade dos serviços oferecidos à população buscando maximizar recursos e minimizar custos (FUGULIN *et al.*, 2011; ROSSETTI *et al.*, 2014). Neste contexto, buscou-se aplicar técnicas da engenharia de produção à problemas identificados no âmbito hospitalar.

A primeira contribuição deste trabalho foi a apresentação de um método passo a passo para a elaboração de um QL otimizado. Para isso, foi realizado levantamento bibliográfico buscando conhecer modelos desenvolvidos por pesquisadores já consagrados na literatura. O modelo aqui proposto foi baseado em Ernst *et al.* (2004), o qual vem sendo citado em pesquisas do gênero desde a sua publicação até os dias atuais e, em Smet, Bilgin *et al.* (2014), que apresentaram uma abordagem complementar ao modelo de Ernst *et al.* (2004).

A segunda contribuição deste trabalho foi o desenvolvimento de um conjunto de restrições obrigatórias e desejáveis, as quais foram embasadas nas normativas apresentadas pelo hospital pesquisado, pela legislação que rege o setor no Brasil e por pesquisa bibliográfica. A grande maioria das pesquisas acessadas apresentam modelos utilizando legislações e normativas culturais de outros países, não sendo integralmente aplicáveis aos hospitais do Brasil. O conjunto de restrições desenvolvidas subsidiou a construção das funções matemáticas para dar sustentação ao modelo proposto. Assim, foi desenvolvido um modelo computacional em Excel®, suportado por VBA e pelo suplemento solver, para a realização de prova de conceito e demonstração da eficácia do modelo matemático elaborado.

A terceira contribuição decorrente deste estudo foi a proposição de um método para a avaliação dos impactos do QL na perspectiva de indicadores de desempenho. O mapeamento de indicadores para compor o modelo de avaliação foi realizado através de levantamento bibliográfico e por entrevistas com os especialistas do hospital. Para definir a relação de impacto entre as restrições e os indicadores, foi realizada uma análise baseada no modelo da Árvore da Realidade Atual (ARA), onde foram elencadas as relações de causa e efeito. Após a conclusão dessas etapas, foram definidas as funções de cálculo para demonstração dos impactos das restrições no resultado do QL em cada indicador. O modelo proporcionou identificar quais restrições não estão sendo atendidas e ajustá-las de acordo com a necessidade de cada setor/hospital.

Deste modo, o trabalho contribui com uma proposta para elaboração de QL otimizado para equipes de enfermagem, passíveis de avaliação e ajustáveis às necessidades de cada setor/hospital. Os testes apresentados na seção 3.6 demonstraram a funcionalidade do modelo de forma satisfatória.

Devido à dificuldade de agenda com a enfermeira chefe do hospital pesquisado e à limitação decorrente do prazo para a entrega do trabalho, não foi possível acessar os dados de uma escala efetivamente utilizada pelo setor de internação para verificar seu comportamento no modelo proposto, o que pode ser realizado em oportunidade futura. Contudo, cabe ressaltar que os dados utilizados para os experimentos foram baseados em dados coletados no setor pesquisado e representaram uma situação real.

O modelo computacional desenvolvido em planilha eletrônica – Excel – atendeu às necessidades para a prova de conceito que demonstraram a capacidade de funcionamento do modelo matemático. Porém, para uma aplicação prática, as limitações deste aplicativo sugerem o desenvolvimento do mesmo em *softwares* com linguagem de programação e recursos mais adequados.

O AE foi utilizado para a otimização do modelo, no entanto, não foram realizados testes com outros algoritmos para comparação dos resultados de tempo

de processamento e qualidade da solução, visto que isso não era objetivo deste trabalho.

Estabelecidas as contribuições e limitações do estudo aqui apresentado, sugere-se a seguir algumas propostas para trabalhos futuros, visando o aperfeiçoamento dos resultados aqui alcançados ou o alcance de novos objetivos. Desta forma se propõe-se:

- Testar o modelo com outros algoritmos para comparar o tempo de processamento e qualidade da solução apresentada;
- Testar o modelo substituindo a ARA por Dinâmicas de Sistemas.
- Implantação do algoritmo em outra ferramenta mais apropriada, como o Matlab.
- Desenvolvimento de um aplicativo utilizando o algoritmo aqui proposto em *softwares* com linguagem de programação e recursos mais adequados;
- Desenvolver índices de avaliação do QL;
- Propor o tratamento do problema de QL a partir de uma abordagem de otimização multi-objetivo, onde cada FO é dada pelos indicadores de desempenho baseados nas restrições ora propostos.
- Incluir na análise pelo menos alguns dias da próxima escala, a fim de indicar atividades externas e férias buscando prevenir penalidades na FO da próxima escala.
- Evoluir o modelo para elaboração do QL considerando a utilização de técnicos e enfermeiros horistas como apoio para as folgas, férias e faltas. Desta forma, haverá uma substituição de custos fixos por variáveis permitindo minimizar o custo com a equipe de enfermagem do hospital.
- A efetiva implementação e acompanhamento do sistema no hospital de estudo através de uma análise longitudinal onde possam ser verificados os resultados em comparação com as métricas existentes de avaliação de desempenho.

Por fim, conclui-se que o objetivo geral deste trabalho de apresentar um modelo matemático baseado em restrições que permita a elaboração de escalas, gerando elementos para avaliação do QL da equipe de enfermagem na Unidade de

Internação de um hospital, a partir de perspectivas de indicadores de desempenho, foi alcançado, dado as contribuições supracitadas.

REFERÊNCIAS

ABOBAKER, R. A.; AYOB, M.; HADWAN, M. Greedy Constructive Heuristic and Local Search Algorithm for Solving Nurse Rostering Problems. **3rd Conference on Data Mining and Optimization (DMO)**, p. 28–29, 2011. Selangor, Malaysia.

AWADALLAH, M. A.; KHADER, A. T.; AL-BETAR, M. A.; BOLAJI, A. L. Global best Harmony Search with a new pitch adjustment designed for Nurse Rostering. **Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences**, v. 25, n. 2, p. 145–162, 2013.

AYOB, M.; HADWAN, M.; NAZRI, M. Z. A.; AHMAD, Z. Enhanced harmony search algorithm for nurse rostering problems. **Journal of Applied Sciences**, v. 13, n. 6, p. 846–853, 2013.

BAEKLUND, J. Nurse rostering at a Danish ward. **Annals of Operations Research**, v. 222, p. 107–123, 2014.

BÄUMELT, Z.; ŮCHA, P.; HANZÁLEK, Z. A multistage approach for an employee timetabling problem with a high diversity of shifts as a solution for a strongly varying workforce demand. **Computers and Operations Research**, v. 49, p. 117–129, 2014.

BEDDOE, G.; PETROVIC, S.; LI, J. A hybrid metaheuristic case-based reasoning system for nurse rostering. **Journal of Scheduling**, v. 12, n. 2, p. 99–119, 2008.

BERGH, J. VAN DEN; BELIËN, J.; BRUECKER, P. DE; DEMEULEMEESTER, E.; BOECK, L. DE. Personnel scheduling: A literature review. **European Journal of Operational Research**, v. 226, n. 3, p. 367–385, 2013. Elsevier B.V.

BERTELS, S.; FAHLE, T. A hybrid setup for a hybrid scenario: combining heuristics for the home health care problem. **Computers & Operations Research**, v. 33, n. 10, p. 2866–2890, 2006.

BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. C. Operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 241–264, 2002.

BILGIN, B.; CAUSMAECKER, P.; ROSSIE, B.; BERGHE, G. VANDEN. Local search neighbourhoods for dealing with a novel nurse rostering model. **Annals of Operations Research**, v. 194, n. 1, p. 33–57, 2010.

BORBA, G. S. DE. **Desenvolvimento de uma abordagem para a inserção da simulação no setor hospitalar de porto alegre**, 1998. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção - UFRGS.

BRASIL. Lei No 7.498, de 25 de junho de 1986. **Dispõe sobre a regulamentação do exercício da enfermagem, e dá outras providências**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7498.htm>. .

BURKE, E. K.; BAI, R.; BURKE, E. K.; et al. A hybrid evolutionary approach to the nurse rostering problem. **IEEE Transactions on Evolutionary Computation**, v. 14, n. 4, p. 580–590, 2010.

BURKE, E. K.; CAUSMAECKER, P. Variable Neighbourhood Search for Nurse Rostering Problems. In *Metaheuristics International Conference – MIC'2001*. **Anais...** . p.755–760, 2001. Porto, Portugal: In *Metaheuristics International Conference – MIC'2001*.

BURKE, E. K.; CAUSMAECKER, P.; BERGHE, G. VANDEN. A Hybrid Tabu Search Algorithm for the Nurse Rostering Problem. **Simulated Evolution and Learning**, p. 187–194, 1999.

BURKE, E. K.; CAUSMAECKER, P.; BERGHE, G. VANDEN. **Novel Meta-heuristic Approaches to Nurse Rostering Problems in Belgian Hospitals**. 2004.

BURKE, E. K.; CAUSMAECKER, P.; BERGHE, G. VANDEN; LANDEGHEM, H. VAN. The State of the Art of Nurse Rostering. **Journal of Scheduling**, v. 7, n. 6, p. 441–499, 2004.

BURKE, E. K.; CAUSMAECKER, P.; PETROVIC, S.; BERGHE, G. VANDEN. Metaheuristics for Handling Time Interval Coverage Constraints in Nurse Scheduling. **Applied Artificial Intelligence**, v. 20, n. 9, p. 743–766, 2006.

BURKE, E. K.; CURTOIS, T. New approaches to nurse rostering benchmark instances. **European Journal of Operational Research**, v. 237, n. 1, p. 71–81, 2014. Elsevier B.V.

BURKE, E. K.; CURTOIS, T.; POST, G.; QU, R.; VELTMAN, B. A hybrid heuristic ordering and variable neighbourhood search for the nurse rostering problem. **European Journal of Operational Research**, v. 188, n. 2, p. 330–341, 2008.

BURKE, E. K.; GENDREAU, M.; HYDE, M.; et al. Hyper-heuristics: a survey of the state of the art. **Journal of the Operational Research Society**, v. 64, n. 12, p. 1695–1724, 2013.

BURKE, E. K.; KENDALL, G.; MISIR, M.; ÖZCAN, E. Monte Carlo hyper-heuristics for examination timetabling. **Annals of Operations Research**, v. 196, n. 1, p. 73–90, 2012.

BURKE, E. K.; KENDALL, G.; SOUBEIGA, E. A Tabu-Search Hyperheuristic for Timetabling. **Journal of Heuristics**, p. 451–470, 2004.

BURKE, E. K.; LI, J.; CURTOIS, T.; PETROVIC, S.; QU, R. The falling tide algorithm: A new multi-objective approach for complex workforce scheduling. **Omega**, v. 40, n. 3, p. 283–293, 2012. Elsevier.

BURKE, E. K.; LI, J.; QU, R. A hybrid model of integer programming and variable neighbourhood search for highly-constrained nurse rostering problems. **European Journal of Operational Research**, v. 203, n. 2, p. 484–493, 2010. Elsevier B.V.

BURKE, E. K.; PHAM, N.; QU, R.; YELLEN, J. Linear combinations of heuristics for examination timetabling. **Annals of Operations Research**, v. 194, n. 1, p. 89–109, 2011.

CAMPOS, E. C. DE; JULIANI, C. M. C. M.; PALHARES, V. C. O absenteísmo da equipe de enfermagem em unidade de pronto socorro de um hospital universitário. **Revista Eletrônica de Enfermagem**, v. 11, n. 2, p. 295–302, 2009.

CANAVEZI, C. M. **Dimensionamento de Pessoal**. São Paulo, SP: COREN, 2010.

CAUCHICK, P. A.; FLEURY, A.; PEREIRA MELLO, C. H.; et al. Capítulo 8 – Modelagem e Simulação. **Metodologia De Pesquisa Em Engenharia De Produção**. p.169–198, 2012.

CAUSMAECKER, P. DE; BERGHE, G. VANDEN. A categorisation of nurse rostering problems. *Journal of Scheduling*. **Anais...** . v. 14, p.3–16, 2011.

CHEANG, B.; LI, H.; LIM, A.; RODRIGUES, B. Nurse rostering problems — a bibliographic survey. **Journal of operational research**, v. 151, p. 447–460, 2003.

CONSELHO FEDERAL DE ENFERMAGEM - COFEN. Resolução 293 de 21 de Setembro de 2004. . Rio de Janeiro, Brasil. Disponível em: <http://www.cofen.gov.br/resoluo-cofen-2932004_4329.html>. .

COSTA, J. A.; FUGULIN, F. M. T. Atividades de enfermagem em centro de material e esterilização: contribuição para o dimensionamento de pessoal. **Acta Paulista de Enfermagem**, v. 24, n. 2, p. 249–256, 2011.

CROCE, F. DELLA; SALASSA, F. A variable neighborhood search based matheuristic for nurse rostering problems. **Annals of Operations Research**, v. 218, p. 185–199, 2014.

CUCOLO, D. F.; PERROCA, M. G. Monitorando indicadores de desempenho relacionados ao tempo de assistência da equipe de enfermagem. **Revista da Escola de Enfermagem USP**, v. 44, n. 2, p. 497–503, 2010.

DOHN, A.; MASON, A. Branch-and-price for staff rostering: An efficient implementation using generic programming and nested column generation. **European Journal of Operational Research**, v. 230, n. 1, p. 157–169, 2013.

DRAKE, R. G. The nurse rostering problem: from operational research to organizational reality? **Journal of Advanced Nursing - JAN**, v. 70, n. 4, p. 800–810, 2013.

ERNST, A. T.; JIANG, H.; KRISHNAMOORTHY, M.; OWENS, B.; SIER, D. An Annotated Bibliography of Personnel Scheduling and Rostering. **Annals of Operations Research**, v. 127, n. 1-4, p. 21–144, 2004.

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

ESHERICK, J. S.; CLARK, D. S.; SLATER, E. D. **Handbook da Teoria das Restrições**. Porto Alegre: Editora Bookman, 2013.

FRANCISCO, D. O. **Aplicação de Algoritmos Bio-Inspirados ao Problema de Geração Automática de Grades Horárias**, 2013. Dissertação de Mestrado em Ciências, Programa de Engenharia Elétrica - USP.

FUGULIN, F. MARIA TOGEIRO; LIMA, A. F. COSTA; CASTILHO, V.; et al. Custo da adequação quantitativa de profissionais de enfermagem em Unidade Neonatal. **Revista da Escola de Enfermagem USP**, v. 45, p. 1582 – 1588, 2011.

GABRIEL, P. H. R.; DELBEM, A. C. B. **Fundamentos de Algoritmos Evolutivos. Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação - USP**, 2008. São Paulo, SP.

GAIDZINSKI, R. R. **Dimensionamento de pessoal de enfermagem em instituições hospitalares**, 1998. Tese para Doutorado em Enfermagem. Universidade de São Paulo.

GARCIA, E. D. A. **Distribuição do tempo de trabalho das enfermeiras em unidade de emergência**, 2009. Dissertação de Mestrado em Enfermagem. Escola de Enfermagem da Universidade de São Paulo.

GLASS, C. A.; KNIGHT, R. A. The nurse rostering problem: A critical appraisal of the problem structure. **European Journal of Operational Research**, v. 202, n. 2, p. 379–389, 2010. Elsevier B.V.

GLOVER, F.; KOCHENBERGER, G. A. **Handbook of Metaheuristics**. Kluwer Academic Publishers, 2003.

HAIR, J. F.; BABIN, BA.; MONEY, A.; SAMOUEL, P. **Fundamentos de métodos de pesquisa em administração**. 2005.

HASPESLAGH, S.; CAUSMAECKER, P.; SCHAERF, A.; STØLEVIK, M. The first international nurse rostering competition 2010. **Annals of Operations Research**, v. 218, n. 1, p. 221–236, 2014.

HE, F.; QU, R. A constraint programming based column generation approach to nurse rostering problems. **Computers and Operations Research**, v. 39, n. 12, p. 3331–3343, 2012. Elsevier.

HERTZ, A.; WIDMER, M. Guidelines for the use of meta-heuristics in combinatorial optimization. **European Journal of Operational Research**, v. 151, p. 247–252, 2003.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à pesquisa operacional**. 9^o ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

HUANG, H.; LIN, W.; LIN, Z.; HAO, Z.; LIM, A. An evolutionary algorithm based on constraint set partitioning for nurse rostering problems. **Neural Computing and Applications**, p. 703–715, 2014.

INOUE, K. C.; MATSUDA, L. M. Dimensionamento de pessoal de enfermagem em Unidade de Terapia Intensiva para adultos. **Acta Paulista de Enfermagem**, v. 23, n. 3, p. 379–384, 2010.

KAZAHAYA, G. Harnessing technology to redesign labor cost management reports. **Journal of the Healthcare Financial Management Association**, v. 59, n. 4, p. 94–100, 2005.

KORTBEEK, N.; BRAAKSMA, A.; BURGER, C. A. J.; BAKKER, P. J. M.; BOUCHERIE, R. J. Flexible nurse staffing based on hourly bed census predictions. **International Journal of Production Economics**, v. 161, p. 167–180, 2015.

KUNDU, S.; MAHATO, M.; MAHANTY, B.; ACHARYYA, S. Comparative Performance of Simulated Annealing and Genetic Algorithm in Solving Nurse Scheduling Problem. **Imeces 2008**, v. I, p. 19–21, 2008.

LADIER, A. L.; ALPAN, G.; PENZ, B. Joint employee weekly timetabling and daily rostering: A decision-support tool for a logistics platform. **European Journal of Operational Research**, v. 234, n. 1, p. 278–291, 2014. Elsevier B.V.

LAPÈGUE, T.; BELLENGUEZ-MORINEAU, O.; PROT, D. A constraint-based approach for the shift design personnel task scheduling problem with equity. **Computers & Operations Research**, v. 40, n. 10, p. 2450–2465, 2013. Elsevier.

LEGRAIN, A.; BOUARAB, H.; LAHRICHI, N. The Nurse Scheduling Problem in Real-Life. **Journal of Medical Systems**, v. 39, n. 1, p. 1–11, 2014.

LEQUY, Q.; DESAULNIERS, G.; SOLOMON, M. M. A two-stage heuristic for multi-activity and task assignment to work shifts. **Computers & Industrial Engineering**, v. 63, n. 4, p. 831–841, 2012. Elsevier Ltd.

LI, J.; BURKE, E. K.; QU, R. Integrating neural networks and logistic regression to underpin hyper-heuristic search. **Knowledge-Based Systems**, v. 24, n. 2, p. 322–330, 2011. Elsevier B.V.

LI, S.; LI, J. Z. Hybridising human judgment, AHP, simulation and a fuzzy expert system for strategy formulation under uncertainty. **Expert Systems with Applications**, v. 36, n. 3, p. 5557–5564, 2009. Elsevier Ltd.

LIMA, A. F. C.; KURGANCT, P. Indicadores de qualidade no gerenciamento de recursos humanos em enfermagem. **Revista Brasileira de Enfermagem - REBEn**, v. 62, n. 2, p. 234–239, 2009. Brasilia.

LIN, H.-T.; CHEN, Y.-T.; CHOU, T.-Y.; LIAO, Y.-C. Crew rostering with multiple goals: An empirical study. **Computers & Industrial Engineering**, v. 63, n. 2, p. 483–493, 2012. Elsevier Ltd.

LÜ, Z.; HAO, J. K. Adaptive neighborhood search for nurse rostering. **European Journal of Operational Research**, v. 218, n. 3, p. 865–876, 2012. Elsevier B.V.

MAENHOUT, B.; VANHOUCHE, M. An evolutionary approach for the nurse rostering problem. **Computers & Operations Research**, v. 38, n. 10, p. 1400–1411, 2011.

MAENHOUT, B.; VANHOUCHE, M. Reconstructing nurse schedules: Computational insights in the problem size parameters. **Omega**, v. 41, n. 5, p. 903–918, 2013. Elsevier.

MAHNIS, L.; CARMONA, P.; DORA, Y.; ÉVORA, M. Aplicação De Um Instrumento Validado Classification System of Patients : Application of a Validated Tool Sistema De Clasificación De Pacientes : **Revista da Escola de Enfermagem USP**, v. 36, n. 1, p. 42–49, 2002.

MARTIN, S.; OUELHADJ, D.; SMET, P.; BERGHE, G. VANDEN; ÖZCAN, E. Cooperative search for fair nurse rosters. **Expert Systems with Applications**, v. 40, n. 16, p. 6674–6683, 2013. Elsevier Ltd.

MISIR, M.; VERBEECK, K.; CAUSMAECKER, P.; BERGHE, G. VANDEN. An investigation on the generality level of selection hyper-heuristics under different empirical conditions. **Applied Soft Computing**, v. 13, n. 7, p. 3335–3353, 2013.

NAUDIN, É.; CHAN, P. Y. C.; HIROUX, M.; ZEMMOURI, T.; WEIL, G. Analysis of three mathematical models of the Staff Rostering Problem. **Journal of Scheduling**, v. 15, n. 1, p. 23–38, 2009.

OPEFUXI-IONAL, O. F. A generalized linear programming model for nurse scheduling. **European Journal of Operational Research**, v. 2217, n. 97, p. 1–18, 1998.

OSOGAMI, T.; IMAI, H. Classification of Various Neighborhood Operations for the Nurse Scheduling Problem. (Springer, Org.) **11th International Conference, ISAAC 2000**, v. 1969, p. 72–83, 2000. Taipei, Taiwan: Institute of Information Science.

PASCHOU, M.; PAPADIMITIRIOU, C.; NODARAKIS, N.; et al. Enhanced healthcare personnel rostering solution using mobile technologies. **Journal of Systems and Software**, v. 100, p. 44–53, 2015.

PICCHIAI, D. **Parâmetros e indicadores de dimensionamento de pessoas em hospitais**. São Paulo - SP: Pesquisa acadêmica – Escola de Administração de Empresas. Fundação Getulio Vargas, 2009.

POLTOSI, M. R. **Elaboração de escalas de trabalho de técnicos de enfermagem com Busca Tabu e Algoritmos Genéticos**, 2007. Dissertação de Mestrado em Computação Aplicada. Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS.

PRADO, D. S. DO. **Programação Linear**. 6^o ed. Nova Lima - MG: INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 2012.

PUENTE, J.; GÓMEZ, A.; FERNÁNDEZ, I.; PRIORE, P. Medical doctor rostering problem in a hospital emergency department by means of genetic algorithms. **Computers & Industrial Engineering**, v. 56, n. 4, p. 1232–1242, 2009.

RAIS, A.; VIANA, A. Operations research in healthcare: A survey. **International Transactions in Operational Research**, v. 18, p. 1–31, 2011.

ROCHA, M.; OLIVEIRA, J. F.; CARRAVILLA, M. A. A constructive heuristic for staff scheduling in the glass industry. **Annals of Operations Research**, v. 217, p. 463–478, 2014.

ROGENSKI, K. E.; FUGULIN, F. M. T.; GAIDZINSKI, R. R.; ROGENSKI, N. M. B. Tempo de assistência de enfermagem em instituição hospitalar de ensino. **Revista da Escola de Enfermagem USP**, v. 45, n. 1, p. 223–229, 2011.

ROSA, T. D. O.; LUZ, H. Conceitos Básicos de Algoritmos Genéticos: Teoria e Prática. Anais do XI Encontro de Estudantes de Informática do Tocantins. **Anais...** . p.27–37, 2009. Palmas - Tocantins.

ROSSETTI, A. C.; GAIDZINSKI, R. R.; BRACCO, M. M. Determining workload and size of nursing team in the pediatric emergency department. **Einstein (São Paulo, Brazil)**, v. 12, n. 2, p. 217–22, 2014.

SCHMOELLER, R.; GELBCKE, F. L. Indicativos para o dimensionamento de pessoal de enfermagem em emergência. **Texto e Contexto Enfermagem**, v. 22, n. 4, p. 971–979, 2011.

SHARIF, E.; AYOB, M.; HADWAN, M. Hybridization of heuristic approach with variable neighborhood descent search to solve nurse Rostering problem at Universiti Kebangsaan Malaysia Medical Centre (UKMMC). Conference on Data Mining and Optimization. **Anais...** . p.178–183, 2011.

SILVA, J.; BURKE, E. A tutorial on multiobjective metaheuristics for scheduling and timetabling. **Multiple Objective Meta-Heuristics**, 2004.

SMET, P.; BILGIN, B.; CAUSMAECKER, P.; BERGHE, G. VANDEN. Modelling and evaluation issues in nurse rostering. **Annals of Operations Research**, v. 218, p. 303–326, 2014.

SMET, P.; WAUTERS, T.; MIHAYLOV, M.; BERGHE, G. VANDEN. The shift minimisation personnel task scheduling problem: A new hybrid approach and computational insights. **Omega**, v. 46, p. 64–73, 2014.

SOBRAPO. Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional. Disponível em: <www.sobrapo.org.br>. Acesso em: 14/12/2014.

SOUSA, R. M. C. DE; PADILHA, K. G.; NOGUEIRA, L. DE S.; MIYADAHIRA, A. M. K.; OLIVEIRA, V. C. R. DE. Carga de trabalho de enfermagem requerida por adultos, idosos e muito idosos em Unidade de Terapia Intensiva. **Revista da Escola de Enfermagem USP**, 2009.

SOUZA, R. A. DE. **Otimização das escalas de trabalho dos atendentes e dimensionamento de um call center receptivo**, 2010. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina.

TAHA, H. A. **Pesquisa Operacional: Uma visão geral**. 8^o ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

VACCARO, G.; CAMPELO, F.; LEIS, R. P. **Projeto PNPD - Modelagem, Design e Inovação em Sistemas Hospitalares**. São Leopoldo: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas - Unisinos, 2011.

VEEN, E. VAN DER; HANS, E. W.; POST, G. F.; VELTMAN, B. Shift rostering using decomposition: assign weekend shifts first. **Journal of Scheduling**, v. 18, p. 29–43, 2014.

VENTURI, K. K. **Qualidade do cuidado em UTI: relação entre o dimensionamento de pessoal de enfermagem e eventos adversos**, 2009. Dissertação de Mestrado em Enfermagem. Universidade Federal do Paraná.

VIDAL, R. V. V. Operational Research - a multidisciplinary field. **Pesquisa Operacional**, v. 26, n. 1, p. 69–90, 2005.

VIEIRA, A. P. M.; KURCGANT, P. Indicadores de qualidade no gerenciamento de recursos humanos em enfermagem: Elementos constitutivos segundo percepção de enfermeiros. **Acta Paulista de Enfermagem**, v. 23, n. 1, p. 11–15, 2010.

VIEIRA, K. L.; URBANETTO, J. D. S.; FIGUEIREDO, A. E. Methods Used for Determining Nurse Downsizing: An Integrative Review. , , n. February, p. 129–135, 2015.

WANDERLEY, C. A. N.; COGAN, S. Árvore da Realidade Atual (ARA), Diagrama de Dispersão de Nuvem (DDN) e Árvore da Realidade Futura (ARF): Aplicação Em Uma Bateria de Escola de Samba do Carnaval Carioca. **ConTexto**, v. 12, n. 21, p. 41–58, 2012.

WINSTON, W. L.; VENKATARAMANAN, M.; GOLDBERG, J. B. **Operations Research: Applications and Algorithms**. 4^o ed. Belmont, CA: Duxbury Press, 2003.

WONG, T. C.; XU, M.; CHIN, K. S. A two-stage heuristic approach for nurse scheduling problem: A case study in an emergency department. **Computers & Operations Research**, v. 51, p. 99–110, 2014.

WRIGHT, P. D.; MAHAR, S. Centralized nurse scheduling to simultaneously improve schedule cost and nurse satisfaction. **Omega**, v. 41, n. 6, p. 1042–1052, 2013. Elsevier.

WU, T.-H.; YEH, J.-Y.; LEE, Y.-M. A particle swarm optimization approach with refinement procedure for nurse rostering problem. **Computers & Operations Research**, v. 54, p. 52–63, 2015.