NANA FLORA ELIAS POMPEU

OTIMIZAÇÃO DE ESCALA DE TRATAMENTO DE QUIMIOTERAPIA: APLICAÇÃO AO HOSPITAL DAS CLÍNICAS DA UFMG

Belo Horizonte

Maio, 2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

NANA FLORA ELIAS POMPEU

OTIMIZAÇÃO DE ESCALA DE TRATAMENTO DE QUIMIOTERAPIA: APLICAÇÃO AO HOSPITAL DAS CLÍNICAS DA UFMG

Orientador: Maurício Cardoso de Souza, Dr.

Belo Horizonte

Maio, 2018

Resumo

Este trabalho tem como foco a determinação de escalas eficientes para agendamento de sessões de quimioterapia para o Ambulatório Borges da Costa. Em um cenário de agendamentos online de pacientes, as escalas são ferramentas de grande utilidade. As sessões a serem agendadas diferem entre si quanto ao tipo de medicamento administrado e quanto ao tempo de infusão requerido. Dados históricos apresentam a frequência diária de ocorrência destes diferentes tipos de tratamento e é esta a base para a previsão da demanda pelos tratamentos. Os recursos limitados estudados desse cenário são os leitos disponíveis para o tratamento, o tempo de funcionamento da clínica, a capacidade de manipulação dos diferentes tipos de medicamentos utilizados e a capacidade de atendimento da equipe de enfermagem para preparo e acompanhamento dos pacientes durante as sessões, considerando-se variados níveis de atenção requerida por parte dos pacientes. Explora-se, então, o aumento do número de pacientes atendidos diariamente, buscando-se a manutenção da frequência histórica de ocorrência dos diferentes tipos de sessões possíveis. Os estudos mostram que o recurso escasso do cenário analisado é a capacidade de manipulação de medicamentos, de modo que este deveria ser o foco de um eventual investimento em aumento de capacidade do ambulatório. Com a capacidade atual instalada, a melhor escala determinada permite aumento de atendimento de 70%, dadas as premissas adotadas.

Abstract

When working with offline scheduling, daily template for online patient scheduling is a useful tool. Therefore, this work focuses on establishing an efficient scheduling template for chemotherapy sections in the ambulatory “Borges da Costa”. The sessions differ from each other regarding the type of drug administered and the infusion time required. Historical data indicates the frequency in which these different types of treatments take place daily and this is the basis for the determination of the daily demand for the treatments.

The limited clinic resources are the chairs, the total daily working hours, the drugs handling capacity and the nurses workload. In this scenario it is considered different acuity levels for the patients. The analysis in the present document concentrates on how to increase the total numbers of patients while maintaining the frequency of occurrence between the different possible session’s

types. The results show that the limited resource of this environment is the pharmacist capacity and therefore this should be the address to an eventual investment in the ambulatory. Given the modelled scenario the proposed scheduling template increases in 70% the ambulatory patient handling capacity.

Lista de Figuras

Figura 1: Complexidade envolvida nos tratamentos quimioterápicos e nas clínicas de tratamento 14
Figura 2: Relação de trabalhos na área de agendamentos de pacientes e abordados neste trabalho 15
Figura 3: Escala possível para uma clínica hipotética com dois tipos de preparo de medicamento (A e B) 33
Figura 4: Escala alternativa para uma clínica hipotética com dois tipos de preparo de medicamento (A e B) 34
Figura 5: Agendamentos realizados no Ambulatório Borges da Costa 35
Figura 6: Fluxo de pacientes no ambulatório Borges da Costa para sessões agendadas de quimioterapia 36
Figura 7: Distribuição de ocorrência dos diferentes tipos de tratamento 58
Figura 8: Frequência da alocação de espaços para os diferentes tipos de tratamento 60
Figura 9: Desvios na alocação de espaços para os diferentes tipos de tratamento 61
Figura 10: Utilização da capacidade de preparo tipo I, considerando-se 62
Figura 11: Utilização da capacidade de preparo tipo II, considerando-se 62
Figura 12: Utilização da capacidade dos leitos, considerando-se 63
Figura 13: Frequência da alocação de espaços para os diferentes tipos de tratamento 65
Figura 14: Desvios na alocação de espaços para os diferentes tipos de tratamento 65
Figura 15: Utilização da capacidade dos leitos para a alocação de 70 espaços na escala pelo modelo de recursos escassos e pelo modelo com considerações empíricas sem restrição da equipe de enfermagem 66
Figura 16: Escala de agendamento para alocação de setenta pacientes resultante do modelo com considerações empíricas sem restrição de capacidade da equipe de enfermagem (sem desvios da frequência história de alocação) 67
Figura 17: Desvios na alocação de espaços para os diferentes tipos de tratamento para o modelo com considerações empíricas e para o modelo com considerações empíricas e com restrição de capacidade da equipe de enfermagem 68

Figura 18: Utilização da capacidade da equipe de enfermagem para a alocação de 70 pacientes através do modelo com considerações empíricas e do modelo com considerações empíricas e com restrição de capacidade da equipe de enfermagem 69
Figura 19: Utilização da capacidade de preparo de pacientes pelos enfermeiros da equipe para a alocação de 70 pacientes através do modelo com considerações empíricas e do modelo com considerações empíricas e com restrição de capacidade da equipe de enfermagem 69
Figura 20: Utilização da capacidade dos leitos para a alocação de 70 espaços na escala pelo modelo com considerações empíricas e pelo modelo com considerações empíricas e com restrição de capacidade da equipe de enfermagem 70
Figure 21: Escala de agendamento para alocação de setenta pacientes resultante do modelo com considerações empíricas com restrição de capacidade da equipe de enfermagem (sem desvios da frequência história de alocação) 71
Figura 22: Relação de desvios na escala de agendamento em função do número de espaços alocados na agenda para o modelo multiobjetivo ε-restrito 73
Figura 23: Relação de desvios na escala de agendamento 75
Figura 24: Utilização dos leitos 75
Figura 25: Utilização da capacidade de preparo dos enfermeiros 76

Lista de Tabelas

Tabela 1: Relação de principais fatores considerados nas análises de alguns estudos 29
Tabela 2: Tipos de tratamento de acordo com o tipo de preparo dos medicamentos 32
Tabela 3: Tipos de tratamento para uma clínica hipotética com dois tipos de preparo de medicamento.....33
Tabela 4: Capacidade de preparo de medicamentos do tipo I e II 36
Tabela 5: Nível de atenção requerido por paciente de acordo com 41
Tabela 6: Notação da modelagem do problema de proposição de escala de agendamento 44
Tabela 7: Notação complementar para o modelo com considerações empíricas.....47
Tabela 8: Média de frequência de ocorrência dos diferentes tipos de tratamento quimioterápicos 57
Tabela 9: Capacidade elevada em 15% de preparo de medicamentos do tipo I e II.....74

Sumário

1 Introdução.....10

1.1 Estrutura do Trabalho.....11

2 Revisão Bibliográfica.....12

2.1 Soluções por Métodos Analíticos.....16

2.1.1 Agendamento off-line.....16

2.1.2 Agendamento online.....21

2.2 Soluções por Simulações.....27

2.3 Soluções por métodos empíricos.....28

2.4 Oportunidades no tema.....29

3 A jornada do paciente no Ambulatório Borges da Costa.....31

3.1Procedimento para agendamento de sessões de quimioterapia no Ambulatório Borges da Costa.....31

3.2Procedimento de atendimento ao paciente em dia de infusão mediante agendamento no Ambulatório Borges da Costa.....35

3.3 Cenário considerado na abordagem computacional adotada.....38

4 Modelos determinístico de elaboração de escala para sessões de quimioterapia.....39

4.1Definição do problema.....39

4.2Modelo de programação linear inteira.....42

4.2.1Modelo monobjetivo.....42

4.2.1.1Modelo monobjetivo de recursos escassos.....43

4.2.1.2Modelo monobjetivo com considerações empíricas.....46

4.2.2Modelo multiobjetivo.....50

4.3 Resumo dos modelos propostos.....55

5 Experimentos Computacionais.....57

5.1Modelo monobjetivo de recursos escassos.....59

5.2Modelo monobjetivo com considerações empíricas.....64

5.3Modelo com considerações empíricas com restrição de capacidade da equipe de enfermagem.....68

5.4Modelo multiobjetivo 71
5.5 Cenário com maior capacidade..... 73
6 Conclusão..... 78
6.1 Sugestões ao Ambulatório Borges da Costa.....81
7 Sumário..... 83
8 Bibliografia.....85

1. Introdução

O câncer é uma das principais causas de óbito no mundo. Em 2012, diagnosticou-se 14 milhões de novos casos e 8,2 milhões de óbitos relacionados ao câncer (WHO – Cancer, 2016). A demanda por serviços oncológicos tende a aumentar nos próximos anos, incentivada pelo envelhecimento e aumento da população e, também, pelo aumento das taxas de eficácia dos tratamentos. A expectativa é que, entre 2005 e 2020, a demanda por esses serviços tenha crescido em 48% (Erikson et al., 2007). Além disso, as transições demográficas e epidemiológicas globais sinalizam um impacto cada vez maior dos casos de câncer nas próximas décadas (FERLAY et al., 2013).

Atualmente no Brasil, dada suas dimensões continentais e fortes diferenças regionais, com uma população de comportamentos, crenças e atitudes diversificados, a prevenção e o controle do câncer representa um dos grandes desafios enfrentados pela saúde pública. Segundo dados do Instituto Nacional de Câncer (Inca), estima-se para o Brasil, no biênio 2018-2019, a ocorrência de 600 mil casos novos de câncer por ano.

Cada tipo de câncer requer um tratamento específico, o qual pode englobar cirurgia, radioterapia e/ou quimioterapia (WHO – Cancer, 2016). A demanda pelo tratamento quimioterápico é crescente também por atender a uma maior variedade de cânceres do que previamente e pelo crescente uso da quimioterapia paliativa (Petrioli et al., 2003).

Tendo-se isso em vista, faz-se necessário o planejamento de atendimentos em clínicas públicas de tratamento de quimioterapia com o objetivo de maximização de suas capacidades de atendimento e, simultaneamente, garantia da qualidade do serviço oferecido. O problema enfrentado por centros de tratamento de quimioterapia é a alocação de recursos, enquanto respeitando-se as limitações específicas do tratamento quimioterápico.

O presente trabalho foi desenvolvido em conjunto com o Ambulatório Borges da Costa na Unidade de Hematologia e Oncologia do Hospital das Clínicas da UFMG, sendo seu objetivo a investigação da capacidade de atendimento deste centro de tratamento e a proposição de uma escala eficiente de agendamento de pacientes para sessões de quimioterapia. Essa escala deve

refletir uma eficiente alocação de recursos do ambulatório e as limitações operacionais relatadas pelos funcionários da área.

Existem hoje dezesseis tipos de tratamentos quimioterápicos realizados no Ambulatório Borges da Costa. As variações entre estes consistem no tipo de preparo dos medicamentos administrados e em seus tempos de infusão, havendo dois métodos de preparo de medicamentos quimioterápicos e oito possíveis tempos de infusão de medicamentos. A ferramenta para agendamento das sessões dos pacientes é a escala de agendamento, que consiste em horários alocados para cada tipo de tratamento. Elaborada a escala para um dado dia, o agendamento do paciente ocorre posteriormente. De acordo com a demanda apresentada por cada paciente que se dirige ao ambulatório para agendamento, é atribuído a este um horário na escala, tal que haja consistência entre o tipo de tratamento solicitado e o espaço alocado para este tratamento na escala.

Objetiva-se a maximização da capacidade de atendimento do centro de tratamento, enquanto se considera o perfil dos pacientes atendidos pela unidade e seus recursos limitados, sendo estes a disponibilidade de leitos, a capacidade de manipulação dos medicamentos requeridos e a mão de obra da equipe de enfermagem.

1.1 Estrutura do Trabalho

A seguir é apresentada a Revisão da Bibliografia, na qual relaciona-se trabalhos com diferentes abordagens para a tratativa de problemas de alocação de recursos no atendimento a pacientes. No capítulo três, encontra-se a descrição do cenário do setor de quimioterapia do Ambulatório Borges da Costa. Em seguida, descreve-se o problema a ser tratado e o modelo proposto para sua solução no capítulo quatro. No capítulo cinco, são apresentados os resultados dos experimentos computacionais e a análise destes. Por fim, tem-se a conclusão no capítulo seis e o sumário no capítulo sete.

2. Revisão Bibliográfica

Problemas de agendamento de pacientes vêm sendo estudados desde o artigo pioneiro de Bailey (1952) e uma ampla revisão da literatura pode ser encontrada nos trabalhos de Cayirli & Veral (2003), Gupta & Denton (2008) e Ahmadi-Javid et al. (2017). De acordo com Cayirli & Veral (2003), sistemas eficazes de agendamento de pacientes têm como objetivo gerenciar demanda e capacidade de atendimento, de tal modo que os recursos necessários sejam mais bem alocados e o tempo de espera dos pacientes, minimizado.

O agendamento de pacientes para consultas em hospitais, clínicas e unidades ambulatoriais para a realização de procedimentos e exames é de alta complexidade. Isso porque envolve tanto a alocação de recursos escassos, quanto incertezas inerentes a esses ambientes e processos e, além disso, seu sucesso está associado ao atendimento a múltiplos objetivos, que, muitas vezes são conflitantes . Recursos como enfermeiros, medicamentos, médicos e leitos precisam ser alocados de modo a alcançar-se o máximo nível de atendimento, enquanto respeitando-se limites para o tempo de espera dos pacientes, bem como para o funcionamento em horas extras dos centros médicos. Quanto à taxa de ocupação dos leitos há, inclusive, a orientação da Agência Nacional de Saúde Suplementar para que esta esteja entre 75% e 85%. A taxa de ocupação acima desta preconizada está associada com o aumento de eventos adversos, infecção hospitalar e diminuição da segurança do ambiente assistencial. Já a taxa abaixo de 75% indica baixa utilização e ineficiência da gestão hospitalar e repercute, inclusive, em baixa satisfação dos clientes.

A esse cenário, somam-se os atrasos de pacientes, médicos e enfermeiros, o prolongamento de sessões para além dos horários agendados, o não comparecimento de pacientes e a política de overbooking.

Avaliando-se ambulatórios que realizam tratamentos quimioterápicos, há ainda desafios específicos no processo de agendamento de pacientes. Em um tratamento quimioterápico, o médico oncologista determina um plano de tratamento ao paciente, no qual se define o número de sessões de quimioterapia a ser realizado, os medicamentos a serem administrados nas

infusões, o tempo de duração destas e o intervalo entre as sessões. Essa especificidade de cenário já foi também bastante explorada na literatura.

Como apresentado em Sevinc et al. (2013), o problema do regime de agendamento de pacientes para sessões de quimioterapia diferencia-se dos demais problemas de agendamento de pacientes, exatamente porque a execução de um plano de tratamento quimioterápico normalmente estende-se por alguns meses, sendo um problema de agendamento cíclico. Turkcan et al. (2012) destacam, por sua vez, a importância da aderência dos agendamentos de cada paciente ao plano de tratamento determinado pelo médico oncologista, uma vez que atrasos em relação a este diminuem sua eficácia. Segundo Sevinc et al. (2013), alterações nos planos de tratamento dos pacientes devido à alteração da condição de saúde do paciente também são comuns. Além disso, o problema de agendamento de pacientes para sessões de quimioterapia tem alto grau de complexidade também devido às incertezas em relação ao tempo demandado de infusão para cada paciente e à possibilidade da necessidade de reagendamento da sessão do paciente por este não se encontrar em condições de saúde para realizá-la no dia pré-determinado.

Griggs et al. (2012) destacam outra particularidade do tratamento quimioterápico: a importância de se seguir o procedimento determinado pelo médico oncologista, tanto em relação à dosagem de medicamentos, quanto em relação à frequência. Esta fonte destaca que há evidências que a redução das doses padrão de medicamento e da intensidade destas podem comprometer a sobrevivência do paciente. Adicionalmente, Leonard et al. (2003) afirmam que um atraso no recebimento da quimioterapia reduz a intensidade da dose recebida. Segundo esta fonte, determinou-se que cada sete dias de atraso reduz a intensidade da dose recebida em 5%.

A Figura 1 apresenta de forma resumida a grande complexidade envolvida especificamente no tratamento quimioterápico, tema do presente trabalho.

Figura 1: Complexidade envolvida nos tratamentos quimioterápicos e nas clínicas de tratamento

De acordo com Gesell & Gregory (2004), as prioridades para a melhoria do atendimento em clínicas de tratamento contra o câncer são a diminuição do tempo de espera nas clínicas e a diminuição do espaço de tempo entre o primeiro contato do paciente com a clínica e a primeira consulta agendada.

Além disso, há sempre particularidades operacionais de cada clínica médica que adiciona complexidade ao agendamento de pacientes, quer seja para tratamentos de quimioterapia, quer seja para demais agendamentos médicos. Diante da complexidade própria de cada clínica médica e da complexidade do tipo de agendamento investigado, o estudo do agendamento de pacientes requer, primeiramente, a determinação dos aspectos que serão efetivamente considerados na análise. Essa decisão está intimamente relacionada à metodologia a ser utilizada nas pesquisas. Essas podem ser: simulações, métodos analíticos e métodos empíricos. Artigos que utilizam essas abordagens serão apresentados a seguir, sendo que nestes foram identificadas maiores semelhanças com as exigências associadas ao problema de determinação de escala para sessões de quimioterapia. A relação destes trabalhos, destacando-se as diferentes metodologias utilizadas, é apresentada na Figura 2.

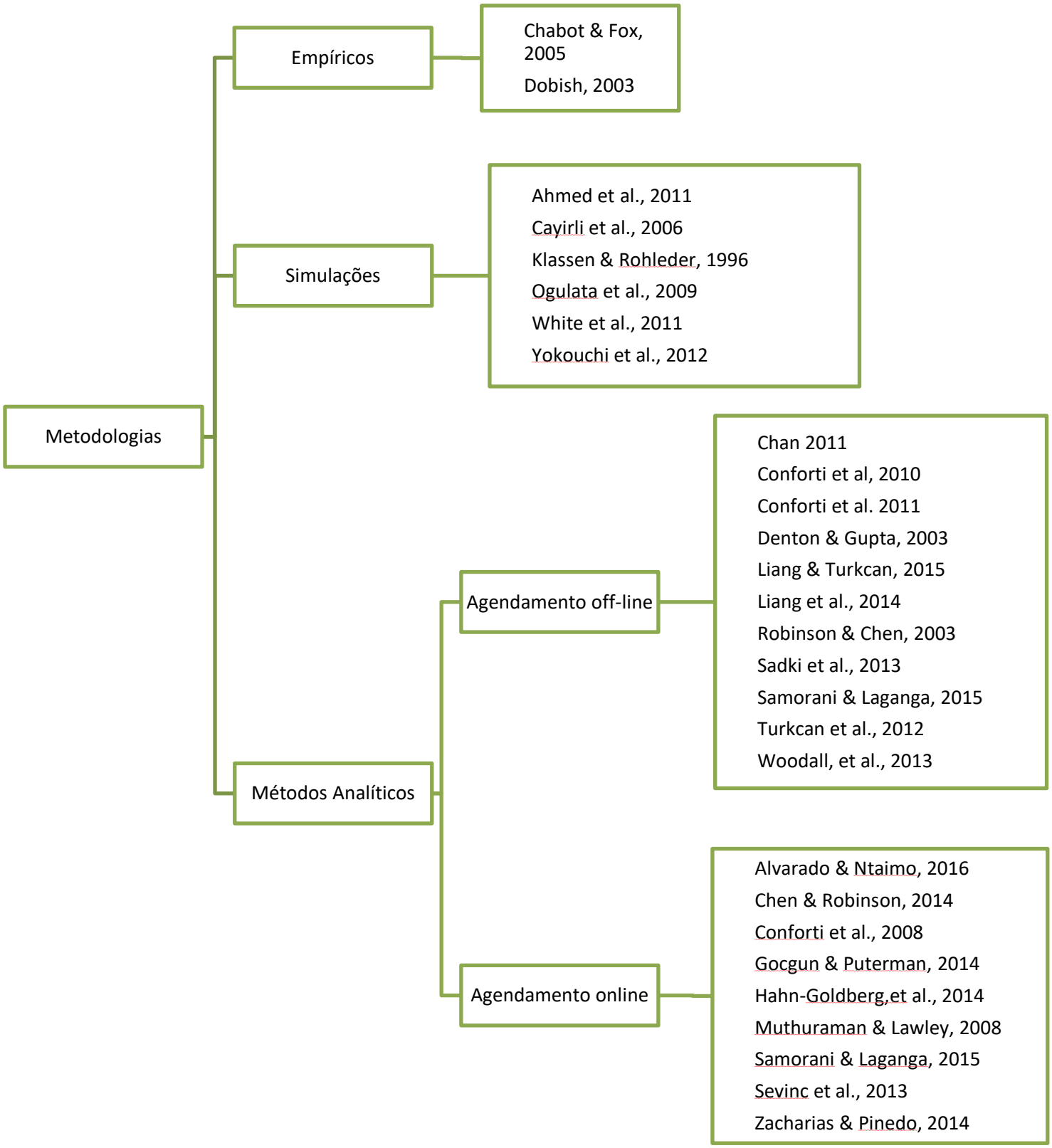


Figura 2: Relação de trabalhos na área de agendamentos de pacientes e abordados neste trabalho

Importante destacar que não foram encontrados na literatura trabalhos que tenham a mesma abordagem aos problemas aqui endereçados. Na literatura, discute-se largamente, no cenário das clínicas de quimioterapia, a necessidade variada da atenção por parte dos enfermeiros, enquanto a capacidade de manipulação dos medicamentos não é, em geral, considerada limitante. A utilização de escalas de agendamento é discutida apenas no trabalho de Hahn-Goldberg et al. (2014). Além disso, este trabalho objetiva endereçar os problemas e realidade específicos do Ambulatório Borges da Costa, o que o torna singular.

2.1 Soluções por Métodos Analíticos

Os métodos analíticos consistem na descrição de um cenário na forma de um modelo matemático, no qual se aplica raciocínios dedutivos da matemática para sua resolução.

As abordagens dos métodos analíticos para a solução de problemas de agendamento de pacientes podem ser categorizadas, ainda, entre aquelas de agendamento online ou off-line. A abordagem para os problemas de agendamento de pacientes pode envolver o agendamento no momento em que o paciente entra com a requisição pela consulta, de modo que não se tem conhecimento de todo o grupo de pacientes a serem agendados. Este método é o de agendamento online. Já o agendamento off-line ocorre quando os pacientes recebem seus horários de consulta após a clínica obter informações de todo o conjunto de pacientes a serem agendados. Esta última abordagem leva a melhores resultados, ainda que seja menos prática para o paciente. Em termos de metodologia de solução de problemas de agendamento de pacientes, a distinção entre os métodos online e off-line é determinante, uma vez que delimitam quais variáveis e incertezas de um ambiente ambulatorial podem ser consideradas na análise através destes métodos.

Trabalhos que, através de Métodos Analíticos, exploram estas duas diferentes abordagens do problema em questão são apresentados a seguir.

2.1.1 Agendamento off-line

Como citado anteriormente, o agendamento de sessões de quimioterapia dá-se após visita a um médico oncologista, o qual determina o plano de tratamento do paciente. Além disso, o paciente também precisa estar apto a receber a sessão de quimioterápicos no dia de sua sessão. A

avaliação da capacidade de realizar o tratamento no dia pré-determinado é realizada, também, em alguns casos através de consultas com os médicos oncologistas. Assim, em muitos cenários, o paciente realiza no mesmo dia a consulta ao médico oncologista e a infusão quimioterápica, sendo necessária a realização de agendamento para estes dois momentos.

Este é o cenário explorado por Sadki et al. (2013),os quais estudam o agendamento de pacientes tanto para consultas com seus oncologistas, quanto para sessões de quimioterapia. O problema é tratado através de programação inteira mista. O modelo proposto determina o horário de início do atendimento do oncologista, o horário de atendimento de cada paciente pelo oncologista e o horário de início do procedimento de infusão dos medicamentos de quimioterapia. Objetiva-se a minimização da combinação ponderada do tempo de espera do paciente e do tempo total de atividade da clínica. Assume-se a premissa que o paciente encontra-se com o oncologista assim que chega à clínica e inicia sua sessão de quimioterapia logo após o fim de sua consulta médica, sendo que a duração desta varia de acordo com a situação do paciente. Considera-se que há suficiente capacidade de preparação dos medicamentos e número de enfermeiros para preparo e acompanhamento dos pacientes durante a infusão quimioterápica. Assim, não se considera suas disponibilidades como fatores que limitam a capacidade de atendimento da clínica. A alocação dos horários dos pacientes obtida pelo modelo é, então, a melhor distribuição da utilização da capacidade da clínica, dadas as considerações realizadas.

Liang et al. (2014) também consideram o agendamento da consulta médica previamente à realização da sessão de quimioterapia. Através de um modelo de programação inteira mista, objetivam atingir uma distribuição homogênea da utilização da capacidade da clínica ao longo do dia. A melhor distribuição obtida tem o impacto positivo de diminuição do tempo de espera dos pacientes e do tempo total de funcionamento da clínica. Para efeito de comparação com o cenário anterior ao estudo, desenvolveu-se um modelo de simulação de eventos discretos, no qual se considera as incertezas do ambiente de uma clínica. As simulações computacionais, como será abordado mais adiante, não se baseiam em otimizações de cenários, mas, sim, como o próprio nome diz, na simulação destes, dadas as características do ambiente mapeadas para o simulador.

Outra abordagem computacional para a solução de problemas de agendamento é a programação linear estocástica. Esta incorpora incertezas na modelagem através de variáveis aleatórias com

distribuição de probabilidade conhecida. Robinson & Chen (2003) utilizam essa abordagem, recorrendo ao modelo de Monte Carlo para solucionar o problema. Nesse modelo, um grande volume de amostragens aleatórias é utilizado para se obter resultados numéricos para o problema. Os pacientes são considerados homogêneos, isto é, ao tempo de espera de todos é atribuído o mesmo valor. Por outro lado, admite-se que existem variações no tempo de atendimento aos pacientes. As soluções ótimas resultam em um tempo de intervalo entre as consultas crescente ao longo do dia, enquanto a partir de um determinado momento, esse intervalo é reduzido gradativamente até o fim do horário de atendimento. Esse padrão de abóbada é utilizado como base para uma heurística simples proposta.

Também através de programação estocásticas, Denton & Gupta (2003) trabalham o problema de agendamento de pacientes com tempos de consulta incertos. Assim como em Robinson & Chen (2003), observa-se, nos agendamentos ótimos, o padrão de abóbada para os intervalos entre as sessões, sendo que essa característica acentua-se à medida que a razão entre os custos do tempo ocioso do médico e do tempo de espera do paciente aumenta.

Como destacado anteriormente, ambientes ambulatoriais buscam a conciliação de objetivos diversos e, por vezes, conflitantes. Existe uma classe de modelos de otimização que consideram múltiplas funções objetivo e estes, em geral, baseiam-se no reconhecimento de que nos problemas reais existem múltiplas óticas para se avaliar o mérito das soluções admissíveis. No cenário de determinação dos horários das sessões de quimioterapia em um dado dia, Liang & Turkcan (2015) desenvolvem um modelo de otimização multiobjetivo de minimização do tempo de espera dos pacientes e da carga horária extra total dos enfermeiros. Considera-se que existe variação dentre os pacientes quanto ao nível de atenção requerido e dentre os enfermeiros quanto à capacidade de atendimento.

Chan (2011) propõe um modelo de otimização para determinação do melhor agendamento diário de um grupo de pacientes, atribuindo-lhes leito, horário da sessão de quimioterapia e o enfermeiro responsável. A técnica utilizada é a de otimização inversa, de modo a se considerar as preferências da equipe de enfermagem no agendamento de pacientes para sessões de quimioterapia. O conhecimento empírico dessa equipe permite, então, se aproximar o agendamento ótimo à realidade da clínica.

Woodall et al. (2013), com base em simulações que apontaram a disponibilidade de enfermeiros um sério entrave ao fluxo de pacientes, propõe um modelo de programação inteira mista para otimizar a agenda de enfermeiros, de modo a minimizar o tempo de espera dos pacientes.

Turkcan et al.(2012) consideram os planos de tratamento de cada paciente e buscam respeitá-los, uma vez que estes são estabelecidos de modo a se maximizar o efeito da quimioterapia. Trata-se de um trabalho que aborda uma grande gama de complexidades envolvidas no ambiente de ambulatórios de tratamento quimioterápico e, por isso, descreve-se aqui, com mais detalhes, o trabalho. Propõe-se o agendamento de pacientes para sessões de quimioterapia em duas etapas: o planejamento dos dias das sessões seguido pelo agendamento dos horários das sessões do paciente para os dias pré-estabelecidos. Considera-se o nível de acuidade requerido por cada paciente, de modo a se garantir que a equipe de enfermagem tenha capacidade de atender satisfatoriamente os pacientes. Assim, a carga total de trabalho atribuído a cada enfermeiro não ultrapassará um limite máximo pré-estabelecido. A função objetivo da fase de planejamento minimiza o tempo extra e o tempo ocioso da capacidade da clínica e o atraso no agendamento da primeira sessão de novos pacientes. O tempo extra de funcionamento da clínica e o tempo ocioso são medidas aproximadas com base na capacidade total da clínica, sendo que a sua determinação exata só será possível na fase de agendamento. A penalização pelo atraso no agendamento da primeira sessão dos pacientes é variável de acordo com o nível de prioridade de cada paciente. Assim, por exemplo, o atraso no agendamento das sessões de pacientes em estado mais avançado do câncer envolve maior penalização, do que daqueles que ainda estão nos estágios iniciais da doença. As sessões seguintes à primeira são determinadas de acordo com os intervalos estabelecidos pelo oncologista. O horizonte de tempo da fase de planejamento é de semanas ou meses. Os dados obtidos através do planejamento, ou seja, os dias das sessões, o nível de acuidade de cada paciente e o tempo requerido do enfermeiro por paciente, são a entrada para o problema de agendamento. Este, por sua vez, atribui o horário, o enfermeiro e o leito a cada paciente. Para o agendamento apresenta-se dois modelos de otimização de programação inteira e uma heurística. O horizonte de tempo do agendamento são intervalos de tempo associados a cada dia de funcionamento da clínica. Estabelece-se que cada enfermeiro pode começar apenas uma sessão de infusão por cada um desses intervalos de tempo. A função o objetivo dos modelos de otimização minimiza o tempo total de funcionamento da clínica diariamente. O primeiro modelo considera leitos e enfermeiros como recursos limitados, enquanto

o segundo considera apenas a equipe de enfermagem como recurso limitante. Já a heurística que requer menos tempo computacional, baseia-se no agendamento dos pacientes em ordem decrescente de tempo de sessão, mas sempre se respeitando o nível total máximo de acuidade que cada enfermeiro pode manejar. Além disso, é proposto um algoritmo de horizonte deslizante de modo que o planejamento e o agendamento sejam feitos dentro dos intervalos de tempo necessários de acordo com as necessidades da clínica. Para a análise dos modelos propostos, trabalhou-se com dados de pacientes gerados de acordo com a probabilidade de incidências de diferentes tipos de câncer. Essa análise evidenciou uma limitação do modelo, que é a grande variabilidade na carga horária diária, de modo que alguns dias são mais sobrecarregados do que outros. Os modelos propostos podem também ser utilizados para a determinação do número ótimo de enfermeiros.

O tratamento contra o câncer por radioterapia apresenta grande semelhança em termos de complexidade à quimioterapia. Para o agendamento de pacientes para o tratamento via radioterapia, Conforti et al. (2008, 2010, 2011) consideram, também, o impacto negativo da espera pelas sessões, propondo modelos que maximizem o número de pacientes atendidos e, portanto, minimizem o tempo de permanência na lista de espera pelo tratamento. Nesses trabalhos os pacientes são classificados de acordo com a gravidade de seus casos e os agendamentos respeitam, prioritariamente, essa classificação e, na sequência, a ordem do pedido pelo tratamento. Os tratamentos de radioterapia devem ocorrer em dias consecutivos e podem seguir por semanas consecutivas. O trabalho de Conforti et al. (2008) será discutido na seção seguinte, por envolver agendamento online.

Conforti et al. (2011) expandem o trabalho de Conforti et al. (2008), considerando na análise a disponibilidade dos pacientes e permitindo que um número menor de sessões de cada paciente seja executado em dias consecutivos. Além disso, os modelos são de agendamento off-line. As análises de desempenho destes são feita através de dados gerados aleatoriamente e de dados reais de uma clínica de radioterapia.

Conforti et al. (2010) trabalham com um modelo de programação linear e adotam a abordagem off-line, sob a argumentação que a existência da lista de espera permite a adoção dessa metodologia. Considera-se a variação do tempo de atendimento por paciente. Permite-se o

reagendamento de pacientes e considera-se que os tratamentos agendados por paciente devem ocorrer todos em dias consecutivos.

2.1.2 Agendamento online

Como destacado anteriormente, os trabalhos agora apresentados consideram que os agendamentos são realizados online, ou seja, desconhece-se todo o grupo de pacientes para agendamento no momento efetivo do agendamento.

Conforti et al. (2008) propõe dois modelos de otimização para endereçar o problema de agendamento de pacientes para sessões de radioterapia. Os modelos são desenvolvidos para o agendamento online, sendo que um dos modelos propostos não permite a alteração de horário de pacientes com o tratamento já iniciado, enquanto o outro o permite, caso essa estratégia eleve o número de pacientes atendidos. Os resultados obtidos mostram que este último modelo resulta em melhor desempenho, uma vez que diminui o tempo de espera dos pacientes, quando comparado ao resultado do primeiro modelo.

Sevinc et al. (2013) trabalham o problema do agendamento de pacientes em tratamento quimioterápico considerando-se que a clínica realiza testes laboratoriais nos pacientes no dia anterior ao início das sessões, de modo a certificar-se que o paciente esteja apto ao tratamento. O agendamento destes testes é feito de modo a se balancear a utilização da capacidade da clínica ao longo dos dias e procura-se respeitar o planejamento determinado para o paciente. Considera-se que a disponibilidade do leito é o recurso escasso. Discorre-se brevemente sobre este trabalho, de modo a se esclarecer uma opção de metodologia online de agendamento.

A modelagem desse problema é dividida, então, em duas fases. A primeira fase consistindo no agendamento dos testes laboratoriais e a segunda na atribuição de horário e leito para cada paciente. A fase de agendamento de testes laboratoriais tem como função objetivo a maximização da utilização da capacidade da clínica. Uma vez que é possível que um grande número de postergações de sessões convirja para um dia específico, trabalhou-se com um algoritmo adaptativo com feedback negativo. A lógica do feedback negativo é a seguinte: uma vez que se tem sucesso no agendamento para os testes laboratoriais, o sistema não está sobrecarregado e, então, a utilização da capacidade da clínica está abaixo da meta estabelecida, de modo que os agendamentos podem seguir. Caso se identifique que uma parcela dos pedidos

para agendamento dos testes laboratoriais não é satisfeita, então o sistema está sobrecarregado e diminui-se a taxa de agendamento de pacientes. Desse modo, o mecanismo de feedback negativo permite se alcançar um equilíbrio da utilização da capacidade da clínica em torno da meta estabelecida. Para os pacientes que realizarem os testes laboratoriais, segue-se a fase de atribuição de leito e horários das sessões. Para esse problema adota-se a abordagem on-line e o objetivo das heurísticas propostas é minimizar o tempo de espera dos pacientes no dia de suas sessões. Uma das heurísticas propostas busca o agendamento de modo que a capacidade restante dos leitos possa atender a média de tempo dos pacientes. Por outro lado, a segunda heurística faz o agendamento do paciente para os leitos com menor tempo restante disponível. As simulações executadas mostram que, para os dados utilizados, de fato, a taxa de utilização da capacidade da clínica converge para a meta estabelecida. Além disso, a segunda heurística mostra melhor desempenho do que a primeira.

Assim como Turkcan et al.(2012), Gocgun e Puterman (2013) consideram os planos de tratamento de cada paciente e buscam respeitá-los.

Gocgun & Puterman (2013) propõem a abordagem do problema de agendamento de pacientes para sessões de quimioterapia dentro de seus planos de tratamento específicos através do Processo de Decisão de Markov (MDP). O MDP é utilizado exatamente para se modelar situações onde é necessário executar ações em sequência em ambientes com incertezas. Recorre-se à Programação Dinâmica Aproximada e, através de simulações, compara-se o desempenho da metodologia proposta àquele de heurísticas simples descritas no trabalho. Propõe-se que, ao final de cada dia de expediente, recorra-se ao modelo para o agendamento dos pacientes que solicitaram um agendamento naquele dia. Foca-se no agendamento de pacientes que já estão em tratamento e os dados de entrada do modelo são o dia específico desejado para o agendamento e o intervalo de dias de tolerância para esse agendamento. Considera-se que o agendamento de pacientes fora dos seus limites de tolerância especificados, bem como o agendamento de pacientes em horas extras e algum eventual não agendamento acarretam em custos e o objetivo do modelo é a minimização desse custo total. O estudo não considera cancelamentos, variações nos tempos de sessões e também não aborda a análise e decisão da capacidade a ser reservada para novos pacientes.

Hahn-Goldberg et al. (2014) abordam o problema de agendamento de pacientes para sessões de quimioterapia através da criação de uma escala dinâmica, que é atualizada sempre que necessário. Este trabalho apresenta grande semelhança à abordagem adotada no presente trabalho e, por isso, discorre-se mais profundamente sobre a técnica utilizada e considerações adotadas.O modelo proposto segue três fases e é focado na ordenação diária de pacientes, considerando-se que um processo externo determina o dia de tratamento de cada paciente. A rotina de atendimento de um paciente envolve três estágios: 1) A preparação da medicação pelos farmacêuticos, sendo este o recurso escasso dessa fase; 2) O preparo do paciente para o tratamento, sendo os enfermeiros e leitos os recursos escassos considerados; 3) O tratamento em si, sendo os enfermeiros e leitos os recursos considerados. A demanda por enfermeiros deve-se à necessidade de acompanhamento dos pacientes durante as sessões quimioterápicas.

O modelo proposto trabalha o problema em três fases: 1ª) Fase off-line, em que se estabelece uma escala para a agenda do dia; 2ª) Fase online, em que os pacientes são inseridos nos horários disponíveis na escala; 3ª) Fase de reacomodação, em que pequenos deslocamentos de sessões são feitos para se acomodar cancelamentos e pacientes não esperados. A fase off-line utiliza informações obtidas em um centro médico como base de dados para a geração do grupo teórico de pacientes a serem atendidos em um dado dia. Esse grupo fictício de pacientes é agendado, de modo a se respeitar a restrição da capacidade de atendimento de cada enfermeiro e de manipulação dos medicamentos. Cada enfermeiro pode ser responsável por acompanhar, no máximo, quatro pacientes em cada momento, sendo que apenas um destes pode estar na fase de preparação para o início do tratamento do dia. Além disso, cada farmacêutico pode preparar apenas um medicamento por intervalo de tempo. O objetivo desse agendamento off-line teórico é o estabelecimento do horário de início de tratamento para todos os pacientes, de modo a se criar uma escala, que será utilizada como base para reais agendamentos.

A fase online refere-se ao recebimento real de pedidos de agendamento e o estabelecimento do horário, leito e enfermeiro designados para o paciente. Caso haja compatibilidade entre o tempo de tratamento requerido pelo paciente e algum dos disponíveis na escala, agenda-se o paciente. Caso contrário, outra escala é criada, respeitando-se os horários com pacientes já agendados, e, então, pode-se seguir com o agendamento. Nessa fase considera-se que o tempo de preparo do paciente para a sessão de quimioterapia é de 15 minutos e o tempo de preparo do medicamento

pelos farmacêuticos é de 30 minutos. A fase final do modelo objetiva acomodar incertezas inerentes ao processo, como cancelamentos e pedidos de agendamento tardios. Propõe-se um algoritmo que permite o deslocamento do horário de início da sessão dos pacientes, de modo a se acomodar melhor essas potenciais mudanças. Como cada paciente é orientado a chegar à clínica uma hora antes de seu tratamento e o tempo de preparo do medicamento é de 30 minutos, permite-se que os pacientes tenham suas sessões deslocadas em, no máximo, 30 minutos, de modo a não se gerar insatisfações por parte deste. Os experimentos desenvolvidos mostram que essa abordagem apresenta desempenho pior do que a off-line, entretanto incorre em grande melhoria frente às práticas da clínica estudada previamente ao estudo em questão. O modelo apresenta limitações, uma vez que, naturalmente, não trabalha com todas as especificações desse tipo de agendamento. Não se considera a variação do tempo de sessão de cada paciente em relação ao esperado, nem a possibilidade de pacientes chegarem atrasados ou adiantados. Também se negligencia o fato de a necessidade de atenção requerida por cada paciente por parte da equipe de enfermagem ser variável.

Tendo-se em vista as incertezas envolvidas no funcionamento de clínicas de quimioterapia, Alvarado & Ntaimo (2016) propõem três modelos de programação linear estocástica para o agendamento de pacientes para sessões de quimioterapia. Considerando-se o tratamento específico de cada paciente, os modelos agendam a primeira sessão de infusão e todas as demais requeridas pelo oncologista, considerando-se o espaçamento entre estas. Além disso, os modelos atribuem o enfermeiro, o leito e o horário específico do paciente em seus dias de tratamento. As medidas de desempenho são o espaçamento entre a requisição do agendamento da primeira sessão pelo paciente e a sessão em si, o tempo de espera do paciente no dia da sessão, o tempo decorrente entre a chegada do paciente na clínica e sua saída, o número de atendimentos por dia e o tempo extra da equipe de enfermagem. Considera-se que cada enfermeiro só pode iniciar uma sessão por vez, mas pode ser responsável pela supervisão de mais de um paciente simultaneamente, desde que o nível total de acuidade a ele atribuído não ultrapasse um valor limite pré-estabelecido. As variáveis estocásticas são: 1) o tempo de duração de cada infusão, sendo este considerado finito e discreto; 2) o nível de acuidade de cada paciente, sendo estabelecidos três níveis; 3) o número de enfermeiros disponíveis, considerando-se que apenas um poderá faltar às suas funções por dia. Considera-se que o oncologista atribui o nível de acuidade de cada paciente e que o nível máximo de acuidade que pode ser manejado

por cada enfermeiro é um dado do sistema. Considera-se que todos os enfermeiros têm mesma habilidade e que o dia é dividido em intervalos de tempo de duração fixa, sendo o horizonte de tempo finito. Os conflitos de agendamento podem ser: horas extras, enfermeiros responsáveis por maior grau total de acuidade do que o pré-estabelecido, sobreposição de agendamento e atribuição de inícios de sessões a enfermeiros que não estão disponíveis. O trabalho trata a questão do agravamento da condição de saúde do paciente acarretada pelo atraso no início do tratamento atribuindo um peso, λ, a esse impacto e propondo três modelos. O primeiro modelo proposto é neutro ao risco ($\lambda=0$), de modo que não impõe um parâmetro para o atraso aceitável. Os outros dois modelos são avessos ao risco, sendo que um estabelece o excesso esperado de atraso no agendamento do paciente (EE), e o outro trabalha com a média do atraso esperado (ASD). A solução dos modelos é dividida em dois estágios. Ao trabalhar-se com a aversão ao risco, atribui-se a cada paciente um peso, λ, associado aos impactos do atraso no agendamento. No primeiro estágio, objetiva-se minimizar-se o atraso no agendamento da primeira sessão, em seguida, preencher-se o agendamento dos dias de acordo com a ordem de prioridade dos pacientes e, por fim, minimizar-se o valor esperado para os conflitos possíveis. O segundo estágio é focado na minimização da soma das penalidades associadas aos conflitos apresentados. Através de simulação, analisa-se o desempenho dos modelos em diferentes cenários: 1) O desempenho dos três modelos frente ao modelo ASAP- que agenda todo paciente o mais rapidamente possível, sem considerar disponibilidade de leitos e de enfermeiros; 2) O impacto do limite máximo imposto no modelo EE para o atraso nos agendamentos; 3) O impacto da variação do peso λ.

Chen & Robinson (2014) trabalham com o sistema heterogêneo de agendamento de pacientes de rotina e pacientes que fazem o pedido do atendimento no mesmo dia da potencial consulta. Objetiva-se, através do tratamento do problema, a minimização da somatória dos custos associados ao tempo de espera do paciente, ao tempo ocioso do médico e às horas extras executadas por este. Um modelo estendido proposto também penaliza o tempo indireto de espera do paciente que entra em contato com a clínica no mesmo dia em que deseja a consulta. Este tempo de espera refere-se ao tempo decorrido entre o horário da ligação e o horário da consulta marcada. Sendo o sistema de agendamento híbrido, certa capacidade de atendimento é reservada para estes pacientes que fazem o pedido da consulta no mesmo dia desta. Estes pacientes têm diferentes probabilidades de pedirem o agendamento. O modelo simplificado

proposto considera que toda esta capacidade é utilizada. Um modelo mais abrangente considera tanto o potencial não comparecimento dos pacientes (maior probabilidade associada a pacientes de rotina), quanto a possibilidade de um menor número de pacientes agendar consulta para o mesmo dia do que a capacidade reservada para estas. Para se identificar um padrão entre as soluções ótimas, recorreu-se à enumeração e a análises numéricas para avaliar a variação da ordem de sequenciamento. Percebeu-se, então, que os pacientes de rotina são sempre agendados em bloco, sendo os pacientes de última hora agendados antes ou depois destes. Com base nesta análise algumas heurísticas foram desenvolvidas. A primeira agenda todos os pacientes de rotina nos primeiros horários do dia, enquanto outra agenda os pacientes de rotina em bloco e os demais são agendados antes ou depois destes.

Os estudos de Zacharias & Pinedo (2014), Muthuraman & Lawley (2008) e Samorani & LaGanga (2015) exploram a utilização da política de overbooking para compensar o não comparecimento de pacientes e buscam otimizar a relação entre o tempo de espera dos pacientes, o aumento do número de atendimentos e as horas extras dos funcionários. No modelo de agendamento com overbooking de Zacharias & Pinedo (2014), consideram-se diferentes probabilidades de não comparecimento à sessão. Primeiramente explora-se o agendamento off-line e os resultados deste são a base para uma heurística proposta para o agendamento dinâmico. O estudo destaca a importância de se considerar a variação nos tempos das sessões por pacientes e nas probabilidades de não comparecimento. Muthuraman and Lawley (2008) determinam as condições segundo as quais o modelo estocástico com overbooking para agendamento de pacientes em uma clínica ambulatorial apresenta comportamento unimodal. Garante-se, assim, a existência de um número ótimo de pacientes a serem agendados. Samorani & LaGanga (2015), através de análise preditiva e otimização, tratam do agendamento de pacientes em clínicas, considerando-se tanto a probabilidade de comparecimento individual, quanto a relativa ao dia. Através da análise dos resultados obtidos, propõe-se uma heurística para solução mais ágil do problema.

Como apresentado anteriormente, o cenário de agendamento de sessões para pacientes em ambientes ambulatoriais envolve grande complexidade. Explorar-se diferentes trabalhos exemplifica como cada uma dessas complexidades pode ser tratada, além de evidenciar que não

é possível abranger-se todo o real cenário de agendamentos por meio de um modelo matemático.

2.2 Soluções por Simulações

A metodologia das simulações permite a análise de situações mais complexas que são comuns aos ambientes ambulatoriais e de clínicas médicas. O uso das simulações tem por objetivo a avaliação do desempenho de procedimentos de agendamento alternativos aos praticados ou a avaliação da relação entre determinados parâmetros de análise e variáveis reais dos cenários estudados. Entretanto, as simulações não são ferramentas de otimização, de modo que não permitem a determinação da alocação ótima de recursos.

Klassen & Rohleder (1996) e White et al. (2011) exploram, através de simulações, a variação no tempo das consultas.

Klassen & Rohleder (1996) estudam como a política de agendamento e o posicionamento de folgas nos horários de consulta para atendimento a emergências influenciam o tempo total de atendimento da clínica e a média de pacientes atendidos. Pelas análises desenvolvidas, conclui-se que o agendamento de pacientes com alto desvio de tempo de atendimento do previsto para o fim do horário de consulta é a melhor política, dentre as estudadas.

White et al. (2011), através de simulação de eventos discretos, analisam a relação entre políticas de agendamento de pacientes e de alocação de capacidade (número de salas de exame, de enfermeiros e de radiologistas), de modo a potencializar-se os resultados para os pacientes e para as clínicas. Pelas análises desenvolvidas, concluiu-se que o agendamento de pacientes com atendimentos mais curtos e com pequena variância nos primeiros horários de funcionamento da clínica resulta em menor tempo de espera dos pacientes, sem impactar negativamente a utilização da capacidade da clínica e seu tempo de funcionamento extra.

Cayirli et. al. (2006) realizam uma simulação de eventos discretos, em que avaliam o desempenho de clínicas ambulatoriais a partir de dados coletados previamente. O estudo avalia o impacto de sete regras de ordenamento de pacientes de acordo com sua classificação prévia e seis regras referentes à duração dos intervalos entre as consultas e ao número de pacientes agendados por horário. Conclui-se que a ordem de agendamento de pacientes é o fator mais

impactante no desempenho da clínica, podendo acarretar na diminuição do tempo de espera dos pacientes e do tempo ocioso e horas extras dos médicos, sem qualquer trade-off.

Também através de uma simulação de eventos discretos, Yokouchi et al. (2012) trabalham o problema de agendamento de pacientes de quimioterapia para a determinação de regras que levem à minimização do tempo de espera dos pacientes, enquanto mantém-se a máxima utilização da capacidade da clínica possível. Explora-se a variação do horário de chegada dos pacientes e o tamanho da equipe de enfermagem.

Ahmed et al. (2011) desenvolvem um modelo de simulação para estudar diferentes cenários de funcionamento da clínica quimioterápica e determinar as melhores práticas de agendamento de sessões de tratamento e de disponibilidade de funcionários de enfermagem. Avalia-se o impacto da variação dos padrões de horário de chegada de pacientes, bem como a agenda dos enfermeiros e a possibilidade de inserção de um enfermeiro extra na equipe.

Ogulata et al. (2009) estudam procedimentos de agendamento de pacientes para sessões de radioterapia através de simulações, tendo como parâmetros de análise o tempo de espera dos pacientes e o posicionamento de uma folga na capacidade da clínica. Ao determinarem-se os melhores parâmetros de agendamento, o resultado é de minimização da porcentagem de pacientes não atendidos, do atraso no procedimento e do número de pacientes em espera.

2.3 Soluções por métodos empíricos

No campo de métodos baseados em experiência, Dobish (2003) adota uma mudança da dinâmica de um centro de oncologia para solucionar problemas com o fluxo de pacientes. A metodologia é o agendamento do procedimento de infusão para o dia seguinte àquele em que os testes de sangue e a consulta com o oncologista ocorrem (next-day scheduling). Essa estratégia mostrou bons resultados, uma vez que resultou em diminuição do tempo de espera do paciente, bem como aumento da eficiência dos enfermeiros e da farmácia da clínica.

Ainda no campo de estudos de caso nos quais não se recorreu a métodos analíticos e a simulações, Chabot & Fox (2005) implementam um sistema de classificação de pacientes para tornar a rotina de infusões em uma clínica de quimioterapia mais eficiente. Apesar da simplicidade, a abordagem resulta em ótimos resultados para o caso em questão.

A Tabela 1 a seguir apresenta fatores considerados em alguns dos estudos citados. Não se tem aqui o objetivo de se ter um resumo exaustivo das análises realizadas em cada trabalho, mas sim compilar os principais fatores considerados que têm relação, como se verá, com a abordagem adotada no presente trabalho.

Tabela 1: Relação de principais fatores considerados nas análises de alguns estudos

	Estudos	Sadki et al. (2013)	Liang et al. (2014)	Liang & Turkcan (2015)	Turkcan et al.(2012)	Sevinc et al. (2013)	Gocgun e Puterman (2013)	Alvarado & Ntaimo (2016)	Hahn-Goldberg et al. (2014)	Presente trabalho
Fatores considerados nas análises	Consulta com oncologista e sessão de quimioterapia	x								
	Busca por melhor distribuição ao longo do dia					x				x
	Nível de acuidade do paciente variado			x	x			x		x
	Capacidade variada de atendimento da enfermagem			x						x
	Nível de criticidade do paciente variado						x			
	Escala dinâmica								x	
	Escala estática									x
	Exame de sangue prévio					x				
	Agendamento de grupos de pacientes						x			
	Considera-se o impacto do atraso das sessões				x	x	x	x		
	Limitação capacidade de preparação dos medicamentos				x				x	x
	Limitação na capacidade de atendimento da enfermagem		x	x	x			x	x	x
	Limitação no número de leitos	x	x	x	x	x	x	x	x	x

2.4 Posicionamento na abordagem do tema

Como apresentado, existe grande complexidade em ambientes ambulatoriais de tratamento quimioterápico e, em apenas um estudo, torna-se infactível abordar-se todas as possibilidades e incertezas desse cenário. Assim, pontua-se aqui o cenário e a estratégia adotados por este presente trabalho.

O foco deste trabalho é a aplicação prática de técnicas de modelagem computacional para a análise da capacidade do Ambulatório Borges da Costa e proposição de escalas de agendamento para sessões de quimioterapia que reflitam em uma melhor alocação de seus recursos, tendo-se em vista, também, suas particularidades operacionais. O único trabalho que aborda a questão da determinação de uma escala para agendamento de pacientes é o de Hahn-Goldberg et al. (2014), o qual se diferencia da técnica utilizado no presente estudo, por prever a atualização dinâmica de escala de agendamento.

Dentre os trabalhos estudados, a capacidade de manipulação de medicamentos é considerada fator limitante apenas, também, no trabalho de Hahn-Goldberg et al. (2014). Esta é uma lacuna que este presente trabalho procura explorar. Como o preparo de medicamentos é, de fato, limitado no Ambulatório Borges da Costa, é de extrema relevância essa consideração na modelagem realizada.

Além disso, pelo destaque e relevância da atribuição de diferentes níveis de atenção requeridos pelos pacientes e da análise da capacidade de atendimento da equipe de enfermagem, tanto em termos de acompanhamento durante as sessões, quanto para preparo para estas, estes aspectos são também aqui abordados, ainda que, a princípio, o Ambulatório Borges da Costa relate não ter dificuldades em relação à capacidade de sua equipe de enfermagem.

3. A jornada do paciente no Ambulatório Borges da Costa

O presente capítulo apresenta o Ambulatório Borges da Costa da Unidade de Hematologia e Oncologia do Hospital das Clínicas da UFMG e descreve os processos de agendamento para sessões de quimioterapia neste centro de atendimento ao paciente.

O Hospital das Clínicas da UFMG é referência em tratamentos de média e alta complexidade, sendo um dos maiores prestadores de serviços de saúde de Minas Gerais. Em 2003, 85% de seus pacientes eram atendidos através do Convênio SUS e 15% através de outros convênios ou particulares. Sua grande relevância em todo o estado é confirmada pelo fato de, em 2003, cerca de 40% do total de seus pacientes serem provenientes do interior do estado de MG.

O Ambulatório Borges da Costa na Unidade de Hematologia e Oncologia do Hospital das Clínicas da UFMG, por sua vez, é parte essencial deste centro de relevância de tratamentos médicos. Suas práticas e gestão no tratamento de pacientes com câncer são referência no estado e no país. Assim, alcançar-se a melhor alocação de seus recursos escassos, de modo a se potencializar sua capacidade e qualidade de atendimento é uma meta que tem potencial de impacto em todo o país, exatamente por este centro de tratamento ser visto como benchmarking para boas práticas.

A seguir é descrita a jornada de cada paciente no Ambulatório Borges da Costa para agendamento e realização de sessões de tratamento quimioterápico por infusão.

3.1 Procedimento para agendamento de sessões de quimioterapia no Ambulatório Borges da Costa

O tratamento quimioterápico de um paciente no ambulatório Borges da Costa se inicia sempre com uma consulta médica com um oncologista. Nesta consulta são determinados os seguintes pontos da estratégia de tratamento do paciente em específico: os medicamentos de preparo e quimioterápicos indicados, o número de sessões requeridas pelo paciente e o intervalo de dias entre estas sessões.

De posse desse plano, o paciente solicita, então, o agendamento de suas sessões de quimioterapia. O ambulatório mantém uma escala diária para agendamento de pacientes, a qual consiste na relação de horários disponíveis para o agendamento de cada tipo de tratamento. Por tipo de medicamento entendam-se as diferentes combinações possíveis entre o tipo de preparo dos medicamentos utilizados e o tempo de duração da sessão. A previsão da duração da sessão de cada paciente é responsabilidade da equipe administrativa que realiza os agendamentos. A partir, então, da solicitação de agendamento pelo paciente e da avaliação da compatibilidade com a escala de agendamento do ambulatório, são realizados os agendamentos para as sessões do paciente. Trata-se, assim, de um processo de agendamento do tipo online, com o suporte de uma escala de agendamento. Importante destacar que todos os pacientes recebem tratamento mediante agendamento prévio. As exceções ocorrem apenas para pacientes com solicitação de urgência, sendo estes atendidos de forma imediata, de acordo com a disponibilidade dos recursos do ambulatório.

A Tabela 2 apresenta os possíveis tipos de tratamentos realizados no Ambulatório Borges da Costa.

Tabela 2: Tipos de tratamento de acordo com o tipo de preparo dos medicamentos e com o tempo de infusão por sessão

Tempo de infusão (h)	Tipo de preparo de medicamento: Preparo tipo I	Preparo tipo II
	1	1
	2	2
	3	3
	4	4
	5	5
	6	6
	7	7
	8	8

Para que os diferentes tipos de tratamentos possíveis e a lógica da escala de agendamento fiquem esclarecidos, é apresentado, a seguir, um exemplo de escala de agendamento.

Suponha-se que existam dois tipos de preparo de medicamento, tipo A e tipo B, e três possibilidades de duração de sessões de infusão - uma, duas ou três horas. Além disso, suponha-se que a capacidade de preparo tipo A seja de uma dose a cada hora e a do preparo

tipo B, de duas doses a cada hora. A Tabela 3 apresenta todos os possíveis tipos de tratamento dessa clínica hipotética, com base nesses dados.

Tabela 3: Tipos de tratamento para uma clínica hipotética com dois tipos de preparo de medicamento e três possibilidades de duração de sessões

	Tipo de preparo de medicamento	
	Preparo tipo A	**Preparo tipo B**
Duração de infusão (h)	1	1
	2	2
	3	3

Trabalhando-se com o funcionamento diário da clínica por quatro horas, uma possível escala para esse cenário é apresentada na Figura 3. Nesta figura, tem-se, para cada um dos cinco leitos disponíveis, para qual tipo de sessão foi reservado um horário de agendamento. Assim, por exemplo, no leito um foram reservados os três últimos horários de funcionamento do espaço para o agendamento de uma sessão com preparo tipo A e tempo de duração de três horas.

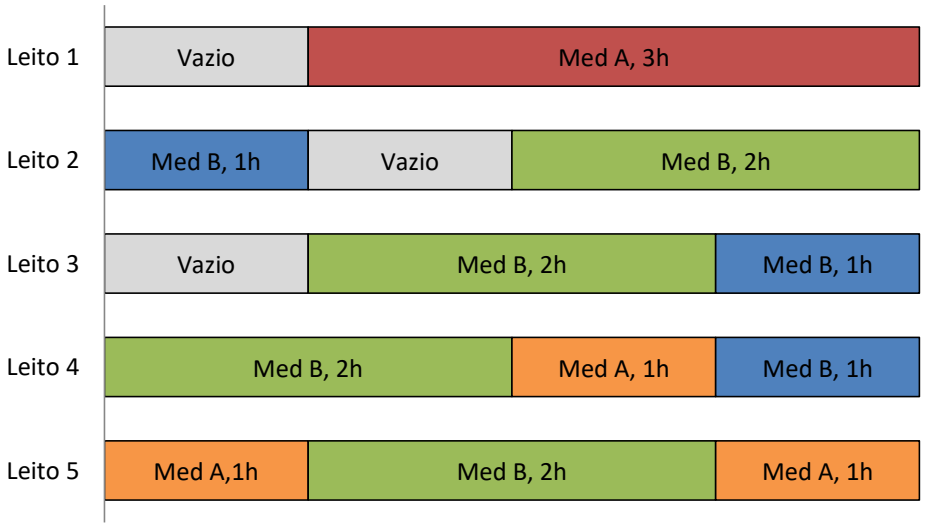


Figura 3: Escala possível para uma clínica hipotética com dois tipos de preparo de medicamento (A e B) e três possibilidades de duração de sessões (1, 2 e 3 horas)

Analisando-se a escala apresentada na Figura 3, observa-se que, no primeiro horário, tem-se o início de três sessões de quimioterapia e esta é a capacidade limite de manipulação por horário. Assim, dois leitos permanecem vazios devido ao limite de capacidade de manipulação de medicamentos. Ao todo, há três intervalos de uma hora na escala apresentada na Figura 3 que

não podem ser ocupados devido a esse limite de manipulação. Entretanto, mantendo-se a capacidade dessa hipotética clínica, ainda é possível alocar-se mais horários para a realização de sessões, efetuando-se apenas uma mudança na escala, como apresentado na Figura 4.

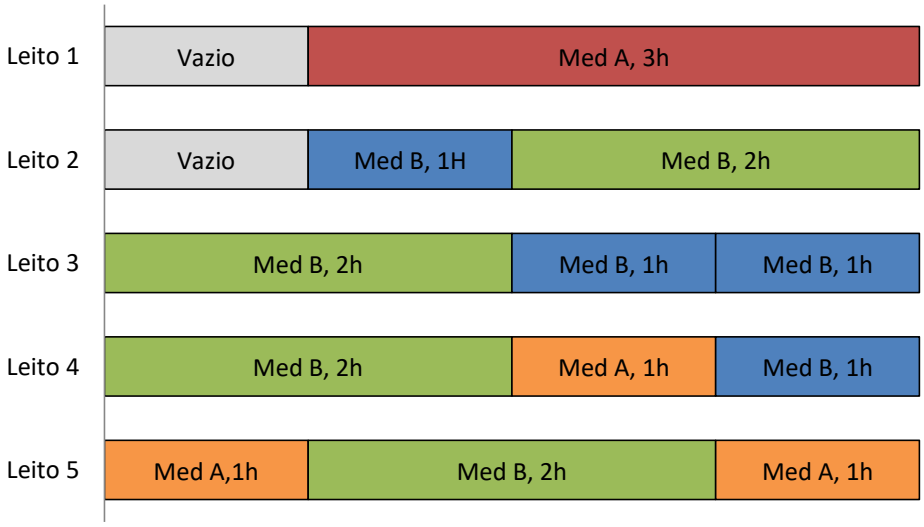


Figura 4: Escala alternativa para uma clínica hipotética com dois tipos de preparo de medicamento (A e B) e três possibilidades de duração de sessões (1, 2 e 3 horas)

Nessa nova escala, inicia-se a sessão do leito três com o medicamento de preparo tipo B de tempo de infusão de duas horas no primeiro horário da clínica e a sessão do leito dois com o medicamento de preparo tipo B de uma hora de infusão no segundo horário da clínica. Com isso, é possível alocar-se mais um horário no leito três: uma sessão com o medicamento de preparo tipo B e uma hora de infusão.

Suponha-se que a agenda de um dado dia ainda esteja vazia e quatro pacientes solicitem o agendamento de suas sessões nesse dia com o medicamento de preparo tipo B e infusão de uma hora. Pela escala apresentada na Figura 3, seria possível o agendamento de apenas três dos quatro pacientes. Já pela escala apresentada na Figura 4, tem-se que todas as solicitações poderiam ser atendidas. Assim, percebe-se que a definição da escala de agendamento é uma tarefa crucial na melhor alocação dos recursos da clínica e, consequentemente, melhor atendimento aos pacientes.

Na Figura 5, apresenta-se os agendamentos no Ambulatório Borges da Costa referentes ao dia 14/06/2016. Estes foram realizados com base em uma escala de agendamento, como descrito anteriormente.

Leitos	Horários (h)										
	8 às 9	9 às 10	10 às 11	11 às 12	12 às 13	13 às 14	14 às 15	15 às 16	16 às 17	17 às 18	18 às 19
1	L2		Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	L3			Vazio	Vazio
2	L4				Vazio	Vazio	L3			Vazio	Vazio
3	L5					L3			Vazio	Vazio	Vazio
4	L4				Vazio	L2		Vazio	Vazio	Vazio	Vazio
5	L4				Vazio	L3			Vazio	Vazio	Vazio
6	L2		L2		Vazio	L2		L3			Vazio
7	L4				Vazio	L1	Vazio	L2		Vazio	Vazio
8	L2		L2		Vazio	L2		Vazio	Vazio	Vazio	Vazio
9	Vazio	L2		Vazio	Vazio	L4				Vazio	Vazio
10	Vazio	L2		L2		Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio
11	Vazio	L2		L2		L3			Vazio	Vazio	Vazio
12	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	L3			Vazio	Vazio
13	Vazio	Vazio	L1	Vazio	Vazio	Vazio	L3			Vazio	Vazio
14	Vazio	L1	L3			Vazio	L3			Vazio	Vazio
15	Vazio	L3			Vazio	Vazio	L3			Vazio	Vazio
16	Vazio	L3			Vazio	Vazio	L3			Vazio	Vazio
17	Vazio	L3			Vazio	Vazio	L2		L1	Vazio	Vazio
18	Vazio	Vazio	L2		Vazio	Vazio	L3			Vazio	Vazio
19	IL_2		IL_2		IL_1	Vazio	IL_2		IL_2		Vazio
20	IL_1	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	IL_2		Vazio
21	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	IL_2		Vazio
22	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	IL_1	Vazio	Vazio
23	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	IL_2	
24	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio
25	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio
26	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio
27	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio
28	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio

Figura 5: Agendamentos realizados no Ambulatório Borges da Costa
para sessões de quimioterapia no dia 14/06/2016

3.2 Procedimento de atendimento ao paciente no dia de infusão mediante agendamento no Ambulatório Borges da Costa

Após a fase de agendamento previamente descrita, o paciente retornará ao ambulatório nos dias de suas sessões. O horário de funcionamento da clínica é de oito horas da manhã às sete horas da noite, de segunda-feira a sexta-feira. O último horário possível de início de sessão de infusão é às quatro horas da tarde. O fluxo de pacientes no Ambulatório Borges da Costa para as sessões de quimioterapia é apresentado na Figura 6.

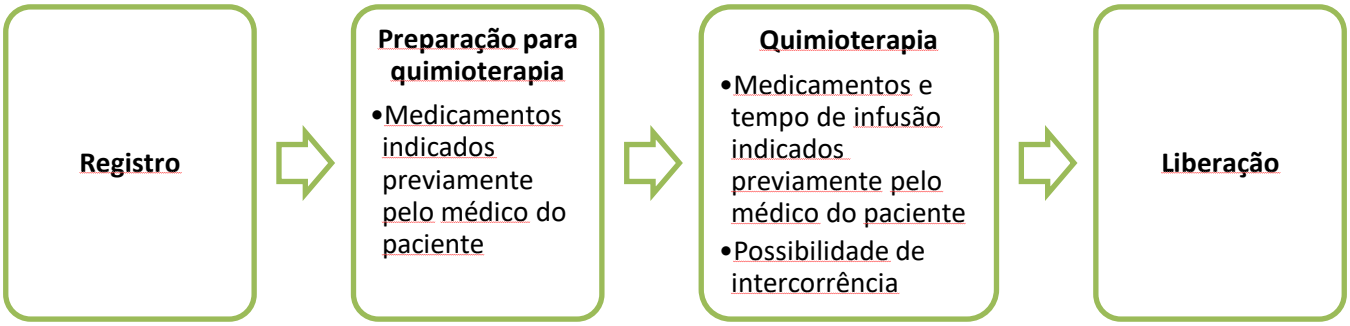


Figura 6: Fluxo de pacientes no ambulatório Borges da Costa para sessões agendadas de quimioterapia

Os pacientes são orientados a se apresentarem na clínica, nos dias de sessões, com trinta minutos de antecedência, de modo a passarem pelo sistema de registro de entrada. No horário de início da sessão do paciente, este é direcionado a uma poltrona disponível e a farmacotécnica do hospital é liberada para dar início à manipulação dos medicamentos quimioterápicos requeridos no tratamento daquele paciente em específico. Esta manipulação requer uma hora. Para os dois tipos de preparos de medicamentos anteriormente citados, a Tabela 4 apresenta a capacidade de manipulação a cada horário do dia.

Tabela 4: Capacidade de preparo de medicamentos do tipo I e II

	Capacidade de manipulação (nº de doses)	
Horário de início de preparo dos medicamentos	**Preparo tipo I**	**Preparo tipo II**
8:00h	9	5
9:00h	9	5
10:00h	5	5
11:00h	5	5
12:00h	0	0
13:00h	9	5
14:00h	9	5
15:00h	5	5
16:00h	5	5
17:00h	0	0
18:00h	0	0

Simultaneamente à manipulação dos medicamentos, os pacientes são preparados pela equipe de enfermagem para a infusão quimioterápica e esse procedimento demanda, também, uma hora. Essa fase de preparo consiste, também, de infusões, mas, no caso, de medicamentos preparatórios para o recebimento, na sequência, dos quimioterápicos. O preparo pode ser realizado pelos enfermeiros ou pelos técnicos de enfermagem, a depender do nível de complexidade envolvido. Os níveis de complexidade são dois e são referentes ao tipo de acesso às veias do paciente para a infusão dos medicamentos. Eles são: acesso venoso periférico e cateter central. No caso do acesso via cateter central, apenas os enfermeiros podem realizar o preparo do paciente e este tipo de acesso corresponde a vinte por cento do total de preparo de pacientes. Já o preparo para acesso venoso periférico pode ser realizado tanto por enfermeiros, quanto pela equipe de técnicos de enfermagem. Cada enfermeiro ou técnico de enfermagem utiliza trinta minutos para ambos os tipos de preparo e pode estar responsável por apenas um preparo a cada momento. Assim, a cada hora, podem ser atribuídos, a cada membro da equipe, no máximo, dois preparos de pacientes.

Finalizada essa primeira hora de atendimento ao paciente, tem-se início a infusão dos medicamentos quimioterápicos propriamente ditos. Durante este período, o paciente também demanda acompanhamento, podendo este ser feito tanto pelos enfermeiros, quanto pelos técnicos de enfermagem. A depender do tipo de tratamento recebido pelo paciente, o nível de atenção que este requer da equipe de enfermagem varia. Não há, no atual processo do Ambulatório Borges da Costa, uma mensuração dessa variação.

Concluído o tempo de infusão dos quimioterápicos, o paciente é, por fim, liberado. Assim, o tempo total de permanência do paciente na clínica por sessão de tratamento é, a priori, o tempo de infusão dos quimioterápicos somado à primeira hora de atendimento referente ao preparo do paciente. Entretanto, algumas sessões duram, no total, apenas uma hora. Nesse caso, os medicamentos são disponibilizados para a equipe de enfermagem dentro de meia hora após o horário agendado ao paciente e o tempo de preparo do paciente é, também, de trinta minutos, bem como a duração da infusão dos quimioterápicos.

Em todos os cenários, o tempo total de permanência do paciente na clínica pode ser estendido em caso de eventual intercorrência devido a efeitos adversos aos medicamentos.

3.3 Cenário considerado na abordagem computacional adotada

Analisando-se esse cenário complexo, delimita-se aqui quais aspectos serão considerados na proposição dos modelos para definição de alocações mais eficientes dos recursos do ambulatório.

O presente estudo entende que escalas para o agendamento de pacientes são ferramentas práticas e aderentes à realidade do Ambulatório Borges da Costa. Diante da necessidade de agendamentos online e da falta de um sistema computacional compatível com tal, as escalas são aqui assumidas como ferramentas satisfatórias para o fim desejado.

Nos modelos desenvolvidos neste estudo, o número de leitos disponíveis, bem como a capacidade de manipulação dos medicamentos são limitados. Em um dos modelos propostos, considera-se, também, que os números de enfermeiros e técnicos de enfermagem são limitados, tanto para acompanhamento de pacientes, quanto para preparo destes para a sessão de quimioterapia. Considera-se, também, a variação de habilidade de preparo dos enfermeiros e técnicos, bem como um limite superior para suas capacidades totais de atendimento.

Além disso, o conhecimento da equipe de enfermagem permite que se evolua os modelos propostos, adicionando-se restrições com base empírica. Nesse sentido, estuda-se uma melhor distribuição das sessões ao longo do dia, bem como melhores critérios para a distribuição das sessões na parte da manhã e da tarde.

No capítulo seguinte, apresenta-se o cenário base de análise deste trabalho, descrevendo-se as premissas adotadas, os parâmetros considerados para as análises e os modelos computacionais elaborados para a otimização desse cenário.

4 Modelo determinístico de elaboração de escala para sessões de quimioterapia

Este capítulo descreve o problema de determinação de escalas para sessões de quimioterapia, com as premissas e restrições selecionadas para análise e os modelos de programação linear inteira propostos para sua solução.

4.1 Definição do problema

Como apresentado, a definição do problema a ser tratado neste trabalho tem como base a realidade vivida no Ambulatório Borges da Costa. O recorte desta realidade que se objetiva tratar pelos modelos aqui propostos foi descrito na sessão (3.3). Certamente, há grande interface entre a situação aqui endereçada e desafios explorados nos trabalhos discutidos na Revisão Bibliográfica. Segundo Baldwin (2006), conforme citado por Turkcan et al. (2012), a complexidade do problema de agendamento de pacientes para sessões de quimioterapia advém do caráter cíclico do tratamento quimioterápico, da grande demanda pelo tratamento, da variabilidade da necessidade de recursos por parte dos pacientes e da dificuldade da administração dos medicamentos quimioterápicos. Esses aspectos são também desafios do Ambulatório Borges da Costa.

O aumento de capacidade de atendimento se faz necessário diante do caráter cíclico do tratamento e do aumento da demanda por este tratamento. Cada paciente do Ambulatório permanece em tratamento por uma média de cinco anos e a expectativa é que a demanda pela quimioterapia cresça. Assim, o volume de pacientes a serem atendidos diariamente tende a crescer e é preciso entender-se a capacidade de atendimento hoje instalada, para que se possa, tanto comprometer-se com um volume factível de pacientes, quanto se avaliar a necessidade de alocação de mais recursos para o aumento da capacidade de atendimento.

No cenário aqui analisado, a consulta médica com um oncologista não é estudada, mas é o procedimento prévio responsável pela determinação dos dias das sessões de quimioterapia para cada paciente. Assim, o problema torna-se de determinação de uma escala para o efetivo agendamento de pacientes, dado o dia de tratamento definido pelo oncologista. A alocação de

cada paciente na escala de um dado dia ocorre, então, com base no tipo de preparo requerido por seus medicamentos e no tempo de infusão total calculado pela equipe administrativa.

Existe um grande número de possibilidades de escalas de agendamento, uma vez que existem dezesseis diferentes tipos de tratamentos realizados no ambulatório. Dado um histórico de atendimento de pacientes, procura-se, neste trabalho, a proposição de escalas de agendamento que sejam aderentes à frequência histórica de ocorrência desses diferentes tipos de tratamento no Ambulatório Borges da Costa e que aloquem o maior número possível de espaços para sessões. Assim, faz-se necessário o conhecimento da frequência de ocorrência de cada tipo de tratamento (tipo de preparo do medicamento e tempo de infusão), de modo que esta seja a referência para a alocação de espaços para os diferentes tratamentos na escala proposta.

Estuda-se o número de leitos, a capacidade de manipulação dos medicamentos, o tempo de funcionamento do ambulatório e a disponibilidade de enfermeiros e técnicos de enfermagem como os recursos escassos do cenário. Existem vinte e oito leitos idênticos e disponíveis por onze horas diárias, cinco dias por semana e não são permitidas horas extras de funcionamento do espaço. No horário de meio dia e das dezessete horas em diante não é permitida a entrada de novo paciente, uma vez que não há manipulação de medicamentos nestes horários, como apresentado na Tabela 4. O horizonte de tempo de agendamento de cada escala é de um dia.

A equipe de enfermagem é composta por três enfermeiros e seis técnicos de enfermagem. As infusões via acesso venoso periférico correspondem a 80% do total, sendo estas realizadas, potencialmente, por toda a equipe de enfermagem. Os 20% restantes são referentes ao acesso via cateter central, sendo estes realizados apenas pelos enfermeiros. O tempo de preparo do paciente para o recebimento dos quimioterápicos é de trinta minutos, sendo que cada membro da equipe pode ser alocado a apenas um procedimento de preparo por vez. Além disso, como relatado, o paciente requer a atenção da equipe de enfermagem tanto para o preparo para a infusão, quanto durante toda a sessão para acompanhamento. Em termos de acompanhamento, considera-se que pacientes com tempo de infusão de cinco a oito horas requerem o dobro da atenção requerida pelos pacientes com tempo de infusão de uma a quatro horas. Os níveis de atenção destes pacientes são, então, respectivamente, dois e um (Tabela 5).

Tabela 5: Nível de atenção requerido por paciente de acordo com o tempo de infusão da sessão do tratamento

Tempo de infusão (h)	Nível de atenção requerido
1 a 4 horas	1
5 a 8 horas	2

Cada membro da equipe de enfermagem pode acompanhar, no máximo, um grupo de pacientes com nível de atenção acumulado de seis. Assim, por exemplo, um enfermeiro pode ser alocado para acompanhar dois pacientes de tempo de infusão de três horas e quatro pacientes de tempo de infusão de duas horas. No total, este enfermeiro está alocado a um nível total de atenção seis. Outra possibilidade seria um membro da equipe de enfermagem ser alocado para acompanhar três pacientes de tempo de infusão de cinco horas, totalizando-se, também a sua capacidade máxima de acompanhamento. Importante destacar que o enfermeiro ou técnico de enfermagem realiza a tarefa de acompanhamento de pacientes simultaneamente à de preparo dos pacientes, sendo que os pacientes em fase de preparo também são contabilizados na avaliação do nível total de atribuição de acompanhamento sob responsabilidade de cada enfermeiro.

Outro exemplo de atribuição de pacientes a um dado enfermeiro, desta vez considerando-se também a atribuição para a fase de preparo seria: dois pacientes de quatro horas de infusão em fase de preparo e dois pacientes de tempo de infusão de duas horas e em fase de infusão quimioterápica efetivamente. Assim, somam-se seis no nível de acuidade, estando dois pacientes na fase de preparo (meia hora de preparo alocada para cada paciente na fase de preparo).

Dentre os trabalhos analisados, o trabalho de Hahn-Goldberg et al. (2014) é semelhante à análise aqui apresentada por envolver a consideração de manipulação de medicamentos como um recurso escasso e por propor uma escala para agendamento online.

Considerando-se os trabalhos analisados, o trabalho de Turkcan et al. (2012) apresenta grande interface com a abordagem aqui adotada. Turkcan et al. (2012) trabalham com um modelo em duas fases, sendo a primeira a de determinação do dia de consulta e a segunda o

sequenciamento dos pacientes no dia previamente determinado. Assim como Turkcan et al. (2012), considera-se aqui o número de leitos um recurso escasso, bem como a disponibilidade de enfermeiros e trabalha-se com diferentes níveis de atenção requeridos pelos pacientes. Diferentemente de Turkcan et al. (2012), não se trabalha efetivamente com o agendamento de pacientes, mas sim com a determinação de uma escala para posterior agendamento online.

Já o trabalho de Hahn-Goldberg et al. (2014) apresenta-se semelhança a este, tanto no que se diz respeito às restrições consideradas, quanto na metodologia adotada. Hahn-Goldberg et al. (2014),também trabalham com a determinação de escalas, mas escalas dinâmicas. Além disso, é o único trabalho, dentre os estudados, que consideram a limitação da capacidade de manipulação de medicamentos.

O cenário aqui estudado e a análise construída contribuem com o estudo na área por considerarem limitação na capacidade de manipulação dos medicamentos quimioterápicos. Além disso, importante destacar que o objetivo deste trabalho é sua aplicação na melhor gestão dos recursos no Ambulatório Borges da Costa. Em especial, é deste direcionamento para a melhoria de um ambiente em específico que advém a relevância do presente trabalho.

4.2 Modelo de programação linear inteira

Nesta seção serão apresentados os modelos de programação linear inteira propostos para a solução do problema aqui discutido, destacando-se a evolução da análise realizada.

4.2.1 Modelo monobjetivo

A complexidade do problema aqui discutido envolve tanto a administração de recursos limitados, quanto particularidades da realidade do Ambulatório Borges da Costa. A análise de tais particularidades poderia resultar na proposição de uma série de “bons hábitos” que, adotados, resultariam, pelo ponto de vista dos profissionais que vivem a realidade da clínica, em um ambiente mais previsível e com espaço para absorver eventuais alterações na agenda.

Assim, apresenta-se, inicialmente, um modelo monobjetivo que considera apenas a complexidade envolvida à lmitação de leitos e de preparo de medicamentos. Este é o modelo monobjetivo de recursos escassos. Em seguida, apresenta-se outro modelo, também

monobjetivo, que considera particularidades descritas pelos enfermeiros e gestores da clínica - modelo monobjetivo com considerações empíricas.

4.2.1.1 Modelo monobjetivo de recursos escassos

Os recursos limitados considerados neste modelo são o número de leitos disponíveis diariamente para o tratamento, o tempo de funcionamento da clínica e a capacidade de preparo dos medicamentos, considerando-se os dois tipos de preparo realizados no Ambulatório Borges da Costa. Estes são os recursos percebidos pela equipe de gestão do ambulatório como limitados e, por isso, foram selecionados para uma primeira análise.

Objetiva-se a melhor alocação destes recursos, de modo a se atender às demandas pelos diferentes tipos de tratamentos quimioterápicos realizados no ambulatório. Assim, para cada tipo de tratamento, faz-se necessário o conhecimento de duas informações: a demanda por cada um dos recursos citados e a frequência deste tipo de tratamento frente aos demais.

As escalas de agendamento são construídas com base em uma expectativa de demanda por cada tipo de tratamento. Dada a frequência histórica de agendamentos, torna-se possível a determinação dessa expectativa.

Com base nesse conjunto de informações, a função objetivo proposta é o atendimento de toda a expectativa de demanda por tratamento, minimizando-se os desvios em relação à distribuição de frequência de cada tipo de tratamento. Com esta abordagem são obtidas escalas de agendamento com diferentes níveis de aderência à distribuição histórica de frequência. Torna-se possível, inclusive, avaliar-se como o aumento do número de pacientes atendidos ocorre em detrimento ao respeito à distribuição de frequência da demanda pelos diferentes tipos de tratamentos.

A Tabela 6 a seguir apresenta a notação referente a este modelo monobjetivo de recursos escassos. Essa notação também será utilizada nos demais modelos elaborados, sendo que demais variáveis e parâmetros necessários aos demais modelos serão apresentados posteriormente.

Tabela 6: Notação da modelagem do problema de proposição de escala de agendamento

Notação	Descrição
$\boldsymbol{A}$	Conjunto: Tipos de preparos dos medicamentos
$\boldsymbol{T}$	Conjunto: Duração de funcionamento do ambulatório
$\boldsymbol{J}$	Conjunto: Tempo de tratamento previsto por sessão
$\boldsymbol{r}$	Parâmetro: Número de leitos
$\boldsymbol{q}$	Parâmetro: Número total de pacientes
$\boldsymbol{p_{a\,j}}$	Parâmetro: Frequência esperada de alocação para tratamento com medicamento *a* e duração *j* (dado porcentual)
$\boldsymbol{b_{a\,t}}$	Parâmetro: Capacidade de produção do medicamento a no horário *t*
$\boldsymbol{x_{aj}^{nt}}$	Variável binária: 1 se um número *n* de pacientes, que recebem medicamento *a*, por um tempo de quimioterapia de *j* horas for alocado no horário de início *t*; 0, senão
$\boldsymbol{z_{a\,j}}$	Variável: Número de espaços alocados a mais para o tratamento *a* com tempo de quimioterapia *j* do que aquele indicado pela distribuição de frequência histórica

O modelo monobjetivo de recursos escassos proposto para a determinação da escala de sessões de quimioterapia é apresentado a seguir.

$$\min \sum_{a\,\epsilon\,A} \sum_{j\,\epsilon\,J} (z_{a\,j}) \qquad (1)$$

(Função objetivo de minimização dos desvios de alocação de acordo com frequência histórica)

$$\sum_{a\,\epsilon\,A} \sum_{j\,\epsilon\,J} \sum_{t=1}^{T-j+1} \sum_{n=1}^{b_{at}} n\, x_{a\,j}^{n\,t} = q \qquad (2)$$

(Restrição de alocação de “q” horários de agendamento)

$$\sum_{a \in A} \sum_{j \in J} \sum_{u=\max(1,t-j+1)}^{\min(T-j+1,t)} \sum_{n=1}^{b_{at}} n\, x_{a\,j}^{nu} \leq r \qquad \forall\ t = 1 \ldots T \qquad (3)$$

(Restrição de limitação da capacidade de leitos)

$$\sum_{t=1}^{T-j+1} \sum_{n=1}^{b_{at}} n\, x_{a\,j}^{n\,t} - q * p_{a\,j} \leq z_{a\,j} \quad \forall\ a \in A, j \in J \qquad (4)$$

(Restrição de avaliação dos desvios de alocação)

$$\sum_{j \in J} \sum_{n=1}^{b_{at}} n\, x_{a\,j}^{n\,t} \leq b_{a\,t} \quad \forall\ a \in A, t \in T \mid t \leq (TD - j + 1) \quad (5)$$

(Restrição de limitação da capacidade de manipulação de medicamentos)

$$x_{a\,j}^{n\,t} \in \{0,1\} \quad a \in A, \quad j \in J, \qquad t = 1 \ldots (T - j + 1) \mid t \neq 5, \qquad n = 1 .. b_{at} \quad (6)$$

(Definição da variável binária)

$$z_{a\,j} \geq 0 \quad a \in A, j \in J \quad (7)$$

A restrição (2) garante que, na escala, haverá espaços alocados para o número total de pacientes determinado, q. A restrição (3) garante que, a cada horário, não haja mais espaços alocados para pacientes do que a capacidade da clínica em termos de disponibilidade de leitos. Em (4) é calculado o número de espaços alocados para pacientes de um dado tipo de tratamento acima do número que seria alocado de acordo com a frequência esperada (com base em dados históricos). A restrição (5) garante que o total de espaços alocados para início de tratamento com

cada medicamento em um dado horário não ultrapasse a capacidade de manipulação do dado medicamento no dado horário. A restrição (6) é a restrição de integralidade, sendo que as variáveis binárias $x_{a\,j}^{n\,t}$ receberão valor um quando um dado número *n* de pacientes com tratamento com preparo tipo a e tempo de infusão *j* iniciarem a sessão no horário *t*. As variáveis $x_{a\,j}^{n\,t}$ são definidas para o primeiro horário possível de agendamento (t=1) até o último que permita a conclusão da sessão do paciente (t=T-j+1), com exceção do horário t = 5, uma vez que não há produção de medicamento neste horário . A restrição (7) garante que a variável de desvio da alocação prevista pela distribuição de frequência assuma apenas valor positivo ou zero. A função objetivo é de minimização deste desvio. Este modelo pode ser resolvido para a otimalidade.

Entretanto, como já destacado, o objetivo do presente trabalho é oferecer uma escala de agendamento que atenda às necessidades específicas do Ambulatório Borges da Costa. Por isso, propõe-se outro modelo com restrições baseadas na experiência dos profissionais que vivem a realidade do dia-a-dia do ambulatório. Este modelo será referido como modelo monobjetivo com considerações empíricas. Este modelo com considerações empíricas sofrerá, ainda, outra evolução para o estudo da capacidade da equipe de enfermagem.

4.2.1.2 Modelo monobjetivo com considerações empíricas

Este modelo aborda tanto a existência de recursos escassos, como realidades específicas relatadas pela equipe do ambulatório e restrições referentes à demanda por enfermeiros, considerando-se diferentes níveis de acuidade, dados os diferentes tempos de tratamento possíveis. Importante destacar que o número de enfermeiros não foi destacado pela equipe do Ambulatório como um recurso escasso e, por isso, não foi abordado no primeiro modelo apresentado. Entretanto, uma análise completa não poderia deixar de questionar se, de fato, a disponibilidade de enfermeiros não é um recurso escasso no ambiente analisado. Além disso, como se relata que pacientes de maior tempo de infusão apresentam maior chance de intercorrência e, por se ver largamente nos trabalhos científicos estudados a abordagem de variação do nível de acuidade para os pacientes, considera-se aqui também uma variação do nível de acuidade com a variação do tempo de infusão.

A Tabela 7 apresenta a nomenclatura complementar àquela já da Tabela 6.

Tabela 7: Notação complementar para o modelo com considerações empíricas

Notação	Descrição
$pmin_{aj}$	Parâmetro: Número mínimo de espaços alocados para tratamentos com medicamento *a* e duração *j*
u	Parâmetro: Limite de variação entre número de espaços alocados para início de tratamento na parte da manhã e da tarde.
s_t	Parâmetro: Número de enfermeiros disponíveis para o preparo de todos os pacientes no momento *t*
f_t	Parâmetro: Número de membros da equipe de enfermagem disponíveis para o acompanhamento e preparo de todos os pacientes no momento t
θ_{aj}	Parâmetro: Nível de atenção requerido do membro da equipe de enfermagem para o paciente de tratamento com medicamento *a* e tempo de infusão *j*

O modelo com considerações empíricas apresenta as seguintes restrições adicionais ao modelo de recursos escassos já apresentado:

$$x_{a\,j}^{n\,t} \in \{0,1\} \quad a \in A, \quad j \in \{5,6,7,8\}\ t = 1\ldots(T - j + 1\ )|\ t < 5, \quad n = 1..b_{at} \qquad (8)$$

(Definição de variáveis binárias, com limitação horário de início de sessões)

$$x_{a\,j}^{n\,t} \in \{0,1\} \quad a \in A, \quad j \in \{1,2,3,4\}\ t = 1\ldots(T - j + 1\ )|\ t \neq 5, \quad n = 1..b_{at} \qquad (9)$$

(Definição de variáveis binárias, com limitação horário de início de sessões)

$$\sum_{t=1}^{T-j+1} \sum_{n=1}^{b_{at}} n\, x_{a\,j}^{n\,t} \geq pmin_{aj} \qquad \forall\, a\ \in A, j\ \in J\ \ (10)$$

(Restrição de alocação mínima para todo tipo de tratamento)

$$\sum_{a \in A} \sum_{j \in J} \sum_{t=1}^{\min(5, TD-j+1)} \sum_{n=1}^{b_{at}} n \, x_{a\,j}^{n\,t} \; - \sum_{a \in A} \sum_{j \in J} \sum_{t=6}^{\min(6,\; Td-j+1)} \sum_{n=1}^{b_{at}} n \, x_{a\,j}^{n\,t} \; \leq u \quad (11.1)$$

(Restrição de equilíbrio entre sessões com início durante a manhã e a tarde)

$$\sum_{a \in A} \sum_{j \in J} \sum_{t=6}^{\min(6,\; Td-j+1)} \sum_{n=1}^{b_{at}} n \, x_{a\,j}^{n\,t} \; - \sum_{a \in A} \sum_{j \in J} \sum_{t=1}^{\min(5, TD-j+1)} \sum_{n=1}^{b_{at}} n \, x_{a\,j}^{n\,t} \; \leq u \quad (11.2)$$

(Restrição de equilíbrio entre sessões com início durante a manhã e a tarde)

$$\sum_{a \in A} \sum_{j \in J} \sum_{n=1}^{b_{at}} n \, x_{a\,j}^{n\,t} \leq f_t * 2 \,, \forall \; t \; \in T \quad (12)$$

(Restrição de capacidade geral de preparo da equipe de enfermagem)

$$\sum_{a \in A} \sum_{j \in J} \sum_{n=1}^{b_{at}} n \, x_{a\,j}^{n\,t} * 0{,}2 \; \leq s_t * 2 \,, \forall \; t \; \in T \quad (13)$$

(Restrição de capacidade de preparo via cateter central (atribuição apenas a enfermeiros)

$$\sum_{a \in A} \sum_{u=\max(1, t-j+1)}^{\min(T-j+1, t)} \sum_{n=1}^{b_{at}} n \, x_{a\,j}^{nu} \; * \theta_{aj} / 6 \leq f_t \,, \forall \; t \; \in T \quad (14)$$

(Restrição de capacidade de acompanhamento, dados variados níveis de atenção requeridos)

As restrições (8) e (9) são de redefinição das variáveis binárias $x_{a\,j}^{n\,t}$, de modo que as variáveis referentes a tratamentos com tempo de duração de cinco a oito horas são definidas apenas para os quatro primeiros horários de funcionamento da clínica. Assim, tratamentos com cinco ou mais horas de duração só serão iniciados no período da manhã. Já tratamentos com uma a quatro horas de duração podem ser agendados em qualquer horário que não o quinto horário do dia, uma vez que não há produção neste horário (restrição (9)). A experiência dos profissionais do ambulatório indica que tratamentos de longa duração de infusão apresentam maior probabilidade de intercorrências e prolongamento do tempo de utilização do espaço da clínica. Assim, as

variáveis (8) e (9) objetivam aumentar a probabilidade de término de todos os tratamentos até o horário padrão de encerramento da atividade no ambulatório.

A restrição (10), por sua vez, garante que seja alocado um número mínimo de espaços para os diferentes tipos de tratamentos. Essa restrição tem por objetivo, impedir que o aumento de número de pacientes atendidos ocorra pela eliminação total de alocação de espaços para tratamentos mais longos.

As restrições (11.1) e (11.2) garantem que a variação entre espaços alocados na parte da manhã e na parte da tarde não ultrapasse determinado valor predeterminado, u. A equipe do ambulatório relata que o desequilíbrio entre a demanda da parte da manhã e da parte da tarde de um dia de funcionamento do ambulatório é um problema e estas restrições endereçam este ponto. Segundo relatado, acumulam-se atendimentos em uma parte do dia, o que torna a distribuição de trabalho entre as equipes de enfermagem desigual.

As restrições (12), (13) e (14) referem-se às restrições de demanda pela equipe de enfermagem, tanto no preparo do paciente, quanto em seu acompanhamento.

O tempo de preparo do paciente para a sessão de quimioterapia é, em média, de 30 minutos. Assim, em cada horário *t* de atendimento, cada membro da equipe de enfermagem pode ser designado para o preparo de dois pacientes. A restrição (12) restringe o número de pacientes com início de sessão para cada período *t* do dia ao número total de enfermeiros e técnicos, f_t, multiplicado por dois. Já a restrição (13) refere-se ao fato de que 20% dos preparos poderem ser realizados apenas por enfermeiros, cuja disponibilidade é des_t.

Além do cuidado de preparo dos pacientes, cada membro da equipe de enfermagem pode ser responsável por acompanhar um número máximo de pacientes, dentre pacientes em fase de infusão e em fase de preparo, dados seus níveis de acuidade. Através da restrição (14), então, limita-se o número total de pacientes pela restrição de número de membros da equipe de enfermagem disponíveis a cada período de atendimento no ambulatório, f_t, e pelos diferentes níveis de atenção requeridos pelos diferentes perfis de pacientes, $\boldsymbol{\theta_{aj}}$. A variação do nível de acuidade ocorre da seguinte forma: pacientes de ambos os tipos de tratamento e com tempo de infusão de uma a quatro horas exigem um nível de atenção

despendida por um enfermeiro da equipe fixado em um, enquanto para tratamentos de cinco a oito horas o nível de atenção requerido é dobrado, ou seja, nível dois de atenção.

As restrições (12), (13) e (14) têm por objetivo contribuir para que a clínica possa avaliar se, de fato, a equipe de enfermagem não é um recurso escasso.

Esse modelo é adaptado à realidade do ambulatório Borges da Costa, mas não é o único avanço em relação ao modelo monobjetivo de recursos escassos inicialmente proposto. Como já apresentado, é de interesse do ambulatório tanto ser capaz de atender o maior número possível de pacientes, como, também, respeitar, ao máximo, a alocação de pacientes de acordo com a frequência histórica de ocorrência de cada tipo de tratamento. Como uma escala ideal, precisaria atender a objetivos aparentemente conflitantes, propõe-se um modelo multiobjetivo a partir do modelo monobjetivo com considerações empíricas já apresentado. O embasamento teórico e o modelo elaborado são apresentados na seção seguinte.

4.2.2 Modelo multiobjetivo

O aumento do número de pacientes atendidos é, no limite, conflitante com a máxima aderência à distribuição de ocorrência de cada tipo de tratamento. Até certo número total de pacientes, é possível respeitar-se a distribuição de frequência histórica. Entretanto, a partir de um limite, o aumento do número de pacientes pode prejudicar a aderência à frequência histórica, uma vez que a tendência para aumento de atendimentos é de privilegiar agendamentos de curta duração. Assim, não existe uma solução única que otimize ambos os objetivos simultaneamente e, adotando-se o método de resolução monobjetivo, obtém-se apenas uma única solução, que privilegia um objetivo em detrimento do outro.

Além disso, na prática, os gestores responsáveis pela proposição das escalas de agendamento convivem com incertezas, como variações no número de enfermeiros disponíveis, prolongamentos de sessões em curso, não comparecimento dos pacientes para as sessões, dentre outras. Por isso, soluções flexíveis que sejam capazes de absorver repentinas mudanças que aconteçam no ambiente da clínica, de modo a manter-se o sistema próximo à otimalidade, são do interesse do ambulatório.

A otimização multiobjetivo resulta em um conjunto de soluções eficientes, conhecido como soluções Pareto-ótimas, o que torna o sistema mais flexível. Neste caso, a tomada de decisão será de responsabilidade do gestor, que poderá escolher a solução que melhor se adeque às suas necessidades, dentre as soluções eficientes apresentadas.

Por definição, um conjunto de soluções S é Pareto-ótimo se não existe outro conjunto de soluções viáveis S^* que possa melhorar algum dos objetivos, sem causar uma piora em pelo menos outro dos objetivos. Em outras palavras, uma solução s pertence ao conjunto de soluções Pareto-ótimo S se não existe solução s^* que domine s. Considerando-se um problema de minimização, tem-se

- s domina s^* se, e somente se, $s \leq s^*$ para todos os objetivos;
- s e s^* são indiferentes ou possuem o mesmo grau de dominância se, e somente se, s não domina s^* e s^* não domina s.

Assim, as soluções multiobjetivo, ou soluções de Pareto, são as melhores soluções dentre as quais não existe um ordenamento, ou seja, não há como se definir, a partir da avaliação das funções objetivo, que uma solução é melhor do que as demais.

Dentre os diversos métodos exatos para a resolução de um problema multiobjetivo, este trabalho foca no método épsilon-restrito (ε-restrito), o qual se baseia no teorema apresentado a seguir.

Teorema: Se $x^* \in F_x$ é eficiente, então existe inteiro $i \in \{1, 2, \ldots, m\}$ e número reais

$e_j, j = 1, \ldots, m\ (j \neq i)$ tais que x^* resolva:

$$x^* = \arg min_{x^* \in F_x} f_i(x)$$

$$sujeito\ a: \{f_j(x) \leq e_j\}, j = 1, \ldots, m\ (j \neq i) \qquad (15)$$

O método ε-restrito converte m -1 dos m objetivos em restrições e encontra as soluções não dominadas variando-se o limite superior dessas restrições.

O processo de resolução deste problema envolve três etapas.

1. Inicialmente, determinam-se os valores adequados para a inicialização do vetor ε. Isto é feito resolvendo-se os m problemas mono-objetivo. Obtém-se, assim, os valores de f_i^*, os quais são os ótimos individuais de cada objetivo.
2. Paralelamente, nesta mesma operação, são determinados os piores valores atingidos por cada objetivo, quando outro objetivo está em seu ótimo, formando-se o vetor f^0.
3. Cada problema (15) é resolvido para vetores ε resultantes de um gerador de números aleatórios com distribuição de probabilidade uniforme, atendendo-se à restrição:

$$f^* \leq \varepsilon \leq f^o$$

Esta abordagem tem como objetivo, então, a geração sempre de um subconjunto representativo do conjunto de soluções eficientes do problema multiobjetivo. Deseja-se gerar um conjunto de pontos que descreva o universo de soluções eficientes, sem, ainda, levar em consideração a preferência do gestor quanto a tais pontos.

Tendo-se este objetivo em vista, desenvolveu-se um modelo multiobjetivo que considera a busca tanto pelo aumento do número de pacientes atendidos, quanto pela máxima aderência à distribuição histórica de frequência dos diferentes tipos de tratamento. Este modelo é apresentado a seguir.

$$\min \sum_{a \in A} \sum_{j \in J} (z_{a\,j}) \qquad (16.1a)$$

(Função objetivo 1 – Minimização dos desvios de alocação de acordo com frequência histórica)

$$q \geq N \qquad (16.1\ b)$$

(Restrição de função multiobjetivo de mínimo de alocação total de espaços na escala de agendamento)

$$\sum_{a \in A} \sum_{j \in J} (z_{a\,j}) \leq E \qquad (16.2a)$$

(Restrição de função multiobjetivo de máximo de desvio da alocação total de espaços na escala de agendamento)

$$\max q \quad (16.2\ b)$$

(Função objetivo 2 – Maximização do total de espaços alocados na escala de agendamento)

$$\sum_{a \in A} \sum_{j \in J} \sum_{u=\max(1,t-j+1)}^{\min(T-j+1,t)} \sum_{n=1}^{b_{at}} n\, x_{a\,j}^{nu} \leq r \qquad \forall\ t = 1 \dots T \qquad (17)$$

(Restrição de limitação da capacidade de leitos)

$$\sum_{t=1}^{T-j+1} \sum_{n=1}^{b_{at}} n\, x_{a\,j}^{n\,t} - q * p_{a\,j} \leq z_{a\,j} \quad \forall\ a \in A, j \in J \qquad (18)$$

(Restrição de avaliação dos desvios de alocação)

$$\sum_{j \in J} \sum_{n=1}^{b_{at}} n\, x_{a\,j}^{n\,t} \leq b_{a\,t} \quad \forall\ a \in A, t \in T \mid t \leq (TD - j + 1) \quad (19)$$

(Restrição de limitação da capacidade de manipulação de medicamentos)

$$z_{a\,j} \geq 0 \quad a \in A, j \in J \quad (20)$$

$$x_{a\,j}^{n\,t} \in \{0,1\} \quad a \in A, \quad j \in \{5,6,7,8\}\ t = 1\ldots(T - j + 1\ )|\ t < 5, \qquad n\ = 1..b_{at} \quad (21)$$

$$x_{a\,j}^{n\,t} \in \{0,1\} \quad a \in A, \quad j \in \{1,2,3,4\}\ t = 1\ldots(T - j + 1\ )|\ t \neq 5, \qquad n\ = 1..b_{at} \quad (22)$$

(Definição de variáveis binárias, com limitação horário de início de sessões)

$$\sum_{t=1}^{T-j+1} \sum_{n=1}^{b_{at}} n\, x_{a\,j}^{n\,t} \geq pmin_{aj} \qquad \forall\ a\ \in A, j\ \in J\ \ (23)$$

(Restrição de alocação mínima para todo tipo de tratamento)

$$\sum_{a \in A} \sum_{j \in J} \sum_{t=1}^{\min(5,\,TD-j+1)} \sum_{n=1}^{b_{at}} n\, x_{a\,j}^{n\,t} \ - \sum_{a \in A} \sum_{j \in J} \sum_{t=6}^{\min(6,\ \ Td-j+1)} \sum_{n=1}^{b_{at}} n\, x_{a\,j}^{n\,t} \ \leq u \ \ (24.1)$$

$$\sum_{a \in A} \sum_{j \in J} \sum_{t=6}^{\min(6,\ \ Td-j+1)} \sum_{n=1}^{b_{at}} n\, x_{a\,j}^{n\,t} \ - \sum_{a \in A} \sum_{j \in J} \sum_{t=1}^{\min(5,\,TD-j+1)} \sum_{n=1}^{b_{at}} n\, x_{a\,j}^{n\,t} \ \leq u \ \ (24.2)$$

(Restrição de equilíbrio entre sessões com início durante a manhã e a tarde)

Trabalha-se com a solução de dois modelos. O primeiro envolve as equações (16.1a) e (16.1b). A função de minimização (16.1a) - mesma apresentada no modelo monobjetivo de recursos escassos - é de minimização dos desvios $z_{a\,j}$. Entretanto, neste modelo, o número total de pacientes, q, é uma variável e a restrição (16.1b) garante que q não seja inferior a um dado valor N. Trata-se da abordagem multiobjetivo. Varia-se N, de modo a se obter uma série de soluções eficientes.

Para a geração de outro grupo de soluções eficientes, trabalha-se com a função objetivo (16.2a) que é de maximização do número de pacientes. A restrição (16.2b) garante que a somatório dos desvios $z_{a\,j}$ não ultrapasse um dado valor E. Varia-se E, de modo a se obter uma série de soluções eficientes.

As demais restrições são as mesmas previamente apresentadas, sendo de limitação de número de leitos (17), limitação de capacidade de manipulação de medicamentos (19), garantia de mínimo de atendimento de cada tipo de tratamento (23), equilíbrio entre número de atendimentos no período da manhã e da tarde (24.1, 24.2) e garantia de início dos tratamentos longos na parte da manhã (21 e 22).

Como resultado dessa abordagem, obtém-se, então, uma série de soluções eficientes, como será apresentado na discussão dos Experimentos Computacionais.

4.3 Resumo dos modelos propostos

A seguir apresenta-se resumidamente os modelos deenvolvidos, com a indicação das restrições consideradas.

1) **Modelo de recursos escassos**

   - **Função objetivo:** Minimização dos desvios de alocação de acordo com a expectativa segundo a frequência histórica.
   - **Recursos limitados:** Leitos, capacidade de preparo de medicamentos, tempo de funcionamento da clínica.

2) **Modelo com considerações empíricas**

   - **Função objetivo:** Minimização dos desvios de alocação de acordo com a expectativa segundo a frequência histórica.
   - **Recursos limitados:** Leitos, capacidade de preparo de medicamentos, tempo de funcionamento da clínica.
   - **Restrições com base empírica:** Mínimo de alocações por tipo de tratamento, tratamentos de 5 a 8 horas apenas se iniciam na parte da manhã, equilíbrio entre início do tratamento manhã/tarde, variação no nível de atenção requerida relacionada ao tempo da sessão.

3) **Modelo com restrições da equipe de enfermagem**

- **Função objetivo:** Minimização dos desvios de alocação de acordo com a expectativa segundo a frequência histórica.
- **Recursos limitados:** Leitos, capacidade de preparo de medicamentos, tempo de funcionamento da clínica, capacidade de atendimento da equipe de enfermagem.
- **Restrições com base empírica** Mínimo de alocações por tipo de tratamento, tratamentos de 5 a 8 horas apenas se iniciam na parte da manhã, equilíbrio entre início do tratamento manhã/tarde, variação no nível de atenção requerida relacionada ao tempo da sessão.
- **Restrições com base empírica associadas à equipe de enfermagem:** Limite do número de enfermeiros e técnicos, nível máximo total de atenção requerida por pacientes atribuído à equipe de enfermagem.

4) **Modelo multiobjetivo**

- Função objetivo: Maximização de alocações e minimização dos desvios de alocação de acordo com a expectativa segundo frequência histórica.

5 Experimentos Computacionais

Com o intuito de se explorar a elaboração de escalas otimizadas que respeitem a distribuição de frequência de ocorrência de cada tipo de sessão de quimioterapia e maximizem a utilização da capacidade da clínica, recorreu-se à memória de agendamento do ano de 2016 e do primeiro semestre de 2017. Na Figura 7 é apresentada a distribuição da incidência dos diferentes tipos de agendamento neste período.

Objetiva-se aqui oferecer uma escala de agendamento padrão para o Ambulatório Borges da Costa, uma vez que, pela análise da realidade dos tratamentos de quimioterapia, não há sazonalidade associada à doença. Opta-se, então, por se trabalhar com a proposição de uma escala de agendamento baseada na média de frequência dos diferentes tipos de tratamento de acordo com os dados coletados. Para tanto, realizou-se uma análise estatística da base de dados 2016/2017 e foram retirados os outliers nesta fase de tratamento dos dados.

A média porcentual dos diferentes tipos de agendamentos é apresentada na Tabela 8. A média de pacientes atendidos diariamente é de 41 pacientes.

Tabela 8: Média de frequência de ocorrência dos diferentes tipos de tratamento quimioterápicos com base em dados históricos do ano de 2016 e do primeiro semestre de 2017

Tempo de infusão (h)												
Preparo tipo I								Preparo tipo II				
1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5
3.8%	38.8%	19.5%	11.4%	3.9%	0.7%	1.4%	0.1%	11.2%	8.1%	0.9%	0.4%	0.4%

Para o uso da escala proposta efetivamente no dia a dia da clínica, alterações certamente serão realizadas, de modo a se adaptar sempre às necessidades que surgirem. Entretanto, como se entende que há certo padrão na demanda pelos tratamentos, acredita-se que a escala absorverá, sem maior necessidade de alterações, a maior parte das solicitações.

Importante destacar que os dados referem-se ao tempo para o qual cada paciente foi agendado e não ao tempo em que este efetivamente permaneceu em tratamento no dia agendado. Assim, o tempo real de permanência do paciente em tratamento a cada sessão pode divergir significativamente daquele para o qual foi agendado e este fator não está sendo considerado no

presente trabalho. Entretanto, uma vez que a base de dados trouxesse informações do real tempo dispendido por cada paciente na clínica em seu dia de tratamento, seria possível oferecer uma escala padrão mais realista ao ambulatório.

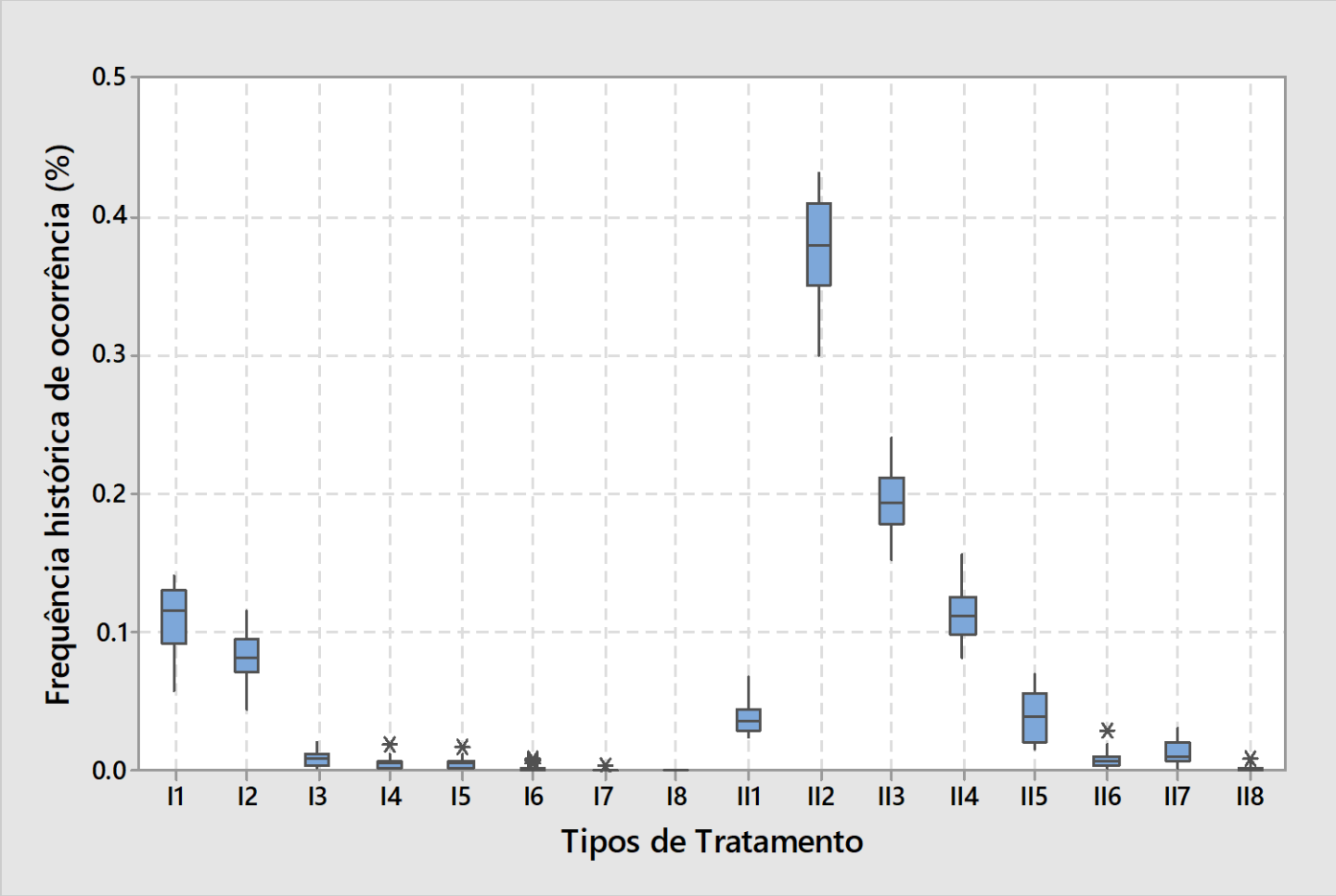


Figura 7: Distribuição de ocorrência dos diferentes tipos de tratamento
no período de Janeiro de 2016 a Junho de 2017

A seguir são apresentados os resultados para os modelos discutidos anteriormente. Os experimentos foram realizados utilizando-se o solver GLPK.

5.1 Modelo monobjetivo de recursos escassos

Este é o modelo que considera os seguintes recursos limitados: leitos, capacidade de manipulação dos medicamentos e tempo de funcionamento do ambulatório. Sua função objetivo consiste na minimização dos desvios de alocação, segundo a frequência histórica.

Analisou-se o comportamento da frequência de alocação para os diferentes tipos de tratamento, à medida que se aumenta o número de espaços totais alocados. Avaliando-se qual seria o limite de alocação, sem que houvesse variação na frequência de alocação, atingiu-se a alocação de 70 espaços para agendamento na escala.Além disso, avaliou-se o limite da capacidade total, independente do desvio da frequência histórica, atingindo-se a alocação de 96 espaços na escala de agendamento.

Os cenários intermediários a esses dois extremos foram, então, otimizados e a distribuição de frequência resultante é apresentada na Figura 8. Nas análises apresentadas a partir deste ponto do trabalho, os tratamentos são identificados com um código composto primeiramente pelo tipo de preparo correspondente e, na sequência, pelo tempo de infusão do tratamento. Assim, por exemplo, o código II_3 refere-se a um tratamento com preparo de medicamento tipo II e tempo de infusão de três horas.

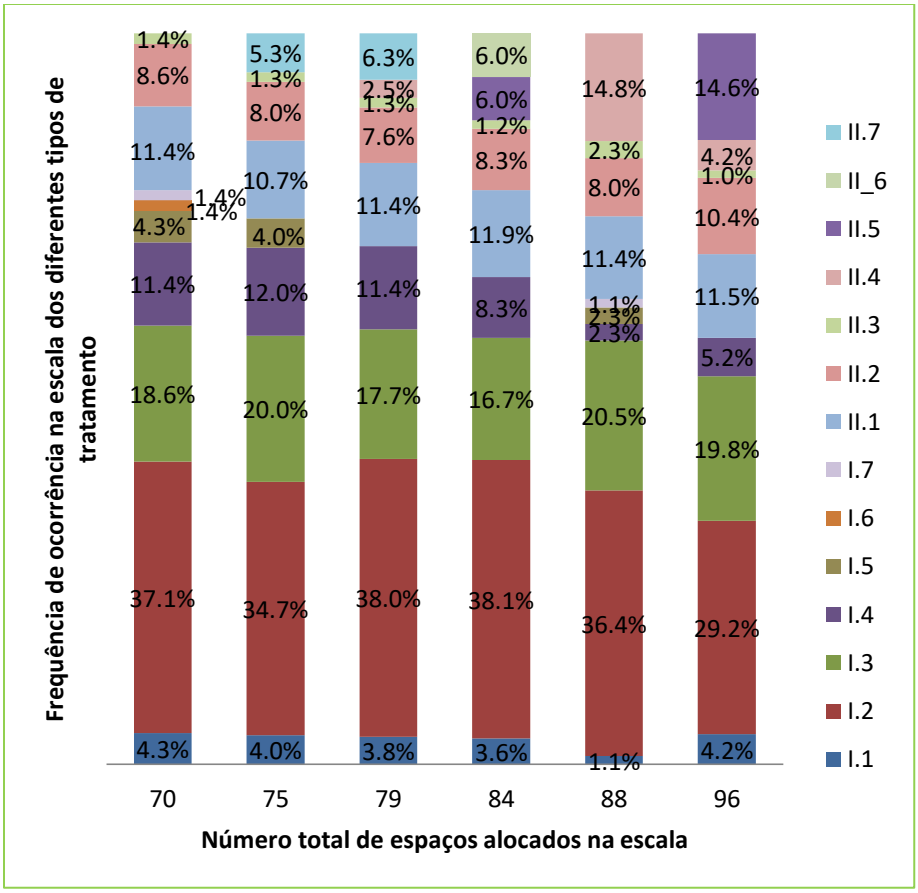


Figura 8: Frequência da alocação de espaços para os diferentes tipos de tratamento para o modelo de recursos escassos

A análise da Figura 8 mostra que a distribuição de frequência resultante, quando há alocação para setenta espaços é equivalente à distribuição de frequência média histórica. Isto era esperado, dado que 70 alocações de espaços na escala é o limite para que não haja desvios, ou seja, para que a função objetivo permaneça em zero. Como esperado, à medida que se aumenta a alocação de espaço na escala de agendamento, maior é a variação de distribuição de frequência em relação a essa média histórica. Os desvios nas alocações são apresentados na Figura 9 e percebe-se que há uma tendência linear de aumento de desvios com o aumento do número de espaços alocados na escala.

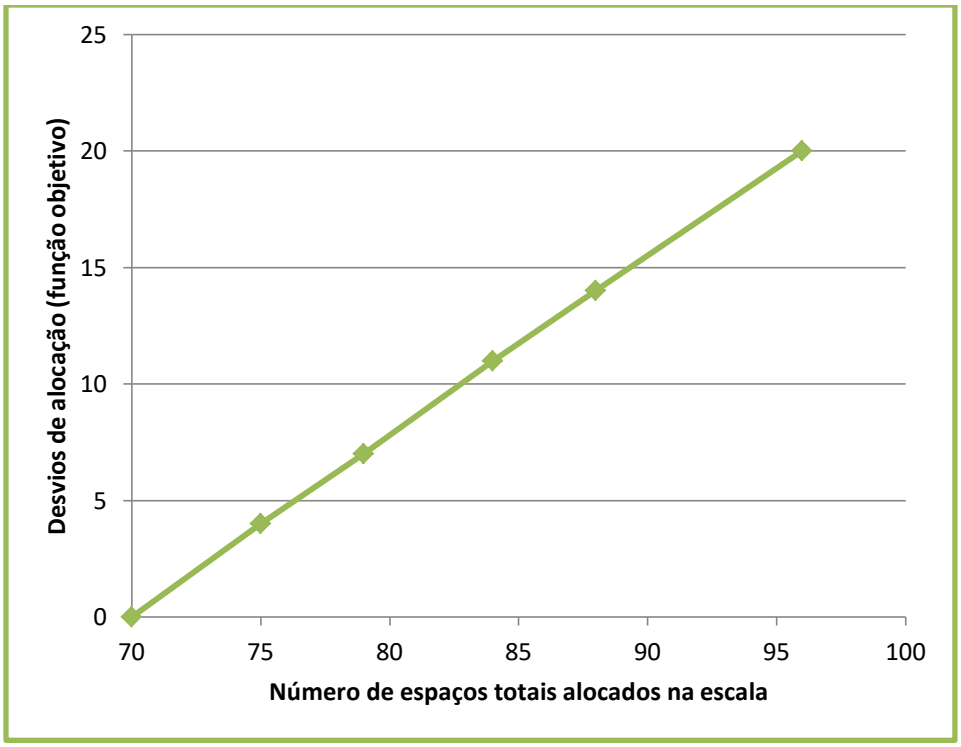


Figura 9: Desvios na alocação de espaços para os diferentes tipos de tratamento para o modelo de recursos escassos

Retomando-se a análise dos resultados apresentados na Figura 8, o destaque da variação percebida é a tendência de diminuição da frequência dos tratamentos tipo I e aumento da frequência dos tratamentos tipo II. Este é um indicativo que há um recurso escasso para o tratamento com preparo tipo I que limita o crescimento do número de espaços alocados para estes na escala. Pela descrição apresentada do ambulatório, esse recurso escasso seria, então, a capacidade de preparo de medicamento tipo I.

Para validar-se essa hipótese, avaliou-se a utilização da capacidade de manipulação dos quimioterápicos com preparo tipo I e tipo II e os resultados obtidos são apresentados nas Figuras 10 e 11, respectivamente.

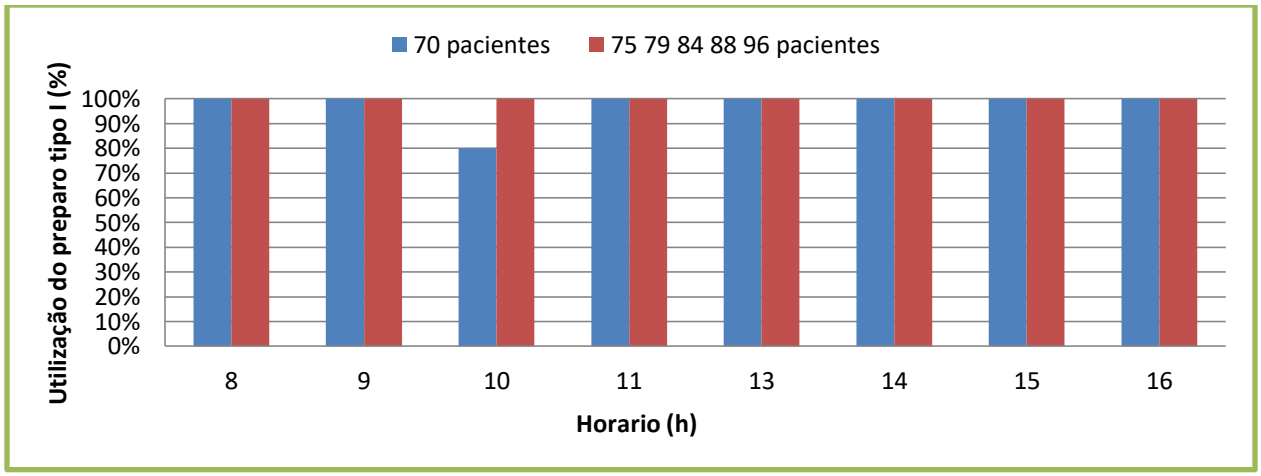


Figura 10: Utilização da capacidade de preparo tipo I, considerando-se o número de espaços totais alocados na escala

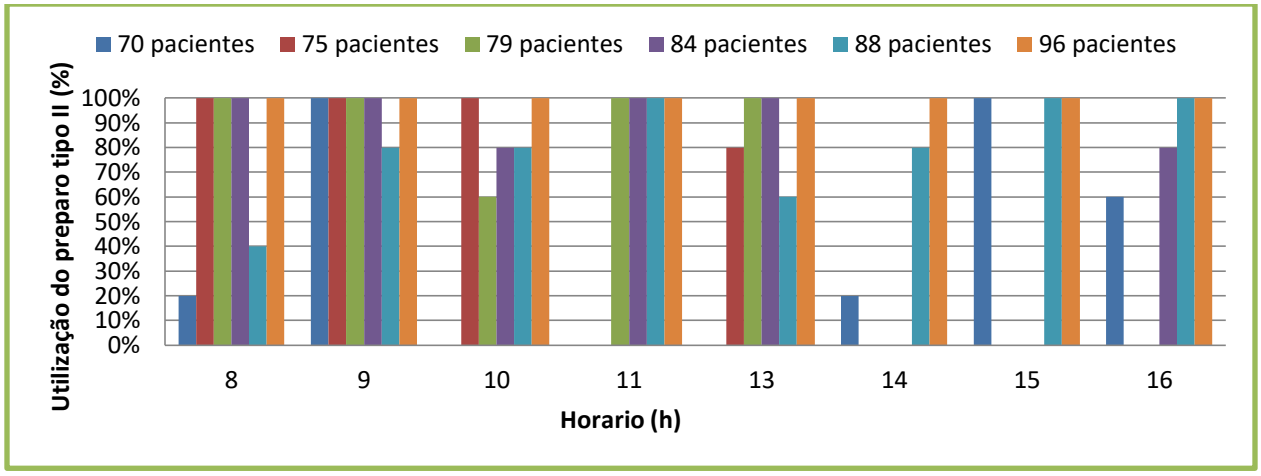


Figura 11: Utilização da capacidade de preparo tipo II, considerando-se o número total de espaços alocados na escala

Nestes gráficos, tem-se a utilização da capacidade de preparo tipo I e II a cada horário de manipulação dos medicamentos. Como se observa pela Figura 10, no limite da alocação de pacientes sem alteração na distribuição de frequências (70 espaços alocados), a utilização da capacidade de preparo tipo I é de 100% em sete dos oito horários de manipulação e 80% em apenas um horário de manipulação. Assim, este é claramente um recurso escasso que limita o aumento da capacidade de atendimento simultâneo à manutenção da distribuição de frequência média histórica, ainda que haja disponibilidade de leitos. Já a capacidade de manipulação dos medicamentos de preparo tipo II só é utilizada 100% quando se alocam noventa e seis espaços na escala de agendamento, isto é, o limite superior de alocação, como se observa na Figura 11.

Como noventa e seis alocações é o limite superior de alocação e este ocorre para 100% de utilização da capacidade de manipulação dos medicamentos, sendo esta capacidade exatamente de 96 preparos de medicamento por dia, a capacidade de preparo dos dois medicamentos é, de fato, recurso escasso limitante no Ambulatório Borges da Costa.

O levantamento da utilização da capacidade de leitos de acordo com os resultados obtidos para o crescente número de espaços alocados na escala é apresentado na Figura 12. Para a alocação de setenta pacientes, tem-se uma taxa de ocupação de 57%, a qual é consideravelmente inferior àquela preconizada pela ANS, isto é, entre 75% e 85%. Já com a alocação de 96 espaços na escala de agendamento, a taxa de utilização dos leitos do ambulatório atinge 83%, valor sugerido pela ANS, ainda que, como já apresentado, essa escala de agendamento se distancie consideravelmente da frequência histórica de distribuição de alocações.

Pelo gráfico da Figura 12, percebe-se, ainda, que o modelo de otimização resulta em alocações em que há picos de utilização da capacidade dos leitos e momentos de grande ociosidade. Além disso, a diminuição na utilização da capacidade dos leitos, de acordo com a escala otimizada resultante deste modelo monobjetivo de recursos escassos, ocorre, em geral, no horário das 17 horas.

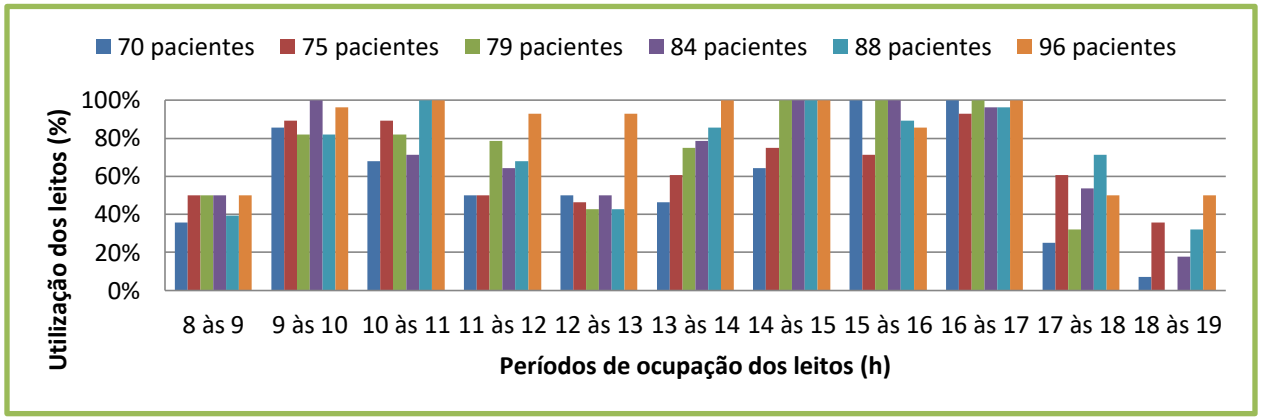


Figura 12: Utilização da capacidade dos leitos, considerando-se o número de espaços totais alocados na escala

Com o intuito de se melhor explorar a distribuição de agendamentos ao longo do dia, utilizando-se do conhecimento empírico da equipe do ambulatório, desenvolveu-se os modelo monobjetivo com considerações empíricas. A análise resultando do modelo monobjetivo de recursos escassos

aponta haver espaço para melhor distribuição dos agendamentos, ainda que não se altere a capacidade de manipulação dos medicamentos.

5.2 Modelo monobjetivo com considerações empíricas

Os resultados do modelo monobjetivo de recursos escassos apontaram aspectos a serem mais bem explorados no trabalho e que são compatíveis com o relato dos funcionários do Ambulatório Borges da Costa. Os resultados apresentados nesta seção são referentes ao modelo monobjetivo com considerações empíricas, sem a utilização das restrições de capacidade da equipe de enfermagem. Neste, limita-se os atendimentos de cinco horas ou mais de tempo de sessão para os horários da manhã, além de se exigir equilíbrio entre o número de sessões iniciadas na parte da tarde e aquelas iniciadas nos horários da manhã. Importante destacar que esta restrição não garante equilíbrio da utilização dos leitos em horas, mas sim o equilíbrio de preparo de pacientes para as sessões.

A distribuição de frequência para as alocações de 70 a 96 espaços na escala resultante do modelo com considerações empíricas é apresentada no gráfico da Figura 13. Assim como os resultados do modelo de recursos escassos, percebe-se o aumento da participação dos tratamentos com preparo tipo II, frente àqueles de preparo tipo I. Pelo gráfico apresentado na Figura 14, percebe-se que as restrições adicionadas ao modelo de recursos escassos não impactam a função objetivo (minimização de desvios) do modelo. Isso indica que as restrições impactaram não a eficiência em termos de capacidade, mas sim a organização do ambulatório para o atendimento aos pacientes e a análise da utilização dos leitos tem potencial para validar essa hipótese.

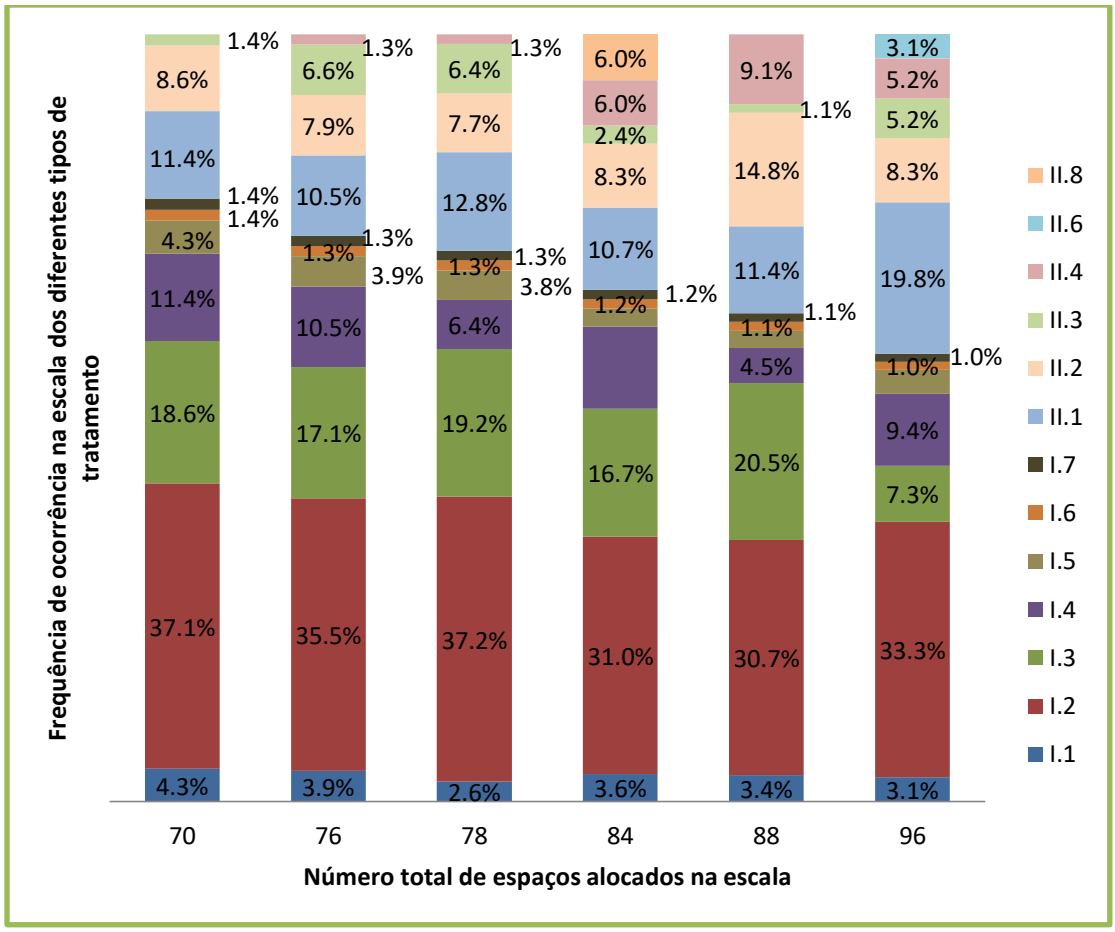


Figura 13: Frequência da alocação de espaços para os diferentes tipos de tratamento para o modelo com considerações empíricas sem restrição da equipe de enfermagem

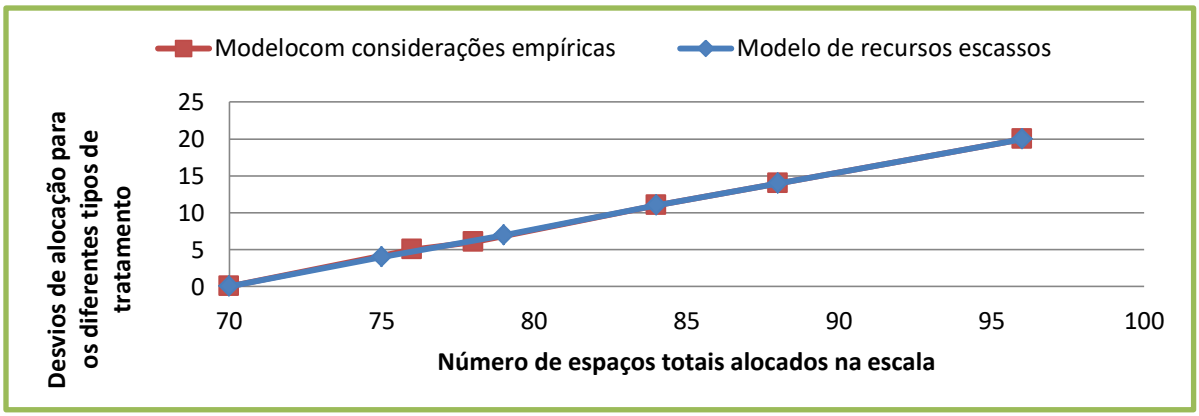


Figura 14: Desvios na alocação de espaços para os diferentes tipos de tratamento para o modelo com considerações empíricas sem restrição da equipe de enfermagem

A utilização dos leitos para o modelo com considerações empíricas é analisada para a alocação de setenta espaços na escala, ou seja, o limite de alocação, sem que haja desvios na frequência

em relação à média histórica. Opta-se por esta análise, porque o objetivo deste trabalho é propor uma escala factível ao ambulatório e o respeito à média de frequência histórica é um fator decisivo nesse sentido.

Pelo gráfico da Figura 15, percebe-se que, de fato, há considerável aumento da utilização da capacidade dos leitos na parte da manhã no caso do modelo com considerações empíricas em relação ao modelo de recursos escassos para a alocação de setenta horários de atendimento na escala de agendamento. Além disso, os resultados do modelo com considerações empíricas mostram nível de utilização dos leitos consideravelmente menor a partir do horário das 15 horas da tarde. No caso do modelo de recursos escassos, a queda na utilização dos leitos ocorre apenas às 17 horas da tarde.

Como não houve alteração na oferta dos recursos limitados, a taxa de ocupação dos leitos continua em 57%, valor abaixo do recomendado pela ANS com ideal (75% - 85%).

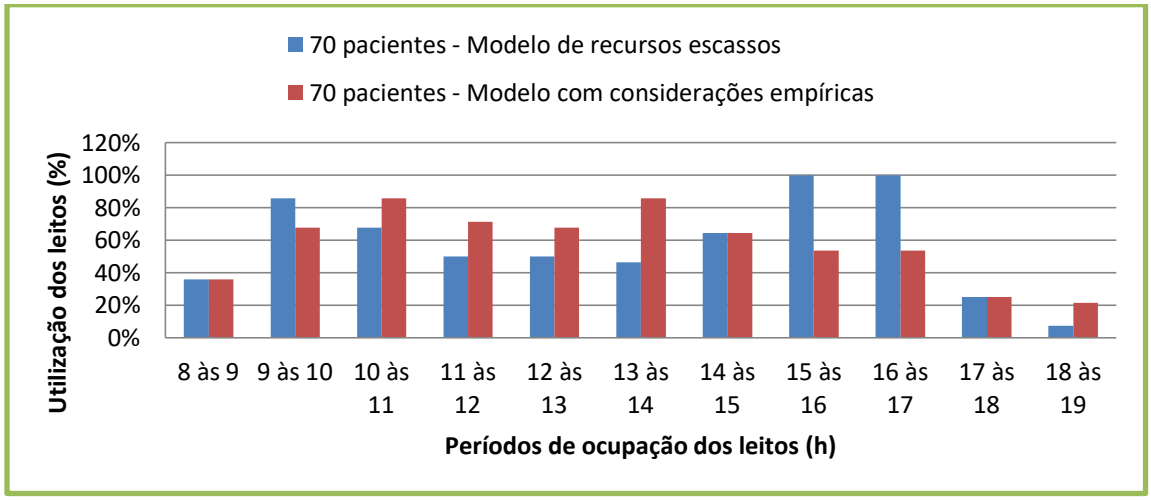


Figura 15: Utilização da capacidade dos leitos para a alocação de 70 espaços na escala pelo modelo de recursos escassos e pelo modelo com considerações empíricas sem restrição da equipe de enfermagem

Através destes resultados, tem-se que, de fato, as restrições adicionadas ao modelo de recursos escassos para a construção do modelo com considerações empíricas não impactam negativamente a função objetivo, mas geram sim impacto positivo para o Ambulatório Borges da Costa. Com o nível de ocupação dos leitos diminuindo consideravelmente a partir das 15 horas, duas horas mais cedo do que o resultado obtido com o modelo de recursos escassos, há maior flexibilidade para se absorver potenciais intercorrências durante o horário de atendimento, bem

como atrasos e atendimentos emergenciais. O respeito ao horário de encerramento do funcionamento da clínica é vital e este modelo com considerações empíricas determina uma escala de agendamento aderente a essa realidade.

A escala com alocação de 70 espaços para agendamento, resultante do modelo com considerações empíricas sem restrição da capacidade da equipe de enfermagem é apresentada na Figura 16.

		Horários (h)										
		8 às 9	9 às 10	10 às 11	11 às 12	12 às 13	13 às 14	14 às 15	15 às 16	16 às 17	17 às 18	18 às 19
Leitos	1	L_3			L_3			L_2		L_3		
	2	L_3			L_3			L_2		L_3		
	3	L_3			L_3			L_2		L_3		
	4	L_3			L_3			L_2		IL_1	Vazio	Vazio
	5	L_3			Vazio	Vazio	IL_1	L_2		IL_1	Vazio	Vazio
	6	L_3			Vazio	Vazio	IL_1	L_2		IL_1	Vazio	Vazio
	7	L_5					Vazio	L_2		IL_1	Vazio	Vazio
	8	IL_1	L_5					L_2		IL_1	Vazio	Vazio
	9	Vazio	Vazio	Vazio	L_5					Vazio	Vazio	Vazio
	10	L_6						L_2		Vazio	Vazio	Vazio
	11	L_7							L_2		Vazio	Vazio
	12	Vazio	L_2		IL_2		L_2		L_2		Vazio	Vazio
	13	Vazio	L_2		IL_2		L_2		Vazio	L_2		Vazio
	14	Vazio	L_2		IL_2		L_2		IL_4			
	15	Vazio	L_2		IL_2		L_2		IL_4			
	16	Vazio	L_2		IL_2		L_2		IL_4			
	17	Vazio	L_2		Vazio	Vazio	L_2		Vazio	Vazio	Vazio	Vazio
	18	Vazio	L_2		Vazio	Vazio	IL_2		Vazio	Vazio	Vazio	Vazio
	19	Vazio	L_2		Vazio	Vazio	L_1	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio
	20	Vazio	IL_3			Vazio	L_1	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio
	21	Vazio	Vazio	IL_4				Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio
	22	Vazio	Vazio	IL_4				Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio
	23	Vazio	Vazio	IL_4				Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio
	24	Vazio	Vazio	IL_4				Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio
	25	Vazio	Vazio	IL_4				Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio
	26	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio
	27	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio
	28	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio

Figura 16: Escala de agendamento para alocação de setenta pacientes resultante do modelo com considerações empíricas sem restrição de capacidade da equipe de enfermagem (sem desvios da frequência história de alocação)

Para completar essa análise da capacidade da clínica e do melhor modelo de distribuição das sessões ao longo do dia de atendimento, elaborou-se, também, um modelo com considerações empíricas que considera a disponibilidade da equipe de enfermagem. O resultado desta análise é apresentado na seção seguinte.

5.3 Modelo com considerações empíricas com restrição de capacidade da equipe de enfermagem

Para a análise do impacto de se adicionar ao modelo a limitação da capacidade de atendimento da equipe de enfermagem como um todo e dos enfermeiros em específico, calculou-se, também, qual é a demanda por esses recursos, dada a alocação resultante do modelo com considerações empíricas. O resultado dessa demanda foi então comparado com os resultados obtidos através do modelo com considerações empíricas acrescido da restrição de capacidade de atendimento da equipe de enfermagem. Pelo gráfico da Figura 17, de desvios resultantes da alocação de um dado número de espaços na escala, fica claro que a adição da restrição da capacidade de atendimento dos enfermeiros e da equipe de enfermagem para preparo e acompanhamento dos pacientes não impacta a função objetivo dos modelos de minimização dos desvios.

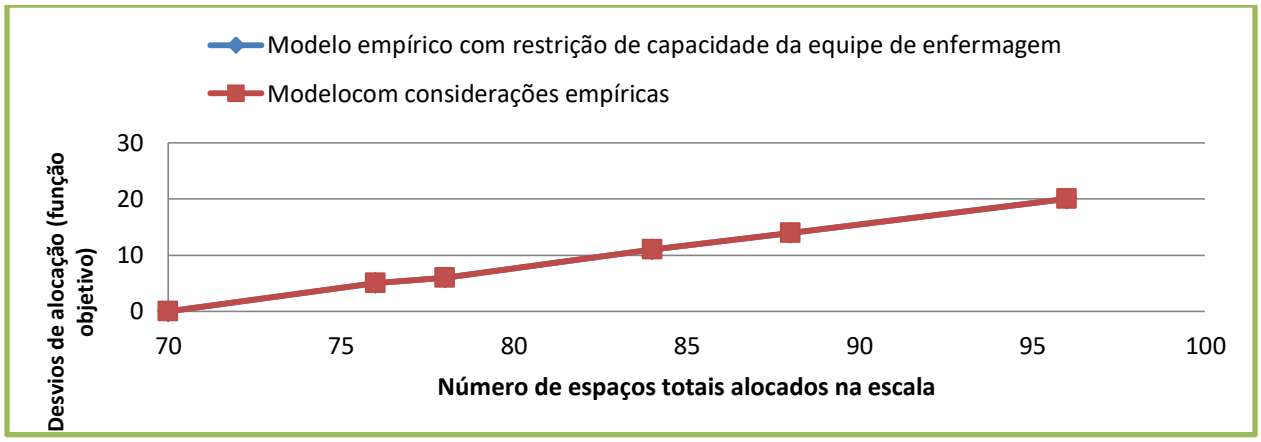


Figura 17: Desvios na alocação de espaços para os diferentes tipos de tratamento para o modelo com considerações empíricas e para o modelo com considerações empíricas e com restrição de capacidade da equipe de enfermagem

Pelos gráficos da Figura 18 e da Figura 19 conclui-se que a manutenção dos desvios, ainda que se adicione a restrição de capacidade de preparo e acompanhamento dos pacientes, ocorre porque a utilização da capacidade de preparo dos pacientes pelos enfermeiros (Figura 19) e de acompanhamento dos pacientes (Figura 18) é inferior às capacidades máximas.

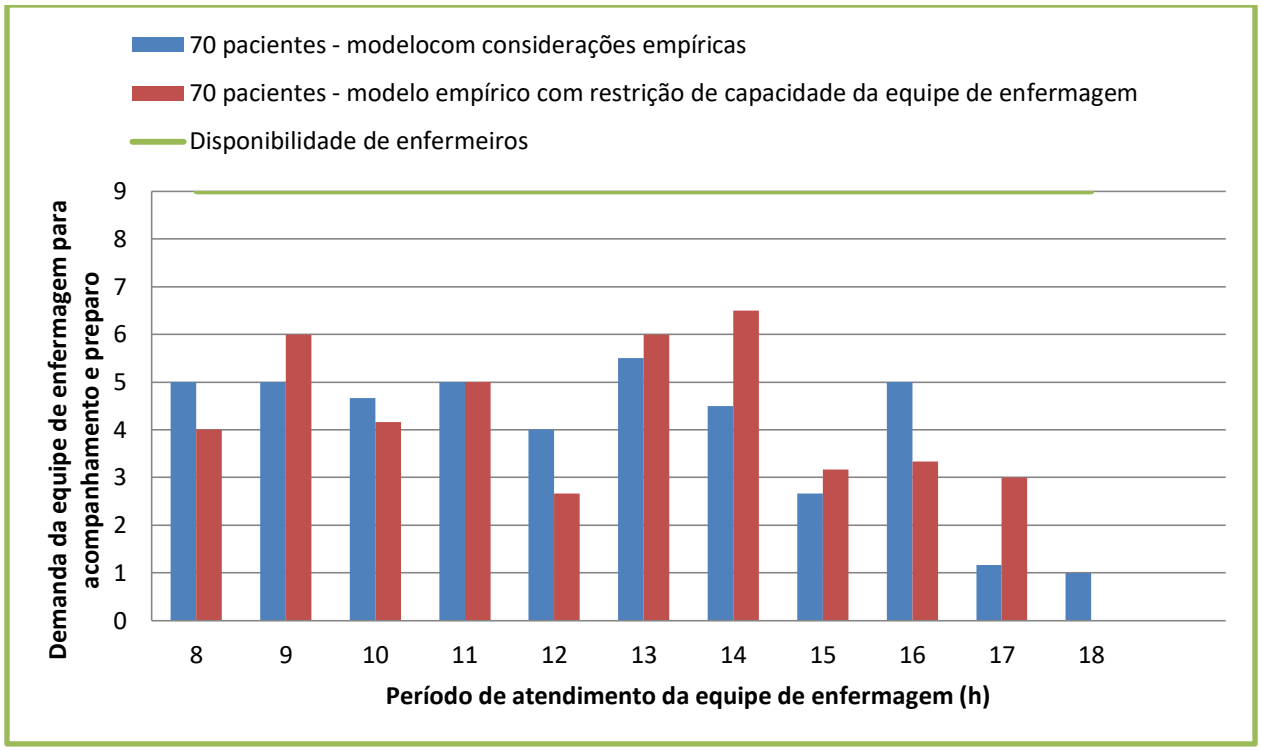


Figura 18: Utilização da capacidade da equipe de enfermagem para a alocação de 70 pacientes através do modelo com considerações empíricas e do modelo com considerações empíricas e com restrição de capacidade da equipe de enfermagem

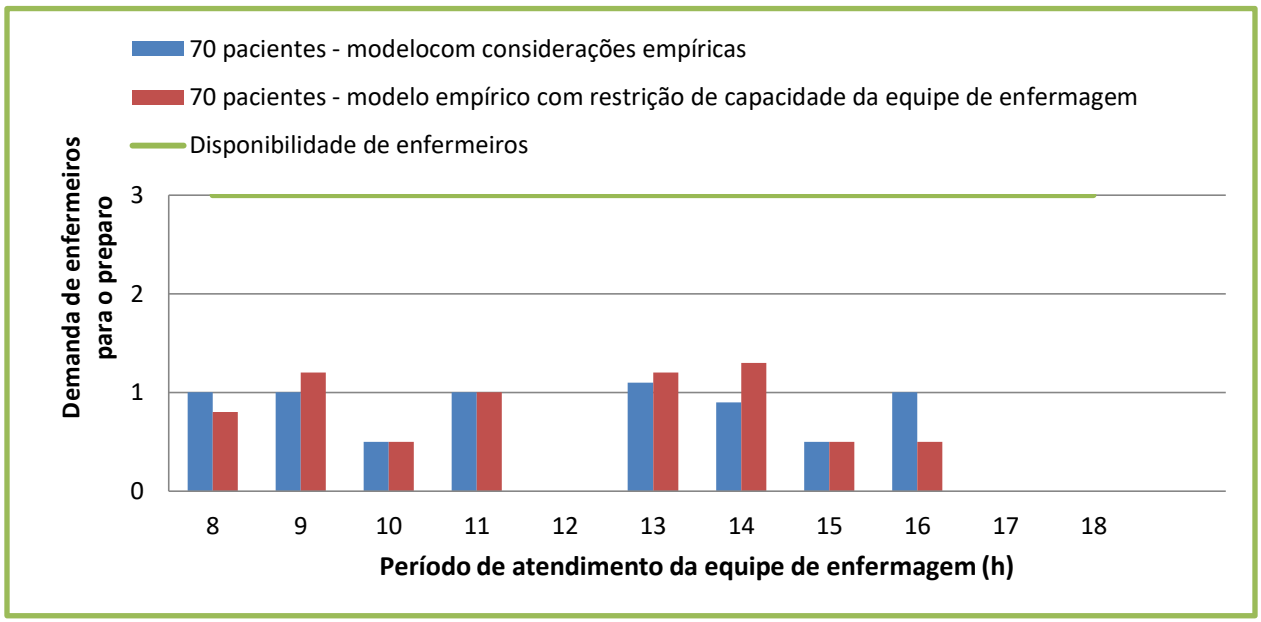


Figura 19: Utilização da capacidade de preparo de pacientes pelos enfermeiros da equipe para a alocação de 70 pacientes através do modelo com considerações empíricas e do modelo com considerações empíricas e com restrição de capacidade da equipe de enfermagem

Entretanto, observa-se pelo gráfico da Figura 20, de utilização da capacidade dos leitos, que o modelo com considerações empíricas e com restrição de capacidade de enfermagem resulta em maior utilização dos leitos na parte da tarde do que o modelo apenas com considerações empíricas. Por este motivo e como a análise realizada aponta que, com base nas premissas adotadas, a equipe de enfermagem não é, de fato, um recurso escasso, a melhor escala pode ser entendida como a resultante do modelo com considerações empíricas e sem a restrição da capacidade da equipe de enfermagem. A garantia de disponibilidade de tempo para conclusão dos tratamentos no espaço do Ambulatório Borges da Costa é fator essencial.

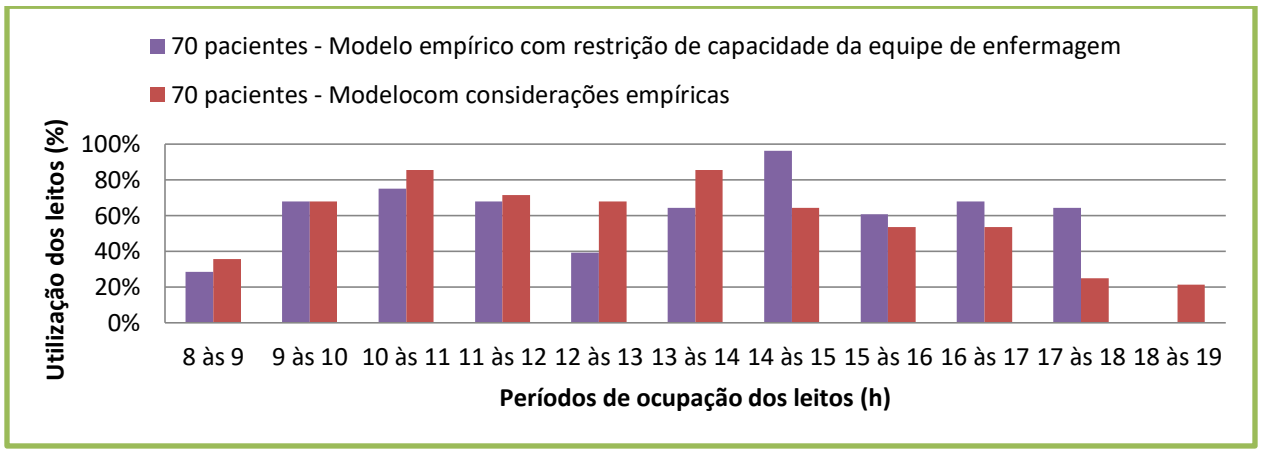
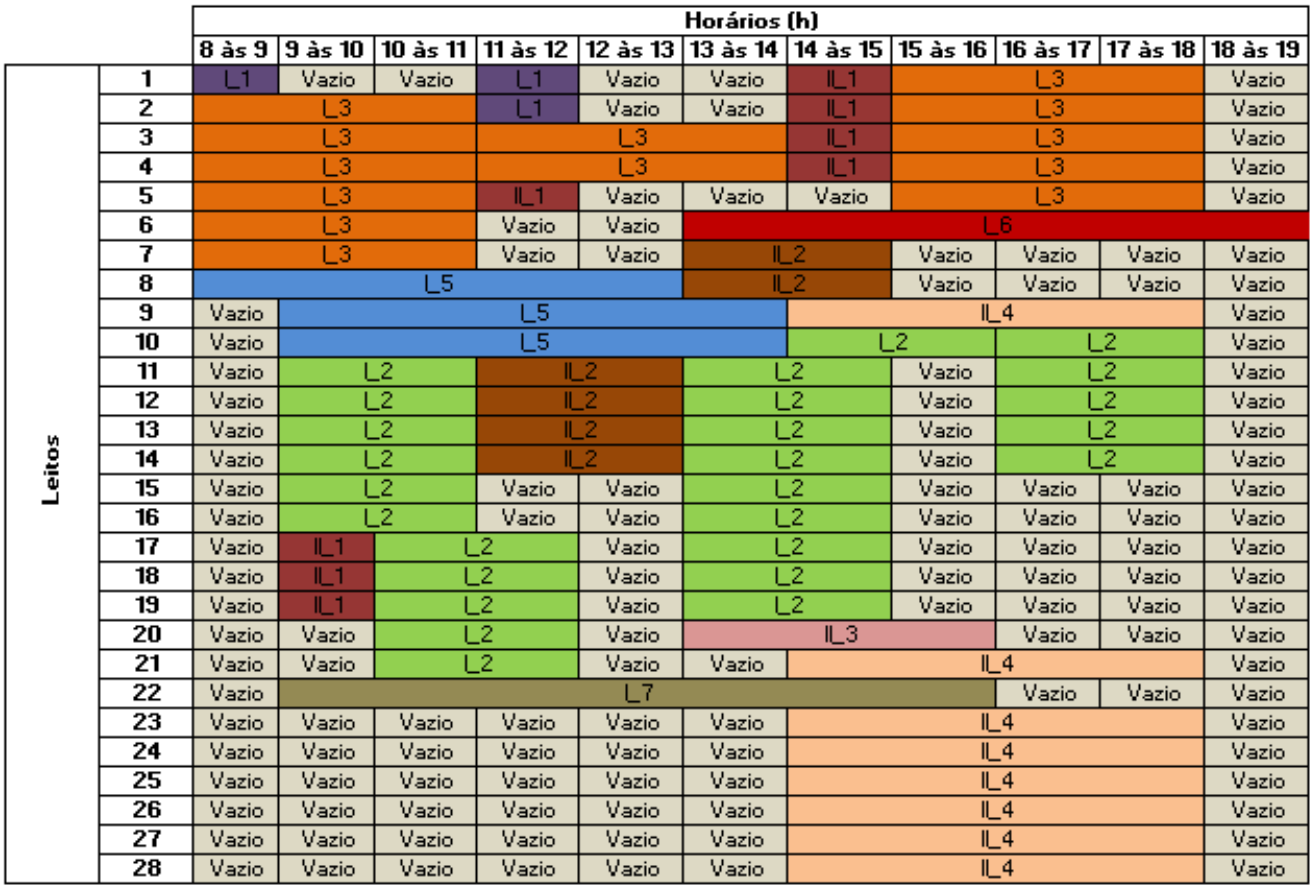


Figura 20: Utilização da capacidade dos leitos para a alocação de 70 espaços na escala pelo modelo com considerações empíricas e pelo modelo com considerações empíricas e com restrição de capacidade da equipe de enfermagem

A escala com alocação de 70 espaços para agendamento, resultante do modelo com considerações empíricas com restrição da capacidade da equipe de enfermagem é apresentada na Figura 21.



Leitos	Horários (h)	8 às 9	9 às 10	10 às 11	11 às 12	12 às 13	13 às 14	14 às 15	15 às 16	16 às 17	17 às 18	18 às 19
	1	L1	Vazio	Vazio	L1	Vazio	Vazio	IL1	L3			Vazio
	2	L3			L1	Vazio	Vazio	IL1	L3			Vazio
	3	L3			L3			IL1	L3			Vazio
	4	L3			L3			IL1	L3			Vazio
	5	L3			IL1	Vazio	Vazio	Vazio	L3			Vazio
	6	L3			Vazio	Vazio	L6					
	7	L3			Vazio	Vazio	IL2		Vazio	Vazio	Vazio	Vazio
	8	L5					IL2		Vazio	Vazio	Vazio	Vazio
	9	Vazio	L5					IL4				Vazio
	10	Vazio	L5					L2		L2		Vazio
	11	Vazio	L2		IL2		L2		Vazio	L2		Vazio
	12	Vazio	L2		IL2		L2		Vazio	L2		Vazio
	13	Vazio	L2		IL2		L2		Vazio	L2		Vazio
	14	Vazio	L2		IL2		L2		Vazio	L2		Vazio
	15	Vazio	L2		Vazio	Vazio	L2		Vazio	Vazio	Vazio	Vazio
	16	Vazio	L2		Vazio	Vazio	L2		Vazio	Vazio	Vazio	Vazio
	17	Vazio	IL1	L2		Vazio	L2		Vazio	Vazio	Vazio	Vazio
	18	Vazio	IL1	L2		Vazio	L2		Vazio	Vazio	Vazio	Vazio
	19	Vazio	IL1	L2		Vazio	L2		Vazio	Vazio	Vazio	Vazio
	20	Vazio	Vazio	L2		Vazio	IL3			Vazio	Vazio	Vazio
	21	Vazio	Vazio	L2		Vazio	Vazio	IL4				Vazio
	22	Vazio	L7							Vazio	Vazio	Vazio
	23	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	IL4				Vazio
	24	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	IL4				Vazio
	25	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	IL4				Vazio
	26	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	IL4				Vazio
	27	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	IL4				Vazio
	28	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	Vazio	IL4				Vazio

Figure 21: Escala de agendamento para alocação de setenta pacientes resultante do modelo com considerações empíricas com restrição de capacidade da equipe de enfermagem (sem desvios da frequência história de alocação)

5.4 Modelo multiobjetivo

Como discutido na seção de apresentação do problema e dos modelos desenvolvidos para a análise da melhor escala de agendamento de pacientes para o Ambulatório Borges da Costa, tem-se que o aumento do número de espaços alocados é um objetivo conflitante com a manutenção da distribuição de frequência histórica. Entretanto, é de interesse do ambulatório tanto atender o máximo de pacientes que sua capacidade permita, quanto elaborar uma escala mais aderente à realidade de sua demanda. Por isso, explorou-se um modelo multiobjetivo e os resultados obtidos são apresentados a seguir. Importante destacar que, como apresentado, na seção de descrição do modelo multiobjetivo, considera-se aqui as restrições de limite de capacidade de leitos, de manipulação de medicamentos e de tempo de funcionamento do ambulatório e há a restrição de limitação dos tratamentos de cinco horas de duração ou mais

para a parte da manhã e a restrição de equilíbrio do número de tratamentos iniciados na parte da manhã e da tarde.

Seguindo-se o processo de resolução da técnica ε-restrito, resolveu-se o problema para cada função monobjetivo, determinando-se os ótimos individuais de cada. Para a função objetivo de maximização do número de pacientes, o ótimo é alcançado para alocação de noventa e seis pacientes e valor do desvio de quarenta. Já para a função de minimização dos desvios, o ótimo é alcançado com zero de desvios e setenta espaços alocados na escala de agendamento.

Na sequência, aplicou-se o modelo com variação de zero a quarenta do vetor de desvios e com variação do vetor de alocações na agenda de setenta a noventa e seis. Este procedimento permitiu, então, a definição de um subconjunto representativo do conjunto de soluções eficientes desse problema multiobjetivo. Considerando-se todos os pontos otimizados, o tempo médio de execução foi de 1,06 segundos. Entretanto esta média varia consideravelmente ao se analisar separadamente o tempo de execução para a minimização dos desvios e de maximização de espaços alocados. A média para o tempo de execução no caso da minimização dos desvios é de 0,49 segundos, enquanto, para a maximização das alocações, é de 1,39 segundos.

Na Figura 22, tem-se os resultados da análise multiobjetivo através da técnica ε-restrito. Em azul, os desvios resultantes do objetivo de maximização do número de pacientes, enquanto respeitando-se um limite superior para tais desvios. Em vermelho, os desvios resultantes da função objetivo de minimização dos desvios, enquanto limitando-se a um mínimo o número de espaços alocados na escala. Como se observa, as tendências de ambas as funções objetivo são as mesmas e, para os pontos em que é alocado o mesmos número de pacientes, o desvio resultante através da função objetivo de minimização de desvios é menor do que aqueles resultantes da função objetivo de maximização do número de espaços alocados na escala de agendamento.

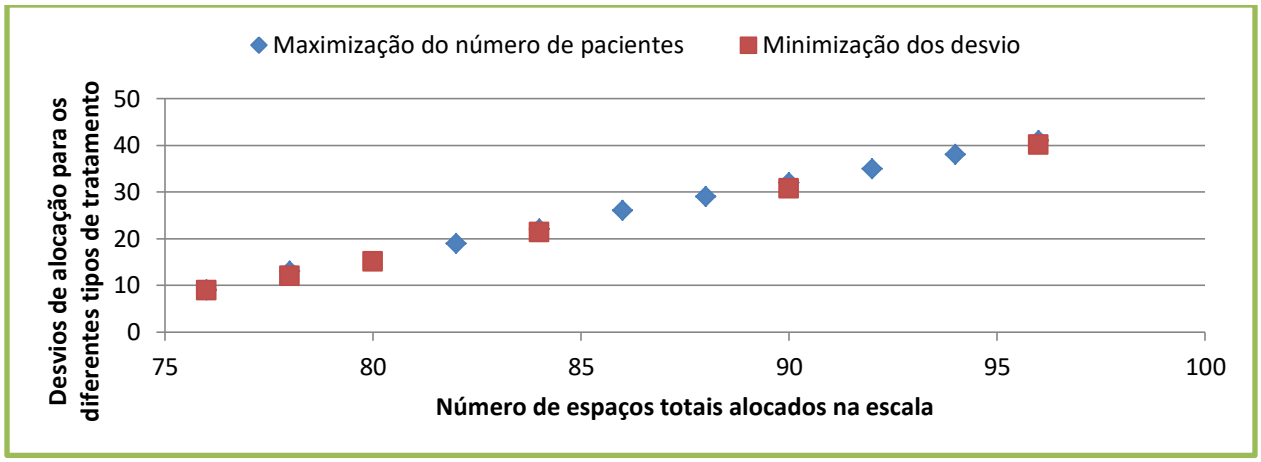


Figura 22: Relação de desvios na escala de agendamento em função do número de espaços alocados na agenda para o modelo multiobjetivo ε-restrito

Pelo fato desta análise apontar que a minimização dos desvios é a função objetivo que resulta nas melhores alocações e que a análise multiobjetivo não gera impacto significativo nos resultados obtidos, optou-se por se trabalhar os demais modelos com base exatamente nesta função objetivo, ao invés de se optar pela função objetivo de maximização de pacientes ou, ainda, ao invés de se optar por uma análise multiobjetivo.

5.5 Cenário com maior capacidade

Os resultados apresentados anteriormente exploram a capacidade atual do Ambulatório Borges da Costa. Entretanto, dada a perspectiva de crescimento de demanda pelo tratamento quimioterápico e grande relevância deste centro de tratamento, é importante avaliar-se, também, como um aumento de sua capacidade pode impactar seu atendimento. Além disso, constatou-se que a taxa de ocupação dos leitos dada a capacidade atual instalada e as premissas adotadas, é 20% inferior à recomendado pela ANS. Por isso, realizou-se uma análise para se captar o impacto da variação dessa capacidade atual do ambulatório.

Como a capacidade de preparo de medicamentos mostrou-se o recurso escasso de fato limitante para o crescimento do número de espaços alocados na escala de atendimento, entende-se que este seria o foco primeiro de investimento em aumento de capacidade do ambulatório. Assim, no presente trabalhou, investigou-se exatamente este recurso escasso. Considerou-se aumento de 15% na capacidade de manipulação dos medicamentos de preparo tipo I e tipo II. A nova capacidade de manipulação é apresentada na Tabela 9.

Tabela 9: Capacidade elevada em 15% de preparo de medicamentos do tipo I e II

	Capacidade de manipulação (nº de doses)	
Horário de início de preparo dos medicamentos	**Preparo tipo I**	**Preparo tipo II**
8:00h	9	5
9:00h	9	6
10:00h	7	6
11:00h	7	6
12:00h	0	0
13:00h	9	5
14:00h	9	6
15:00h	7	6
16:00h	7	6
17:00h	0	0
18:00h	0	0

Os resultados desta análise são apresentados a seguir. Pela Figura 23, fica evidente que o aumento da capacidade de preparo tipo I e II acarreta significativa diminuição nos desvios de alocação referentes à média de frequência histórica. A quantidade de espaços alocados, respeitando-se esta média, cresce de 70 para 78. Importante destacar que este é exatamente o aumento da capacidade de preparo tipo I. Além disso, a alocação máxima de espaços na escala cresce de 96 para 110. Este incremento de 14 alocações é exatamente o aumento total de capacidade de preparo tipo I e II. Assim, ainda que haja este aumento de capacidade de preparo de medicamentos, os recursos escasso leito e capacidade da equipe de enfermagem continuam subutilizados, dadas as premissas aqui adotadas.

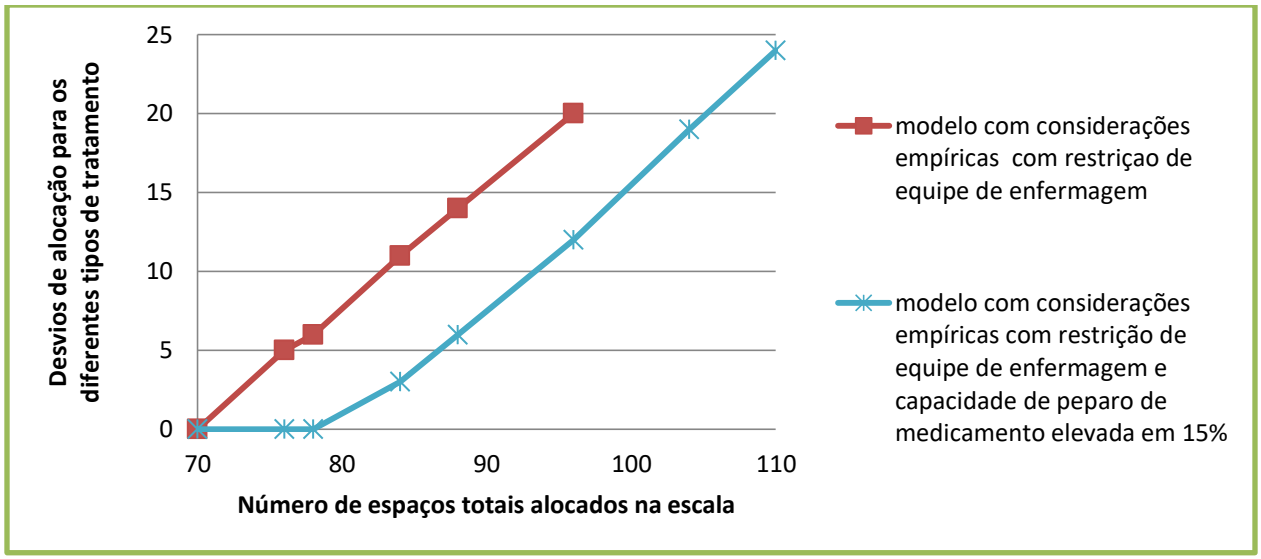


Figura 23: Relação de desvios na escala de agendamento em função do número de espaços alocados

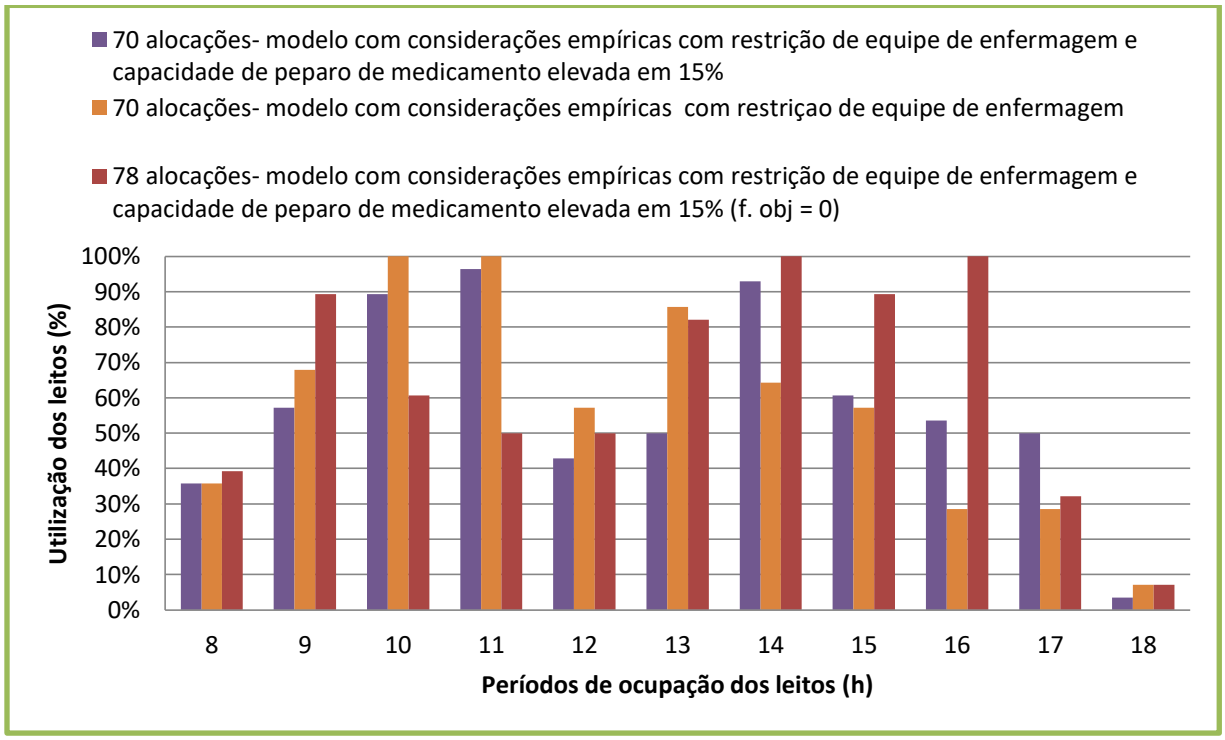


Figura 24: Utilização dos leitos

No gráfico apresentado na Figura 24, compara-se a utilização máxima da capacidade dos leitos, sem que haja desvios de frequência dos diferentes tipos de tratamento, com a capacidade atual de preparo de medicamento (70 alocações) e com o aumento em 15% desta capacidade (78 alocações). A taxa de ocupação dos leitos cresce de 57% para 64%. Além disso, percebe-se pela

Figura 24 que há forte crescimento na utilização dos leitos na parte da tarde de atendimento. Este resultado era esperado, dado o aumento do número de atendimentos, sem que haja diferença no número de sessões iniciadas na parte da manhã e da tarde. Como a finalização de todos os atendimentos até sete horas da noite é um fator importante para o funcionamento do ambulatório, tem-se que, dado o crescimento da capacidade de preparo de tipo I e II, torna-se ainda mais importante a boa gestão da expectativa do tempo dispendido em cada sessão e avaliação da possibilidade de intercorrências durante o tratamento. Isto porque esta gestão e bom dimensionamento das durações das sessões são as ferramentas para se evitar que o horário de funcionamento ultrapasse aquele horário determinado padrão.

Pelo gráfico da Figura 25, observa-se que, ainda que haja aumento da capacidade de preparo, a demanda pela preparação de pacientes exclusivamente por enfermeiras (tipo de preparo por cateter central) continua inferior à capacidade, dadas as premissas adotadas na análise realizada neste trabalho.

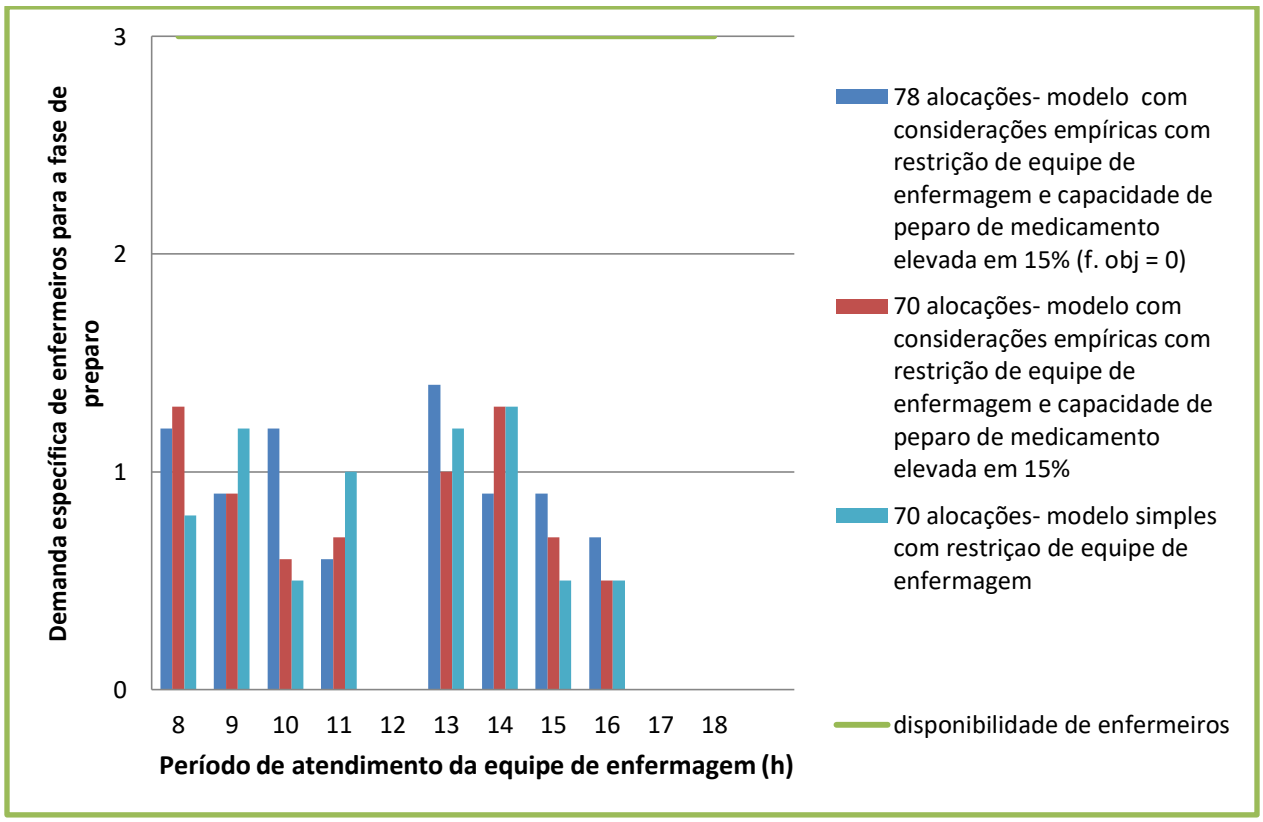


Figura 25: Utilização da capacidade de preparo dos enfermeiros

Assim, os resultados desta análise indicam que há capacidade em termos de leitos e atendimento por parte da equipe de enfermagem para se absorver incremento em 15% da capacidade de preparo de medicamentos. Entretanto, como este incremento acarreta forte aumento da utilização dos leitos no período da tarde, dado o equilíbrio de início de sessões na parte da manhã, tornar-se-ia ainda mais crítica a acurácia na previsão do tempo de sessão utilizado por cada paciente. O mau dimensionamento deste fator pode acarretar em atrasos nos atendimentos, resultando em queda na qualidade de atendimento no ambulatório e desgaste dos pacientes que já se encontram em situação de vulnerabilidade.

6 Conclusão

Como apresentado na Revisão Bibliográfica, o nível de complexidade de ambientes ambulatoriais e, em especial, de tratamentos quimioterápicos é elevado. A administração dos recursos limitados do ambulatório soma-se às incertezas deste ambiente, às especificidades do tratamento quimioterápico e aos múltiplos objetivos do ambiente (Figura 1). Este cenário demanda, então, excelente gestão e planejamento, para que o atendimento de qualidade que o Ambulatório Borges da Costa promete fornecer, de fato, seja entregue aos pacientes.

Deste cenário complexo, este trabalho focou em analisar amplamente os recursos escassos do ambulatório. Assim, avaliou-se a utilização dos leitos, da capacidade de manipulação dos medicamentos, das horas de funcionamento do espaço, bem como da capacidade de preparo e de acompanhamento da equipe de enfermagem. Ressalta-se a seguir alguns pontos de atenção e apresenta-se as conclusões resultantes dos Experimentos Computacionais.

Como relatado anteriormente, a determinação da duração das sessões de cada paciente é hoje uma tarefa atribuída a um membro do setor administrativo do Ambulatório Borges da Costa, sem que este tenha conhecimento do tratamento em si, ou qualquer conhecimento de enfermagem e medicina. Entretanto, toda a análise aqui apresentada, inclusive aquela de avaliação do impacto do aumento de capacidade de preparo de medicamentos é baseada na previsão de duração de sessão determinada por esta equipe do setor administrativo. Além disso, destaca-se que os dados históricos que foram a base das análises realizadas são desta previsão de duração das sessões e não, efetivamente, de suas durações. Assim, a aplicabilidade das escalas aqui propostas e da sugestão de estudo de aumento de capacidade tem sua factibilidade atrelada à aderência dos dados históricos de agendamento ao tempo de fato utilizado pelos pacientes em cada sessão.

A capacidade da equipe de enfermagem é outro ponto que merece destaque. Este não foi um recurso apontado pela equipe administrativa do Ambulatório Borges da Costa como escasso e, de fato, dadas as premissas adotadas neste trabalho, conclui-se que não se trata de um recursos limitante à operação do ambulatório. Entretanto a equipe de enfermagem em si, relata sobrecarga. Além disso, a disponibilidade de enfermeiros é um fator largamente identificado

como limitante nos trabalhos apresentados na Revisão Bibliográfica. Assim, destaca-se que se considerou um dado nível total de acuidade que pode ser atribuído a um dado enfermeiro, bem como se considerou que 20% dos preparos de pacientes para o tratamento precisam ser obrigatoriamente realizados por enfermeiros e que, além disso, a cada hora, um membro da equipe de enfermagem tem capacidade de realizar dois preparos de pacientes, enquanto, ainda, acompanha outros pacientes em fase de infusão quimioterápica. Estas premissas foram adotadas com base na vivência de membros da equipe de enfermagem e do setor administrativo, sem base histórica de dados. Certamente a coleta de informações mais acuradas poderia enriquecer a análise e resultar em maior aderência da escala proposta à realidade da clínica.

Dadas as premissas adotadas, tem-se, no entanto, que hoje a capacidade do ambulatório está subutilizada, havendo espaço para se absorver maior número de pacientes. Nesse cenário, dada a média histórica de atendimento a quarenta e um pacientes e dada a capacidade avaliada de atendimento de setenta pacientes, mantendo-se a distribuição de frequência histórica, tem-se potencial de incremento de 70% no número de atendimentos no Ambulatório Borges da Costa.

De forma geral, dentre os modelos abordados, aquele que resulta nas melhores alocações é o modelo com considerações empíricas sem restrições de capacidade da equipe de enfermagem. O ganho por este modelo em relação ao de recursos escassos é um ganho em gestão. Como o modelo com considerações empíricas retrata com mais realisticamente o ambiente do Ambulatório Borges da Costa, era esperado que se gerasse por ele a melhor escala de agendamentos.

Destaca-se que se optou por se realizar as análises para o cenário de alocação máxima de espaços na escala de agendamento, sem desvios de frequência em relação à média histórica, por se objetivar fornecer ao Ambulatório Borges da Costa uma escala aplicável e aderente à sua demanda. A adesão a outras escalas com maior número de alocações seria interessante, caso se desejasse adotar uma política de priorização do aumento do número de atendimentos. Este processo implicaria na priorização de agendamentos de tratamentos com medicamentos de preparo tipo II, em detrimento daqueles de preparo tipo I.

Não se explorou neste trabalho as incertezas do ambiente ambulatorial, como absenteísmo, atrasos, prolongamentos de sessão por intercorrências durante as sessões e postergações de

sessões pelo fato do paciente não se encontrar em condições adequadas para o tratamento. Uma abordagem de programação dinâmica teria a capacidade de melhor abordar estes pontos. Entretanto destaca-se aqui que, para tanto, seria de grande interesse a coleta de dados pelo ambulatório quanto às incertezas citadas, sendo esta a base para uma modelagem matemática realista e aplicável.

Já as particularidades do tratamento quimioterápico, resumidas na Figura 1, foram abordadas indiretamente. Ao se trabalhar com escalas que consideram a frequência médica histórica de ocorrência de cada tipo de tratamento, busca-se, exatamente, a disponibilidade para agendamento dos tratamentos demandado e, consequente, diminuição de atrasos nos tratamentos por falta de disponibilidade de recursos. Além disso, a elaboração da restrição empírica para início das sessões de maior tempo de duração durante a parte da manhã é uma prevenção referente ao alto risco do procedimento quimioterápico. Nestas sessões há maior risco de intercorrências e, ao serem iniciadas durante a manhã, há maior margem para se absorver o impacto destes eventos. A caraterística cíclica do tratamento é considerada, em especial, ao se utilizar uma base histórica para a proposição de uma melhor escala de agendamento. Como o tratamento é contínuo, tem-se que o perfil de pacientes atendidos é mantido, em grande parte, constante, de modo que é coerente a escala refletir este padrão de tipo de paciente atendido. Entretanto, destaca-se que, para se analisar profundamente o aspecto cíclico do tratamento quimioterápico, seria necessário trabalhar-se com um horizonte de tempo maio do que um dia, realizando-se o agendamento de múltiplas sessões por paciente.

Não se abordou a heterogeneidade dos pacientes neste estudo. De acordo com o grau de avanço do câncer e com a idade do paciente, tem-se que os pacientes poderiam ser classificados em termos de prioridade no atendimento. Em uma situação em que não haja capacidade para se atender toda a demanda, essa classificação de criticidade seria importante na priorização dos atendimentos.

No cenário analisado, dada a baixa taxa de utilização dos leitos alcançada com o cenário do ambulatório, abaixo da preconizada pela ANS, analisou-se o aumento da capacidade de manipulação dos medicamentos em 15%. Mantendo-se as alocações na escala seguindo a frequência histórica de demanda pelos diferentes tipos de tratamento, o impacto dessa variação foi a elevação da taxa de utilização dos leitos de 57% para 64%. Ainda assim, não se alcançaria

a taxa indicada de 75% a 85%. Entretanto, dados os pontos não explorados que adicionam em complexidade ao cenário do Ambulatório, recomenda-se cautela no aumento da capacidade de manipulação dos medicamentos. O incremento de 15% é indicado e, então, dados os resultados obtidos, deve-se reavaliar a capacidade e limitações do ambulatório.

Certamente este trabalho não explorou exaustivamente o ambiente do Ambulatório Borges da Costa. O nível de complexidade do ambiente do Ambulatório Borges da Costa abre espaço, então, tanto para a aplicação e análise dos resultados da proposta entregue através deste trabalho, quanto para análises mais profundas em termos de restrições adicionais às exploradas por este trabalho.

6.1 Sugestões ao Ambulatório Borges da Costa

Como o objetivo deste trabalho era a aplicabilidade ao Ambulatório Borges da Costa, relaciona-se a seguir uma série de sugestões a esse centro de tratamento quimioterápico, que, pela análise geral realizada, têm o potencial de melhorar seu funcionamento.

Sugere-se a adoção da escala proposta com base no modelo monobjetivo com considerações empíricas. Como dito, dadas as premissas aqui adotadas, há potencial para aumento de atendimento de 70% frente à média de atendimento histórica.

A taxa de ocupação dos leitos com a escala proposta é de 57% e é ainda consideravelmente inferior àquela que indica eficiência na utilização do espaço de um ambulatório (75% - 85%). Como, o processo de manipulação de medicamentos foi identificado como o grande gargalo do ambulatório, recomenda-se que este seja o destino de recursos em caso de um eventual investimento em aumento de capacidade de atendimento. A busca por maior eficiência e eficácia é sempre o foco de uma boa gestão e a solução diante da tendência de crescimento pela demanda de tratamentos quimioterápicos, em um cenário em que a criação de novos centros de tratamento contra o câncer se tornam menos prováveis, dados os altos custos envolvidos. Assim, a boa utilização dos recursos é essencial e, como se apresentou, elevar-se em 15% a capacidade de manipulação dos medicamentos seria mais um passo nessa direção. Neste novo cenário, seria elevada a taxa de ocupação dos leitos para 64%, aproximando-a da indicação de utilização da ANS.

Entretanto, destaca-se a importância da determinação de um fluxo de definição do tempo de sessão por paciente melhor do que o hoje utilizado. Membros da equipe administrativa, sem conhecimentos médicos de quimioterapia definem o tempo necessário por paciente nos leitos para infusão, o que acarreta em grande desalinhamento entre a expectativa de duração das sessões e a duração efetiva dessas. O trabalho de determinação do tempo de quimioterapia por paciente deve, certamente, ser realizado ou por um médico oncologista ou pela equipe de enfermagem. Esta medida certamente diminuiria as variações entre duração prevista e efetiva das infusões e diminuiria os atrasos nos inícios das sessões, devido a prolongamentos de sessões.

Por fim, destaca-se que a melhor coleta de dados pelo ambulatório é fator essencial para uma gestão eficiente e eficaz. Neste trabalho, utilizou-se considerações quanto à participação de tratamentos com infusão via cateter central com base na percepção da equipe e não com base em registros. O mesmo é verdade para os dados de nível de acuidade para os diferentes tempos de duração das sessões. Assim, uma análise futura poderá ser mais assertiva ao se ter uma fonte de dados mais rica para se embasar.

7 Sumário

Este trabalho propõe modelos de otimização de escala de agendamento de sessões de quimioterapia para o Ambulatório Borges da Costa, do Hospital das Clínicas da UFMG. Avalia-se a capacidade da clínica e as escalas resultantes, tendo-se em vista a capacidade de manipulação dos medicamentos quimioterápicos, a disponibilidade dos leitos, o tempo de funcionamento do ambulatório, a capacidade da equipe de enfermagem e a distribuição de frequência dos diferentes tipos de tratamentos de quimioterapia. Dadas as premissas adotadas, os experimentos realizados mostram que a clínica apresenta potencial para aumentar o número de atendimentos. Apesar de não terem sido consideradas incertezas, que são importantes no contexto analisado, os modelos propostos são capazes de gerar escalas com significativamente maior número de espaços para atendimento diário do que a média histórica com base em dados de 2016 e 2017, sem que sejam realizadas alterações na distribuição de frequência de ocorrência dos diferentes tipos de tratamentos. A melhor escala de agendamento obtida é resultante do modelo com considerações empíricas e se observa que as restrições sobre a capacidade da equipe de enfermagem não são ativas.

Trabalhos futuros podem envolver a coleta com precisão do nível de acuidade de cada tipo de paciente, investigando-se se este aspecto está relacionado à duração das sessões, à idade do paciente ou a algum outro fator. Além disso, um avanço em relação a este trabalho seria uma coleta acurada da capacidade de atendimento da equipe de enfermagem, tanto em termos de nível de acuidade total, quanto em termos de capacidade de preparo para a infusão dos medicamentos quimioterápicos.

Um importante avanço pode estar relacionado à implantação da escala proposta e acompanhamento do impacto gerado, iniciando-se um período de melhor gestão dos recursos disponíveis. Esse acompanhamento permitiria a percepção de falhas na análise e reelaboração da escala, sempre adicionando mais informações que permitam melhor descrição do ambiente do Ambulatório Borges da Costa.

Além disso, há aspectos que não foram abordados neste trabalho e são, no entanto, fontes importantes de incerteza no cenário real de clínicas médicas. Assim, trabalhos futuros poderiam

considerar o impacto dos atrasos por parte dos pacientes, a probabilidade de intercorrência durante sessões e cancelamentos de sessões por indisposição dos pacientes.

O Ambulatório Borges da Costa pode aproveitar os resultados aqui apresentados tanto para a aplicação das sugestões e análise dos resultados das propostas entregues através deste trabalho, quanto para investir e incentivar análises mais profundas em termos de restrições adicionais às exploradas por este trabalho e em termos de melhor coleta de dados pelo ambulatório.

8 Bibliografia

1. Ahmadi-Javid, A.; Jalali, Z.; Klassen, K. J. Outpatient appointment systems in healthcare: A review of optimization studies. European Journal of Operational Research, v. 258, n.1, p.3-34, 2017.
2. Ahmed, Z.; Elmekkawy, T.Y.; Bates, S. Developing an efficient scheduling template of a chemotherapy treatment unit: A case study. Australasian Medical Journal, v. 4, n. 10, p. 575-588, 2011.
3. Alvarado, M.; Ntaimo, L. Chemotherapy appointment scheduling under uncertainty using mean-risk stochastic integer programming. Health Care Management Science, p. 1-18, 2016.
4. Bailey, N. T. A study of queues and appointment systems in hospital out-patient departments, with special reference to waiting times. Journal of the Royal Statistical Society, Series B (Methodological), v. 14, n. 2, p. 185–199, 1952.
5. Baldwin, C. Cancer clinic resource scheduling: Your resource to productivity. Hematology and Oncology News, p. 18–20, 2006.
6. Cayirli, T.; Veral, E. Outpatient scheduling in health care: a review of literature.Production and Operations Management, v. 12, n. 4, p. 519–549, 2003.
7. Cayirli, T.; Veral, E.; Rosen, H. Designing appointment scheduling systems for ambulatory care services. Health Care Management Science, v. 9, n. 1, p. 47-58, 2006.
8. Chabot, G.; Fox, M. The creation of a patient-classification system in an outpatient infusion center setting. Oncology Nursing Forum, v. 32, n 3, p. 535–538, 2005.
9. Chan, J. Y. T. Understanding nurses' preferences to improve scheduling optimization models for chemotherapy clinics. M.Eng. Project report: department of mechanical and industrial engineering, University of Toronto, 2011.
10. Chen, R. R.; Robinson, L. W. Sequencing and scheduling appointments with potential call-in patients. Production and Operations Management, v. 23, n. 9, p. 1522-1538, 2014.
11. Conforti, D.; Guerriero, F.; Guido, R. Non-block scheduling with priority for radiotherapy treatments. European Journal of Operational Research, v. 201, n. 1, p. 289-296, 2010.
12. Conforti, D.; Guerriero, F.; Guido, R.; Veltri, M. An optimal decision-making approach for the management of radiotherapy patients. OR Spectrum, v. 33, n. 1, p. 123-148, 2011.
13. Conforti, D.; Guerriero, F.; Guido, R. Optimization models for radiotherapy patient scheduling. 4OR, v.6, n 3, p. 263-278, 2008.
14. Delaney,G., Jalaludin, B.,Moylan, E., and Barton,M. the development of a model of outpatient chemotherapy delivery – chemotherapy basic treatment equivalent (CBTE). Clinical Oncology, v. 14, p. 406–412, 2002.

15. Denton, B.; Gupta, D. A sequential bounding approach for optimal appointment scheduling. IIE Transactions, v. 35, p. 1003–1016, 2003.
16. Dobish, R. Next-day chemotherapy scheduling: a multidisciplinary approach to solving workload issues in a tertiary oncology center. Journal of Oncology Pharmacy Practice, v. 9, n. 1, p. 37-42, 2003.
17. Erikson, C., Salsberg, E., Forte, G., Bruinooge, S., and Goldstein, M. Future supply and demand for oncologists: Challenges to assuring access to oncology services. *Journal Oncology Practice*, v. 3, n. 2, p. 79–86, 2007.
18. Ferlay, J. et al. Cancer incidence and mortality worldwide: sources, methods and major patterns in GLOBOCAN 2012. IARC, 2013.
19. Gesell, S. B.; Gregory, N. Identifying priority actions for improving patient satisfaction with outpatient cancer care. Journal of Nursing Care Quality v. 19, n.3, p. 226-233, 2004.
20. Gupta, D.; Denton, B. Appointment scheduling in health care: Challenges and opportunities. IIE Transactions, v. 40, n. 9, p. 800–819, 2008.
21. Gocgun, Y.; Puterman, M. Dynamic scheduling with due dates and time windows:an application to chemotherapy patient appointment Booking. Health Care Management Science, v. 17 n. 1, p. 60-76, 2014.
22. Hahn-Goldberg, S.; Carter, M.; Beck, J.; Trudeau, M.; Sousa, P.; Beattie, K. Dynamic optimization of chemotherapy outpatient scheduling with uncertainty. Health Care Management Science, v.17, n. 4, p. 379-392, 2014.
23. Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva. Estimativa 2018: Incidência de Câncer no Brasil / Rio de Janeiro: INCA, 2017.
24. Klassen, K. J.; Rohleder, T. R. Scheduling outpatient appointments in a dynamic environment. Journal of Operations Management, v.14, n. 2, p. 83-101, 1996.
25. Liang, B.; Turkcan, A. Acuity-based nurse assignment and patient scheduling in oncology clinics. Health Care Management Science, v.19, n. 3, p. 207-226, 2015.
26. Liang, B.; Turkcan, A.; Ceyhan, M.E.; Stuart, K. Improvement of chemotherapy patient flow and scheduling in an outpatient oncology clinic. International Journal of Production Research, 2014.
27. Ministério da Sáude. Taxa de Ocupação Operacional Geral. Agência Nacional de Saúde Suplementar, V. 1, 2012.
28. Muthuraman, K.; Lawley, M. A stochastic ovebooking model for outpatient clinical scheduling with no-shows. IIE Transactions, v. 40, n. 9, p. 820-837, 2008.
29. Ogulata, S.; Cetik, M.; Koyuncu, E.; Koyuncu, M. A Simulation approach for scheduling patients in the department of radiation oncology. Journal of Medical Systems, v. 33, n. 3, p. 233-239, 2009.
30. Petrioli, R., Pozzessere, D., Messinese, S., Sabatino, M., Ceciarini, F., Marsili, S., Coreale, P., Fiaschi, A., Voltolini, L., Gotti, G., Francini, G. Weekly low-dose docetaxel

in advanced non-small cell lung cancer previously treated with two chemotherapy regimen. Lung Cancer, v. 39, 85–89, 2003.

31. Robinson, L. W.; Chen, R. R. Scheduling doctors' appointments: optimal and empirically-based heuristic policies. IIE Transactions, v. 35, n. 3, p. 295-307, 2003.
32. Rohleder, T. R.; Klassen, K. J. Using client-variance information to improve dynamic appointment scheduling performance. Omega, v.28, n. 3, p. 293–302, 2000.
33. Sadki, A.; Xie, X.; Chauvin, F. Planning oncologists of ambulatory care units. Decision Support Systems, v. 55, n. 2, p. 640-649, 2013.
34. Samorani, M.; Laganga, L. R. Outpatient appointment scheduling given individual day-dependent no-show predictions. European Journal of Operational Research, v. 240, n. 1, p. 245-257, 2015.
35. Sevinc, S.; Sanli, U. A.; Goker, E. Algorithms for scheduling of chemotherapy plans. Computers in Biology and Medicine, v. 43, n. 12, p. 2103-2109, 2013.
36. Takahashi, R. H. C. Notas de aula – Otimização Escalar e Vetorial, v. 3, 2007
37. Turkcan, A.; Zeng, B.; Lawley, M. Chemotherapy operations planning and scheduling. IIE Transactions on Healthcare Systems Engineering, v. 2, n. 1, p. 31-49, 2012.
38. White, D. L.; Froehle, C. M.; Klassen, K. J. The effect of integrated scheduling and capacity policies on clinical efficiency. Production and Operations Management, v. 20, n. 3, p. 442-455, 2011.
39. Woodall, J.C.; Gosselin, T.; Boswell, A.; Murr, M.; Denton, B. T. Improving patient access to chemotherapy treatment at Duke Cancer Institute. Interfaces, v. 43, n. 5, p. 449-461, 2013.
40. World Health Organization (WHO) – Cancer. Disponível em <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs297/en/> Acesso em 14 de Outubro de 2016.
41. Yokouchi, M.; Aoki, S.; Haixia, S.; Zhao, R.; Takakuwa, S. Operations analysis and appointment scheduling for an outpatient chemotherapy department. Winter Simulation Conference, p. 1-12, 2012.
42. Zacharias, C.; Pinedo, M. Appointment scheduling with no-shows and overbooking. Production and Operations Management, v. 23, n. 5, p. 788-801, 2014.