



AVALIAÇÃO DA POLÍTICA ÓTIMA DE GERENCIAMENTO DE ESTOQUE DE SANGUE DO HEMORIO VIA PROCESSO DE DECISÃO DE MARKOV

Henrique Lopes Félix Soares

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientadores: Edilson Fernandes de Arruda

Laura Sílvia Bahiense da Silva
Leite

Rio de Janeiro

Abril de 2018

AVALIAÇÃO DA POLÍTICA ÓTIMA DE GERENCIAMENTO DE ESTOQUE DE
SANGUE DO HEMORIO VIA PROCESSO DE DECISÃO DE MARKOV

Henrique Lopes Félix Soares

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA
(COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE
EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

Examinada por:

Prof. Edilson Fernandes de Arruda, D.Sc.

Profa. Laura Silvia Bahiense da Silva Leite, D.Sc.

Prof. Virgilio Jose Martins Ferreira Filho, D.Sc.

Prof. Marcelo Dutra Fragoso, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

ABRIL DE 2018

Soares, Henrique Lopes Félix

Avaliação da política ótima de gerenciamento de estoque de sangue do HEMORIO via processo de decisão de markov / Henrique Lopes Félix Soares – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2018.

XI, 57p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: Edilson Fernandes de Arruda

Laura Sílvia Bahiense da Silva Leite

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Produção, 2018.

Referências Bibliográficas: p. 54-57.

1. Processo de decisão de markov. 2. Filas de espera com taxas variáveis. 3. Gerenciamento de estoque de sangue. I. Arruda, Edilson Fernandes de *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Produção. III. Título.

AGRADECIMENTOS

Ao tornar-me mestre, agradeço imensamente a todos os mestres que contribuíram diretamente na minha formação acadêmica, cidadã e humana. Dedico esse trabalho a cada docente que deixou sua marca na minha formação e propiciou que eu chegasse até aqui.

Aos orientadores desse trabalho, Edilson e Laura, que tiveram bastante paciência, gentileza e afetuosidade. Às horas dedicadas à revisão dos meus textos e equações e a todas as contribuições indispensáveis para a construção do conhecimento ao longo dos meses decorridos.

A toda equipe do HEMORIO, Luiz Amorim, Neusimar, Naura, Juliana, Beatriz, Sônia Siqueira, dentre outros. O serviço prestativo de vocês foi essencial para a elaboração desse trabalho.

Aos professores do PEP, COPPE, DEI, POLI e todas essas siglas que ao mesmo tempo nos separam e nos aproximam dentro da nossa Universidade. Cada um de vocês colocou um tijolo nesse documento.

Aos professores de minha formação básica, fundamental e média, aos quais sou extremamente grato pela formação cidadã crítica e politizada. Não me atreveria a citar nomes, mas ainda guardo um carinho por muitos de vocês.

Finalmente, aos professores de Geografia que estiveram em casa me sustentando econômica e emocionalmente, dando-me suporte, esperança e exemplo. Fátima e Pedro, meus pais, obrigado por tudo.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

AVALIAÇÃO DA POLÍTICA ÓTIMA DE GERENCIAMENTO DE ESTOQUE DE SANGUE DO HEMORIO VIA PROCESSO DE DECISÃO DE MARKOV

Henrique Lopes Félix Soares

Abril/2018

Orientadores: Edilson Fernandes de Arruda

Laura Sílvia Bahiense da Silva Leite

Programa: Engenharia de Produção

Este trabalho propõe o estudo de um problema de gerenciamento de estoque de sangue através de técnicas de Processos Estocásticos, em especial focando na abordagem por Processos de decisão de Markov como alternativa às demais encontradas na literatura como por filas com taxas de chegada e/ou serviço variáveis. O estudo de caso que inspira o trabalho é a do principal instituto de sangue do estado do Rio de Janeiro, o HEMORIO, que deseja saber qual a política ótima de envio de equipes de coleta externa que complementam as doações dessa instituição. O texto conclui o número de equipes de coleta externa a serem enviadas em função do número de bolsas de sangue em estoque, parametrizados para garantir 7 dias de autossuficiência em sangue.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

ON BLOOD INVENTORY POLICIES WITH EXPANDABLE DONATIONS:
THE CASE OF HEMORIO VIA MARKOV'S DECISION-MAKING PROCESS

Henrique Lopes Félix Soares

April/2018

Advisors: Edilson Fernandes de Arruda

Laura Sílvia Bahiense da Silva Leite

Department: Industrial Engineering

This work develops a Markovian decision model in order to dimension the external collection in HEMORIO, a Brazilian blood institute, focusing on minimizing costs and considering aspects inherent to the problem of blood storage, such as the perishability of the items. In addition to dealing with blood stock management, our mathematical modeling handles waiting queues with variable rates, focusing on controlling the demand one. Although there are several models in the literature dealing with that, the way we apply Markov's decision-making process to find switchovers to manage the blood stock is a new approach to optimization in this topic. The model is validated based on the literature and we show how the results could be used to improve the institution's policy and its data. The text concludes the number of external collection teams to be sent according to the number of blood bags in stock, parameterized to guarantee 7 days of self-sufficiency in blood.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Justificativa e Motivação	5
1.2 Objetivos.....	7
1.3 Estrutura	7
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
2.1 Abordagem por processos	10
2.2 Abordagem por teoria de estoques e outras.....	11
2.3 Abordagem por modelos de fila	12
2.4 A Teoria ISPC	13
2.4.1 A contribuição de Graves	16
2.4.2 A chave da Teoria ISPC	17
2.5 Avaliação da literatura específica para o estudo de caso.....	18
2.6 Avaliação da inserção da pesquisa na literatura	19
3 METODOLOGIA	20
3.1 O modelo MM1 clássico.....	20
3.2 O modelo MM1 com λ discretizado	22
3.2.1 O modelo MM1 com λ duplamente discretizado	25
3.3 O modelo MM1 descontado	26
3.3.1 A função de desconto	27
3.4 O modelo de decisão markoviana.....	28
3.4.1 Procedimento de resolução e algoritmo.....	29
3.5 Discussão de custos	31
4 EXPERIMENTAÇÃO E ANÁLISE.....	34
4.1 Validação	34
4.2 Análise estatística dos dados	37
4.2.1 Dados de coleta.....	37
4.2.2 Dados de custo.....	41
4.2.3 Dados de autossuficiência	45
4.3 Resultados numéricos	46
4.4 Análises de sensibilidade.....	51
5 CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – <i>tradeoff</i> entre a manutenção de um estoque alto ou baixo	2
Figura 2 – Taxa de doação de sangue por país.	3
Figura 3 – Coleta externa a partir de ônibus itinerantes e estrutura desmontável (à esquerda e à direita, respectivamente).	6
Figura 4 – Divisão da literatura da gestão de estoque de sangue	9
Figura 5 – Comportamento da função $W(t)$	14
Figura 6 – Comportamento da função $W(t)$ em controle.	15
Figura 7 – Validade do item mais velho em estoque.	16
Figura 8 – Modelo MM1 clássico	20
Figura 9 – Modelo MM1 com taxa de chegada variável	22
Figura 10 – Gráfico representativo da taxa de chegada como uma função degrau para k graus de liberdade	23
Figura 11 – Exemplo ilustrativo do comportamento da taxa de chegada variável com 4 discretizações.	23
Figura 12 – Modelo MM1 com taxas descontadas.	27
Figura 13 – Grafo do processo de decisão de markov associado ao problema onde $k = 2$	29
Figura 14 – Composição dos custos inerentes ao problema.	31
Figura 15 – Ponto de discretização sugerido para os dados fornecidos em Kopach <i>et al.</i> (2008)	36
Figura 16- Porcentagem de participação da coleta externa	38
Figura 17 - Porcentagem da coleta externa por mês.	38
Figura 18 - Média de coletas mensais ao longo dos anos.	39
Figura 19 – Nº de coletas externas e seus tipos de 2009 a 2017	40
Figura 20 – Nº de bolsas por coleta externa de acordo com seu tipo de 2009 a 2017.	40
Figura 21 - Evolução dos custos ao longo dos estados	47
Figura 22 - Evolução de λ ao longo do estados (A)	48
Figura 23 - Evolução de λ ao longo do estados (B)	48
Figura 24 - Probabilidade acumulada (A)	49
Figura 25 - Probabilidade acumulada (B)	50
Figura 26 - Custos para autossuficiência de 3 dias	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Recomendação de bolsas de sangue com base na complexidade hospitalar. .	4
Tabela 2 – Parâmetros para validação do modelo baseando-se nos dados de Kopach <i>et al</i> (2008).	35
Tabela 3 – Resultados de Kopach <i>et al</i> (2008) pelo modelo original <i>versus</i> nosso modelo	36
Tabela 4 - Custos gerais de produção comuns	42
Tabela 5 - Custos gerais indiretos de produção (interna)	43
Tabela 6 - Custos gerais indiretos de produção (externa)	44
Tabela 7 - Quadro comparativo coletas	44
Tabela 8 - Parâmetros do HEMORIO	46

LISTA DE SÍMBOLOS

HIV – *Human Immunodeficiency Virus*

EPPGEP – Encontro de Pesquisa e Pós-Graduação em Engenharia de Produção

SBPO – Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional

MM1 – Modelo de fila com chegadas e saídas poissonianas e 1 servidor

MG1 – Modelo de fila com chegadas poissonianas, saídas genéricas e 1 servidor

ISPC - *Inventory systems of perishable commodities*

$\tilde{W}(t)$ – Função de desperdício do modelo ISPC

$K(t)$ – Número de itens em estoque do modelo ISPC

VDT – *Virtual Death Time*

n (ou s) – Número de bolsas de sangue em estoque

U_n – Tempo até a n -ésima morte

S_n – Tempo entre mortes sucessivas

Z_n – N -ésima demanda

D – Tempo até a primeira morte real

m – Período de validade determinístico dos itens em estoque

t_n – Momentos em que ocorre demanda

$W(t)$ – Função de desperdício para o modelo de clientes impacientes

λ – Taxa de chegada de bolsas de sangue do estoque

μ – Taxa de saída de bolsas de sangue do estoque

P_0 – Probabilidade de o sistema se encontrar no estado 0

P_n – Probabilidade de o sistema se encontrar no estado 0

C_d – Custo de descarte

V_0 – Validade de uma bolsa de sangue.

k – Número de equipes de coleta disponíveis

$\Delta\lambda$ – Quantidade de bolsas que cada coleta externa capta em média

n_1 – Número de bolsas para o qual o HEMORIO passa a enviar 1 equipe.

n_2 – Número de bolsas para o qual o HEMORIO passa a enviar 0 equipe.

λ' – Taxa de chegada para a fila invertida referente ao ISPC

C_e – Custo de estocagem

C_p – Custo de produção

C_f – Custo de falta

C_o – Custo da coleta externa

c_f – Constante relativa ao custo de falta

d_f – Constante relativa ao decaimento do custo de falta

c_e – Constante relativa ao custo de estoque

1 INTRODUÇÃO

A gestão de sangue é uma questão complexa e de grande interesse para as sociedades. Mesmo diante de notáveis desenvolvimentos tecnológicos no campo dos substitutos para os produtos de sangue, há ainda uma necessidade por doações desse material. Na maior parte dos países, essa contribuição é voluntária e de pouca adesão, o que acaba gerando, muitas vezes, um cenário no qual os centros de coleta de sangue estão continuamente buscando formas alternativas de complementar seus estoques de bolsas. (Stanger *et al.* 2012)

Dados de 2012 relevam que cerca de 35,5% de 124 países têm 100% de doações voluntárias. Dentre esses, encontra-se o Brasil, onde a doação é exclusivamente voluntária, de acordo com a lei nº 10.205 de 21 de março de 2001, em seus artigos 14, incisos II e IV: (Rock *et al.*, 2000).

Art 14, II – utilização exclusiva da doação voluntária, não remunerada, do sangue, cabendo ao poder público estimulá-la como ato relevante de solidariedade humana e compromisso social;

IV - proibição da comercialização da coleta, processamento, estocagem, distribuição e transfusão do sangue, componentes e hemoderivados;

A discussão pela política ideal de doação de sangue é bastante complexa do ponto de vista sociológico. O incentivo financeiro para que as pessoas doem, embora pareça *a priori* uma boa ideia, eventualmente gera dois problemas: o esvaziamento da mentalidade espiritualmente voluntária e a atração de um grupo de doadores possivelmente com sangue não-saudável.

No que diz respeito ao segundo ponto, é importante destacar que alguma parte do sangue efetivamente doado acaba por ser descartado dos bancos de sangue ao redor do globo. A presença de patógenos como os vírus HBV, HBC e HIV é um dos responsáveis por isso. Entretanto, haveria algo ainda mais grave. Como grande parte dos patógenos tem um tempo de inatividade no organismo, qualquer banco de sangue, ao aceitar um doador, assume um risco de infectar o paciente que receberá essa bolsa de sangue intrínseco à saúde deste doador. (Garraud O, *et al*, 2016)

Nesse sentido, vem ganhando muita força a ideia de que é preferível ter um grupo confiável – embora talvez não muito grande – de doadores assíduos (com pelo

menos duas doações por ano) à simples lógica de maximizar o número de doadores a qualquer custo ou política. Tal ideia faz muito sentido, sobretudo em países como a China, onde existem questões culturais mais densas como a crença de que qualquer parte do corpo, incluindo o sangue e a pele, deriva de 15 ascendentes e não deve ser descartado. (Yew-Kwang *et al.*, 2016)

Outro ponto central na discussão de estoques de sangue é o *trade-off* básico entre garantir um grande ou pequeno estoque de bolsas. Esse dilema consiste na seguinte problemática: coletar e estocar componentes do sangue gera um alto custo. O armazenamento de materiais biológicos segue um protocolo restrito de temperatura de refrigeração, tempo de conserva, etc. (no Brasil regulado atualmente pela portaria nº 1353, de 13 de junho de 2011). Além disso, por se tratar de produtos perecíveis, há uma chance intrínseca de pelo menos alguma coleta e estocagem ter sido realizada em vão na medida em que, ao final da validade, aquela bolsa estará sendo jogada ao lixo.

Por outro lado, escolher manter estoques de sangue baixos propicia um risco inerente elevado ao passo que se gera um cenário no qual aumenta a probabilidade de haver parte da demanda não satisfeita. E salienta-se que tal demanda não satisfeita por bolsas de sangue pode vir a significar consequências fatais, já que, como se sabe, a transfusão de sangue ocorre muitas vezes em momentos decisivos da vida ou morte de um paciente. A figura 1 esquematiza tal cenário.

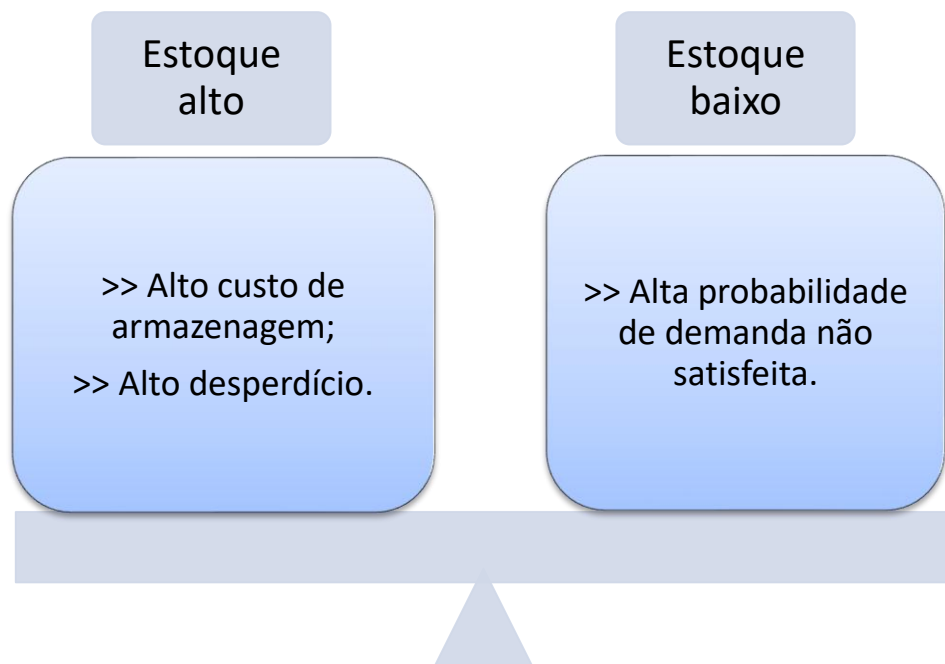


Figura 1 – *tradeoff* entre a manutenção de um estoque alto ou baixo

Fonte: Elaborada pelo autor

No Rio de Janeiro, estima-se que o índice de doadores de sangue é da ordem de apenas 1% da população. Dessa maneira, o estado fluminense concentra problemas sobretudo no que tange à falta de doadores suficientes para garantir estoques de sangue satisfatórios. É comum assistir à televisão e às mídias digitais e verificar campanhas clamando por novos doadores. (Datusus, 2017)

A situação do Rio de Janeiro, evidentemente, se repete em quase todos os estados brasileiros. De fato, dados do ministério da saúde de junho de 2017 apontaram que o índice nacional está estacionado em 1,8%. Nesse sentido, convém mencionar que a OMS recomenda que pelo menos 1% da população doe sangue; contudo, esse valor está contido num intervalo de recomendação de 1% a 5%, e, portanto, o Brasil estaria muito mais próximo do limite inferior desse intervalo. (*World Health Organization, 2010*)

De fato, é extremamente difícil mensurar uma porcentagem ideal da população para garantir autossuficiência em sangue, e se destaca que cada região tem suas particularidades endêmicas, o que vai de encontro a generalizações. De toda maneira, observa-se que países desenvolvidos têm uma taxa de doação de sangue até nove vezes maior do que em países pobres, corroborando que, em nações como o Brasil, políticas de complementação e incentivo à doação de sangue são de extrema importância. Podemos observar o comparativo entre os países do globo na figura 2. (*World Health Organization, 2010*)

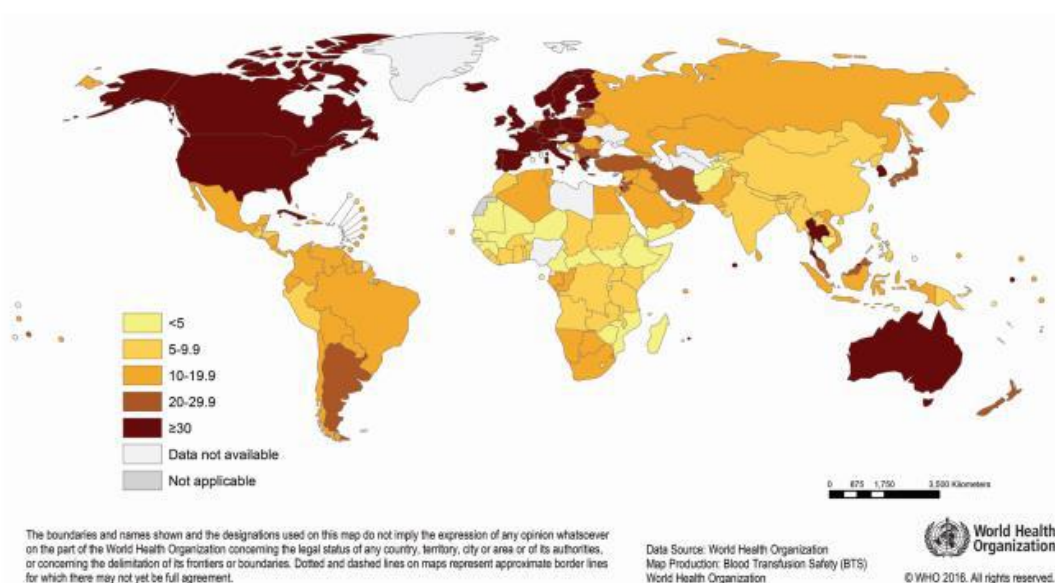


Figura 2 – Taxa de doação de sangue por país (nº de doadores por 1000)

Fonte: World Health Organization

Além da abordagem pela população, há pelo menos mais uma maneira consagrada na literatura de mensuração da taxa necessária de doação de sangue para a autossuficiência: com base no quantitativo hospitalar, isto é, o número de leitos. Por tal perspectiva, a OMS recomendaria 7 bolsas por leito por ano. Todavia, esse número não contempla as especificações de cada leito, o que gera, por exemplo, a seguinte recomendação discriminada pela tabela 1 da ANVISA.

Tabela 1 – Recomendação de bolsas de sangue com base na complexidade hospitalar.

TIPO DE UNIDADE HOSPITALAR	TOTAL DE BOLSAS/LEITO/ANO
Hospital sem UTI e sem Pronto Socorro	3 a 5
Hospital com UTI ou Pronto Socorro	6 a 9
Hospital com UTI e com Pronto Socorro	10 a 15
Hospital com UTI/ Pronto Socorro e Alta Complexidade	16 a 20
Hospital de Referência estadual com Urgência e Emergência/Cirurgia cardíaca	21 a 50
Hospital com leitos de hematologia (hemofilia/hemoglobinopatias/oncologia hematológica)	100

Fonte: MS/PPI estaduais –GGCA - ANVISA

No estado, há diversos hospitais que têm seus bancos de sangue próprios, como os hospitais públicos universitários. Entretanto, a maior parte das unidades de saúde pública fica vinculadas a um centro comum de coleta e distribuição de sangue, o HEMORIO.

Criado em 1944, o HEMORIO teve como sede inicial um prédio situado à Rua Teixeira de Freitas, na Lapa. Posteriormente, durante o governo Carlos Lacerda, foi projetada a construção de um novo prédio em um terreno ao lado do hospital Souza Aguiar. Em 1969, era inaugurada, à Rua Frei Caneca, a atual sede do então Instituto Estadual de Hematologia, que dezessete anos depois ganharia sua sigla atual.

Atualmente, o HEMORIO abastece cerca de 200 unidades de saúde, recebendo centenas de doadores voluntários por dia. Ademais, possui um serviço de Hematologia, com mais de 10 mil pacientes ativos, que realizam tratamentos de diversas doenças hematológicas. (Hemorio, 2017)

1.1 Justificativa e Motivação

Como exposto anteriormente, o Rio de Janeiro sofre com poucos doadores de sangue regulares, o que faz com que os estoques de bolsas de sangue estejam continuamente abaixo do que se considera satisfatório para a direção dos centros de coleta e a opinião pública.

Dentre as várias ações que as unidades de saúde buscam, o HEMORIO adota há alguns anos a política de envio de ônibus itinerantes e coletas desmontáveis estimular o aumento de doações. Tal incentivo, denominado de coleta externa, complementa as doações realizadas *in loco* (coleta interna).

A coleta externa opera diariamente com uma ou duas equipes com profissionais de saúde e de apoio saindo do instituto e seguindo para outras regiões. Em geral, são lugares mais distantes do centro da cidade, como a zona oeste. Os destinos das equipes são previamente acertados com as organizações de destino, que podem ser empresas, escolas, universidades, igrejas, dentre outras, até 60 km distantes do HEMORIO.

Para organizações distantes de mais de 60 km ou para grupos muito pequenos, o HEMORIO também conta com uma iniciativa chamada Caravana Solidária, que consiste num veículo responsável por trazer e levar essas pessoas até a sede para que elas realizem suas doações. No entanto, embora a iniciativa tenha um importante peso educativo, como premissa, adotaremos – com base na experiência da gerência – que essa não configura uma variável importante a ser considerada pelo estudo como premissa.

A coleta externa pode ser por meio de ônibus itinerantes, que contém em si toda a estrutura de coleta instalada ou por meio de coletas desmontáveis (portáteis), como ilustra a figura 3. A diferença entre ambas é considerável, tanto em termos de periodicidade e número de bolsas coletadas quanto de logística e ergonomia do trabalho.



Figura 3 – Coleta externa a partir de ônibus itinerantes e estrutura desmontável (à esquerda e à direita, respectivamente).

Fonte: Elaborada pelo autor

A complementação de coleta de bolsas externamente vem, de fato, trazendo bons resultados à instituição. Todavia, a ausência de planejamento de tal política faz com que os gerentes do centro de saúde se deparem com algumas questões, tais como:

- i) quantas coletas externas devem ser mandadas por dia (por mês)?
- ii) em que épocas do ano o envio das equipes é mais eficaz no que diz respeito ao cumprimento de nossos objetivos?
- iii) para que regiões o envio das equipes será mais eficiente no que diz respeito à maximização das doações?
- iv) qual a política de envio de equipes que minimiza os custos do HEMORIO?
- v) qual a política de envio de equipes que minimiza a demanda não satisfeita por bolsas de sangue?

A resposta para o conjunto dessas questões delimita a política ideal que o HEMORIO deve praticar quanto aos ônibus itinerantes e coletas desmontáveis. Entretanto, além disso, é essencial que não se perca que a busca pela otimização dessa

política já parte do pressuposto que a utilização dos ônibus e estruturas portáteis fora tomada anteriormente como solução, embora pudessem existir diversas formas de estimular a oferta de doações. Tal abordagem, todavia, em princípio, fica exógena à confecção desse texto científico.

1.2 Objetivos

A resposta aos questionamentos levantados no ponto anterior são, sem dúvida, os objetivos principais deste trabalho. Entretanto, é perceptível que alguns dos objetivos listados são conflitantes (como o “iv” e o “v”). Além disso, o caráter multiobjetivo dessa análise aumenta bastante a complexidade da resolução da questão, sem trazer um ganho interpretativo para o modelo que o justifique.

Assim, concentrar-se-á como objetivo geral do trabalho resolver o problema de estímulo de oferta de doações a partir do viés obtido pela pergunta “iv) qual a política de envio de equipes que minimiza os custos do HEMORIO?”. Dessa maneira, estabelece-se como objetivo principal do trabalho: **determinar por meio de um modelo matemático a política ótima de envio das equipes de coleta externa do HEMORIO a fim de minimizar os custos da instituição.**

Como objetivos específicos, listam-se: i) verificar a diminuição da demanda não satisfeita por bolsas de sangue; ii) entender satisfatoriamente os parâmetros que envolvem a problemática do estudo de caso, possibilitando o desenvolvimento dos recursos humanos da entidade e; iii) o aperfeiçoar e/ou adaptar os modelos estudados na literatura.

1.3 Estrutura

Além deste primeiro capítulo de introdução, seguirão mais quatro capítulos. Na “Introdução”, foram expostos o tema central e comentários iniciais acerca do estudo, assim como a justificativa e a motivação para a realização desse trabalho, seus objetivos e a forma como ele está estruturado. O segundo capítulo, intitulado “Revisão Bibliográfica”, apresenta todo o embasamento teórico deste trabalho, evidenciando o detalhamento científico no que tange tanto o estoque de produtos perecíveis quanto a gestão de bancos de sangue e ao HEMORIO.

O terceiro capítulo, intitulado “Metodologia” introduz a construção do modelo do problema, passando por abordagens clássicas e revelando os pressupostos, pontos positivos e negativos de cada uma destas, para então justificar uma modelagem. Ao final, o capítulo faz uma discussão também dos custos inerentes a tais modelagens.

O quarto capítulo, intitulado “Experimentação e Análise”, apresenta uma discussão sobre os dados coletados relativos ao caso de estudo, uma validação do modelo escolhido baseado na literatura, além dos resultados numéricos obtidos, com a respectiva análise desses resultados.

O quinto capítulo, intitulado “Conclusão e Sugestões para Trabalhos Futuros”, apresenta uma síntese do estudo e uma reflexão dos resultados obtidos. Além disso, são fornecidas sugestões para trabalhos futuros. Após este capítulo, encontra-se a listagem das referências bibliográficas utilizadas neste trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção são apresentados diversos conceitos e avanços encontrados na literatura, os quais foram fundamentais para o desenvolvimento desse trabalho. A literatura referente à gestão de estoque de sangue é ampla, pois engloba diversos ramos do conhecimento científico, já que está no limiar de conhecimento entre a gestão de processos produtivos e o terreno biomédico. No presente trabalho, concentramos-nos nas referências relativas ao primeiro grupo.

A gestão de estoque de sangue pode ser entendida como uma categoria da gestão de estoque de perecíveis, tema mais corriqueiro na literatura e de grande aplicabilidade. Além do que naturalmente conhecemos como produtos perecíveis, tais como itens alimentícios de gôndolas de um supermercado, bens que estão disponíveis por um período de tempo limitado também podem ser assim classificados. Dessa maneira, jornais diários, assentos de uma sessão de cinema e passagens de avião são estudados sob a mesma óptica.

Podemos estabelecer uma divisão genuína de como os autores estudam a gestão de estoque de sangue entre duas principais abordagens, i) por processos ii) e por modelos quantitativos. Dentre os modelos quantitativos, podemos fazer outra divisão no que diz respeito à natureza desses modelos, i) modelos de estoque; ii) e modelos de fila e iii) outras.

A figura 4 ilustra essa primeira visualização da literatura.

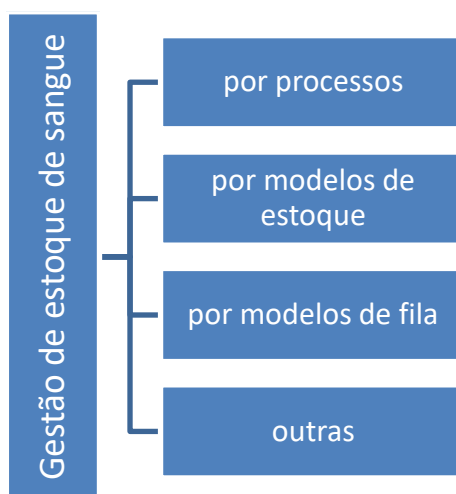


Figura 4 – Divisão da literatura da gestão de estoque de sangue

Fonte: Elaborada pelo autor

2.1 Abordagem por processos

Dentre os autores que estudam esse tema, a abordagem por processos é, sem dúvidas, a mais visitada. Esses estudos mostram como a boa utilização dos recursos humanos e a boa gerência dos métodos são fatores preponderantes para a redução de custos da gestão e manutenção dos estoques de sangue.

Como já fora mencionado na introdução desse texto, manter o balanço crítico entre a escassez e o desperdício é a chave para a boa gestão dos estoques de sangue. Segundo Prastacos (1984), algumas gestões conseguem atingir uma disponibilidade de 100%, mantendo ainda assim níveis de estoque pequenos. Entretanto, trata-se – efetivamente – de um desafio para a maioria dos bancos de sangue.

Bedi *et al* (2016) mostraram que há uma série de particularidades que envolvem cada situação especificamente, de forma que cada hospital deve traçar sua própria política de gerenciamento; ainda, é claro, que algumas premissas gerais possam ser apontadas. Seu estudo revelou que a redução do tempo de preparação do sangue de 72h para 48h corrobora para uma redução do desperdício, assim como a divisão das bolsas de sangue em dois grupos, um com bolsas de sangue mais novas e outro com bolsas de sangue mais velhas. Nesse caso, cada grupo teria uma política diferente; o grupo mais novo seria destinado aos lugares onde o sangue é menos requisitado, e o grupo mais velho onde o uso do sangue é mais provável.

Já Stanger *et al* (2012) definiram procedimentos chaves para a melhoria dos processos, como a manutenção de um estoque alvo e um padrão de pedidos, a transparência dos estoques e o treinamento dos recursos humanos. Segundo esses autores, é essencial que a informação esteja acessível à direção a todo momento mesmo que seja por um pedaço de papel. É fundamental, também, que haja um estrito procedimento de pedidos por bolsas de sangue, a fim de evitar o que os autores chamaram de pedidos de emergência (*panic orders*), aqueles realizados no desespero porque o refrigerador encontra-se vazio.

Outro ponto comum entre os estudos é a preferência por pedidos em pequenas quantidades em detrimento àqueles maiores nos quais haveria economia de escala. Nesse caso, a economia de escala não se justifica pois é verificado empiricamente que um número maior de bolsas tende a vencer quando essa escolha é realizada.

Diversos estudos de processos utilizam também modelos de simulação, o que permitiu com que muitos dos resultados empíricos observados ao longo dos anos pudessem ser aprimorados (e.g., Rittala *et al.*, 2006; Katsaliaki *et al.*, 2008; Kopach *et al.*, 2008). No entanto, mesmo assim, muitos especialistas argumentam que alguns pressupostos sobre os modelos comumente distorcem resultados e, portanto, têm grandes limitações para serem implementados. (Mattsson, 2007; Smaros *et al.*, 2003)

2.2 Abordagem por teoria de estoques e outras

Ainda que gere controvérsia entre os autores supracitados, há uma série de modelos matemáticos que tentam explicar e otimizar o controle de bolsas de sangue. Alguns desses modelos procuram utilizar a teoria de estoques adaptada para produtos perecíveis.

(Clay *et al.*, 2018) evidenciam o aparecimento de um efeito-chicote entre a demanda e a oferta de bolsas de sangue. Segundo esse estudo, em geral estoques muito baixos de sangue costumam incentivar mecanismos de complementação das doações, que tendem a agregar consigo um efeito temporário e desproporcional, isto é, aumentando tardia e demasiadamente o estoque, o que favorece um aumento de custos e desperdícios. Como solução, é sugerida a criação de estoques adicionais de segurança para manter o número de bolsas mais estável.

Outro grupo de estudos (Bounkhel *et al.*, 2004; Gohary *et al.*, 2008) mostra como produtos perecíveis podem ter o controle ótimo através da minimização de uma função multiobjetivo de penalidades. (Ravichandran, 1995) faz uma análise estocástica do modelo de estoques(S, s) para itens perecíveis com demanda exponencial e *lead time* definido. Já (Bose *et al.*, 1995) utiliza o conceito de quantidade econômica de estoque para estimar qual o montante ideal do pedido para manutenção do estoque a custo mínimo, considerando fatores como a inflação e deterioração do valor presente desses produtos.

Dentre às demais abordagens, podemos evidenciar abordagens de análise estatística, como os modelos de regressão linear propostos por (Schreiber *et al.*, 2005; Godin *et al.*, 2007), simulação de eventos discretos (e.g., Katsaliaki and Brailsford, 2016; Rytilla and Spens, 2006) e técnicas de programação matemática (e.g., Hemmelmayr *et al.*, 2009; Dillon *et al.*, 2017).

2.3 Abordagem por modelos de fila

Outra grande parte dos modelos matemáticos que buscam a minimização do custo e/ou a maximização do bem-estar nos centros de sangue se baseia na teoria de filas. A teoria de filas, ramo da probabilidade que estuda os fenômenos de espera através de análises matemáticas precisas, é geralmente uma abordagem eficaz na medida em que o estudo dos processos de chegada e saída do estoque passa a ser protagonista para esse tipo de abordagem. Outra razão é a de que, como se verá a seguir, foi revelado que um modelo de estoque de perecíveis se comporta analiticamente idêntico ao de um modelo de fila MM1 com consumidores impacientes. (Graves, 1982)

A teoria de filas surge em meados dos anos 50, quando o modelo clássico – com tempo entre chegadas e tempo de serviço independentes e exponenciais – conseguia explicar vários tipos de fenômenos sociais, tais como o fluxo de tráfegos, escalonamento de recursos e a prestação de serviços. Ao longo das décadas, o modelo original foi sendo extrapolado para outros tipos de fila, e houve quem estudasse subtemas específicos dentro da teoria. Por exemplo, rede de filas (equações de tráfego de Jackson), filas com tráfego intenso (equação de Kingman), políticas de fila e prioridades (*polling system*), dentre outros. (Jo, 1983)

Em especial, determinados cientistas se concentraram em analisar modelos de filas com taxas de chegada e/ou saída variáveis, e, em particular, como o controle sob tais parâmetros é decisivo para a otimização dos custos e do bem-estar do sistema. O estudo de tais pesquisadores será detalhado a seguir, já que tem muita similaridade com o presente trabalho.

Nesse sentido, podemos dividir tais publicações em três segmentos: i) as que variam somente a taxa de chegada; ii) as que variam somente a taxa de serviço e; iii) as que variam ambas as taxas.

Em relação aos trabalhos que se concentram na variação da taxa de serviço, citamos George e Harrison (2001) que analisaram uma fila MM1 sob a óptica da busca de um vetor de política da taxa de serviço $\mu = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n)$ a partir de uma taxa de chegada dada. Já Jo (1983) avalia que o controle ótimo de um sistema MG1 no qual o serviço é composto por várias sub-etapas é dado por uma variável Erlang; Chan *et al* (2011) se concentram em estabelecer parâmetros operacionais a fim de evitar o controle míope de equipes médicas no processo de aceleração do serviço em unidades de tratamento intensivo (*speedup*), que ocorre quando a fila por leitos está elevada.

Outro grupo de pesquisas analisou o efeito sob a variação em ambas as taxas, como Nahmias *et al* (2004) e Crabill (1974). Este último estudo, por exemplo, avaliou, à luz de um processo de Semi-Decisão de Markov, qual a política ideal de manutenção de máquinas num processo industrial.

Finalmente, os demais estudos, que analisaram a variação na taxa de chegada, têm grandes aplicabilidades. Grande parte discorre acerca de como o preço dinâmico de um produto ou serviço influencia diretamente na demanda por aquele bem, e de como isso deve mensurado. (e.g., Low, 1974; Weber, 2015; Paschalidis e Tsitsiklis, 2000; Yoon e Lewis, 2004). Outras aplicações são as que tratam do problema de *overbooking*, como no trabalho de Subramanian *et al* (1999); e aqueles que quantificam como a propaganda influencia na demanda de um serviço (Weber, 2015).

2.4 A Teoria ISPC

Dentre todos os estudiosos dos modelos de produtos perecíveis (*Perishable Inventory Systems*) por abordagem em filas, um dos que mais se destaca é o professor da Universidade de Haifa – em Israel – David Perry. Seu modelo para gestão de *commodities* perecíveis (Perry e Kaspi, 1983) serviu de base para diversos trabalhos na área (e.g., Kopach *et al*, 2008; Ravichandran, 1995)

A ideia central do ISPC – do inglês *Inventory systems of perishable commodities* – é fazer cálculos a partir de uma função de desperdício, denotada por $\tilde{W}(t)$. Ao controlar essa função, está-se exercendo um controle indireto – e mais simples – sob a variável que representa o número de itens no sistema, denotado no modelo por $K(t)$.

Em Perry e Kaspi (1983), os autores definem o processo $\tilde{W}(t)$, e o nomeiam processo de morte virtual (VDT, do inglês *Virtual Death Time*). O VDT é modelado por uma variável aleatória contínua e positiva que representa o tempo até a saída do próximo item do estoque caso a demanda seja interrompida no instante t . Tal saída pode ocorrer, no entanto, de duas formas: i) hipoteticamente se ignorados os intercursos devido às demandas satisfeitas, que incrementam o valor de $\tilde{W}(t)$, ou; ii) de fato pelo término da validade daquele item, quando não houve nenhuma demanda por ele. A morte denotada em (i) é chamada de morte virtual (*virtual death*) e em (ii) de morte real (*real death*).

A figura 5 ilustra a modelagem adotada. Para entendê-la, simplificadamente, salienta-se que:

- $\tilde{W}(t)$: validade do item mais velho no sistema;
 U_n : tempo até a n – ésima morte;
 S_n : tempo entre mortes sucessivas ($U_{n+1} - U_n$);
 Z_n : n – ésima demanda;
 D : tempo até a primeira morte real.

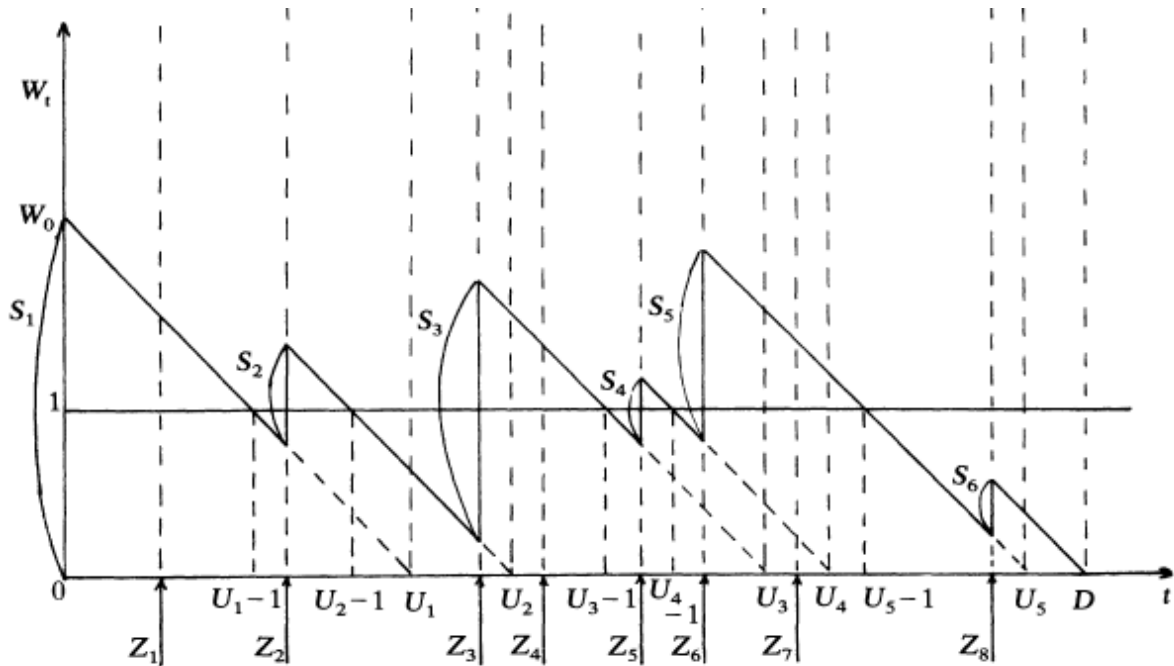


Figura 5 – Comportamento da função $W(t)$.

Fonte: PERRY, D.; KASPI, H, (1983)

No que diz respeito à variável aleatória que serve de base para o controle do modelo, algumas observações no sentido do seu esclarecimento. Para o ISPC, a validade de um produto é determinística e igual a 1. Portanto, segue que:

(i) Se $\tilde{W}(t) > 1$, significa que o tempo até o próximo item sair do estoque é maior do que a validade dos itens. Isso ocorre se, e somente se, o sistema está vazio, e portanto qualquer demanda aqui será não satisfeita. Observe, por exemplo, o processo de demanda Z_1 . Ele ocorre quando $\tilde{W}(t) > 1$, ou seja, não itens em estoque. Assim, essa demanda é não satisfeita, e, por isso o valor de $\tilde{W}(t)$ não se altera.

(ii) Se $\tilde{W}(t) < 1$, então $1 - \tilde{W}(t)$ é a idade do item mais velho em estoque; se houver uma demanda nesse momento, então esse item será consumido, e o segundo item imediatamente mais velho assumirá o posto daquele agora consumido. Isso

implicará que a variável $\tilde{W}(t)$ incrementará¹. Observe, agora, o processo de demanda Z_2 . Como $\tilde{W}(t) < 1$, há itens em estoque, e essa demanda será satisfeita, o que causa, aqui, um incremento no valor de $\tilde{W}(t)$.

(iii) Quanto mais próximo $\tilde{W}(t)$ está de 1, maior as chances de ainda haver uma demanda satisfeita, e portanto, maior a probabilidade de haver mortes virtuais.

(iv) Quanto mais próximo $\tilde{W}(t)$ está de 0, menores as chances de ainda haver uma demanda satisfeita, e portanto, maior a probabilidade de haver morte reais.

Dessa maneira, fica claro que, como o objetivo é evitar mortes reais, a ideia deve ser controlar o processo para que $\tilde{W}(t)$ se afaste de zero, levando em consideração o custo de fazê-lo.

O controle da variável $\tilde{W}(t)$ é amadurecido em Perry e Posner (1990). Nesse trabalho, os autores consideram dois cenários de controle da oferta, i) um em que a taxa de serviço μ é discretizada em dois valores μ e μ_0 de acordo com um patamar estabelecido, ii) e outro no qual a taxa de serviço μ assume tais valores a partir de dois patamares x_0 e x_1 . Em ambos os casos, o controle sobre a taxa de serviço está diretamente relacionada ao valor de $\tilde{W}(t)$.

Semanticamente, o que se estabelece com o patamar de discretização x é a divisão em dois grupos muito comuns em situações de saúde reais, um caso de emergência (alta demanda) e um caso comum (baixa demanda). A figura 6 ilustra tal dicotomia.

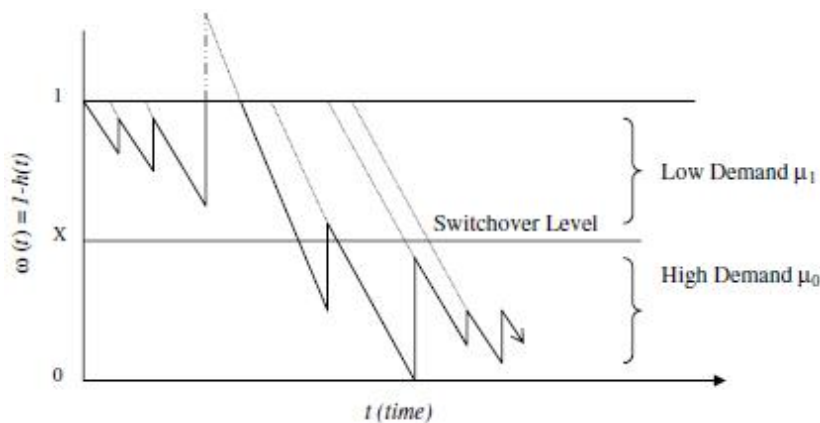


Figura 6 – Comportamento da função $W(t)$ em controle

Fonte: PERRY, D.; POSNER M.J.M.; (1990)

¹ Lembramos aqui que como o modelo é baseado em chegadas e partidas poissonianas, as validades das bolsas serão necessariamente diferentes devido ao pressuposto de não simultaneidade de uma variável de Poisson.

Finalmente, a função densidade de probabilidade de $\tilde{W}(t)$ consegue ser analiticamente obtida a partir da multiplicação de funções exponenciais para cada região delimitada pelo(s) patamar(es). Para mais detalhes, ver a referência supracitada.

2.4.1 A contribuição de Graves

Uma das bases da teoria ISPC desenvolvida por Perry se respalda em outro trabalho baseado em modelos de fila da literatura, estudado por Graves (1982). Sua forma de modelagem é baseada num processo de decisão de Markov contínuo, no qual o conjunto S de estados representa a *idade* do item mais velho em estoque.

As transições nesse modelo ocorrem sempre que há uma demanda pelo consumidor, sendo que há dois casos: no primeiro, a demanda é totalmente satisfeita, na segunda, a demanda é parcialmente satisfeita, pois o estoque não consegue suprir totalmente o pedido.

Sendo m o período de validade determinístico dos itens em estoque, e t_n os momentos em que ocorre demanda, a figura 7 representa um caminho possível dos estados ao longo de algumas transições.

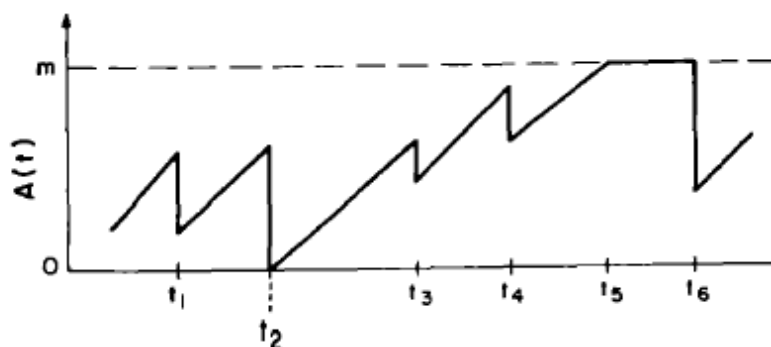


Figura 7 – Validade do item mais velho em estoque

Fonte: GRAVES, S. (1982)

Observa-se que em t_1, t_3, t_4 e t_5 , os pedidos foram atendidos normalmente; em t_2 , um pedido foi parcialmente atendido, havendo demanda não satisfeita representada pelo segmento de reta tracejado; e entre t_5 e t_6 , houve possivelmente o vencimento de alguns dos itens perecíveis.

Segundo Kopach *et al* (2008), o trabalho de Graves foi fundamental, pois ninguém havia consolidado até então essa forma de modelagem, sem que ela incorresse em formulações matemáticas muito complicadas. É facilmente observado que a teoria

ISPC tomou essa modelagem como ponto de partida, na medida em que $1 - \tilde{W}(t)$ também representa a idade do item mais velho em estoque.

2.4.2 A chave da Teoria ISPC

O modelo desenvolvido por Perry *et al* (1983,1990) teve grande aplicabilidade, sendo usado, por exemplo, para a otimização de bancos de sangue do Canadá e Holanda (e.g., Kopach *et al*, 2008; Gunpinar e Centeno, 2015). O seu sucesso se explica por uma relação estabelecida entre o modelo e a teoria de filas tradicional.

Tal relação, apresentada em Perry e Kaspi (1983) decorre da prova analítica de uma similaridade fundamental que simplifica os modelos de estoques de produtos perecíveis. A saber, a de que o tempo entre mortes reais (distribuição de D) se comporta, de fato, exatamente igual ao período ocupado referente às desistências de um sistema MM1 com consumidores impacientes. Por *mesmo comportamento*, leia-se *mesma distribuição de probabilidade*.

Para entender essa semelhança, imagine uma fila MM1 qualquer, por exemplo, para comprar ingressos de um filme de cinema. Numa fila com consumidores impacientes, todas as pessoas dessa fila estão com pressa *e/ou* insatisfeitos com o serviço, de forma que só aceitam esperar uma unidade de tempo naquele sistema. Caso contrário, deixam a fila, entrando na estatística de demanda não satisfeita daquele cinema.

No caso dos modelos de perecíveis, os tais clientes impacientes são as próprias bolsas de sangue, que após a expiração de sua validade biológica, deixam o estoque, gerando desperdício. A chave aqui é: **estudar os clientes impacientes de uma fila MM1 é mais simples do que as mortes reais do sistema ISPC.**

Assim, estabelece-se uma relação entre a variável $\tilde{W}(t)$, observada até aqui, e a variável $W(t)$, representante do modelo MM1, tal que ambas possuem as mesmas distribuições e momentos (média, variância, etc.). Do mesmo modo, a teoria ISPC mostra que é possível estudar o tempo entre demandas não satisfeitas (distribuição de $\{Z_n \forall n | \tilde{W}(t) > 1\}$) a partir dessa mesma analogia.

Um ponto importante é que essas distribuições se equivalem desde que para as mortes reais, a taxa de chegada da fila MM1 seja μ e a taxa de serviço seja λ – isto é, o contrário do que se esperava –, enquanto para as demandas não satisfeitas, a taxa de chegada da fila MM1 seja λ e a taxa de serviço seja μ – isto é, exatamente o que se esperava. Para a prova desses teoremas, verifique a referência supracitada.

Finalmente, temos que D , o tempo entre mortes reais, é tal que sua média é dada pela expressão² 2.1:

$$E(D) = \frac{1}{\lambda - \mu} \left(1 - \frac{\mu}{\lambda} e^{\mu - \lambda} \right) \quad (2.1)$$

2.5 Avaliação da literatura específica para o estudo de caso

Além de analisar a literatura no que diz respeito à gestão de sangue e modelos de estoque de perecíveis com taxas variáveis, outro ponto importante para realização do trabalho está situado no estudo da literatura que tenha, de alguma maneira, aplicado algum método para a redução de custos especificamente sobre o nosso estudo de caso, isto é, o HEMORIO.

Nesse sentido, entretanto, há poucos trabalhos que se encaixam próximos da abordagem de custos e otimização. Santos *et al* (2014) mostram como a instituição melhorou sua gestão a partir dos benefícios do desenvolvimento tecnológico e científico e da aprendizagem organizacional. Ferreira *et al* (2005) avaliaram custos entre coleta interna e externa com o objetivo de determinar o número de bolsas mínimas que uma coleta externa deveria realizar para justificar sua utilização. Os dados desse trabalho, contudo, são extremamente limitados e se resumem ao mês de junho de 2005. Ainda assim, algumas de suas metodologias usadas foram atualizadas por essa dissertação.

Finalmente, no projeto de pesquisa que antecede a esse trabalho, Crelier e Heringer (2016) iniciam a discussão sobre o dimensionamento da coleta externa do Hemorio, propondo viagens com ônibus rotineiramente a partir de uma metodologia computacional empírica. Como conclusão desse trabalho, os autores indicaram que a média ideal de coletas externas diárias deveria estar próxima a 1,06.

² Além do valor esperado da variável D , é possível realizar análises para momentos de ordem diferentes desta e de outras variáveis do modelo. Evita-se aqui devido à complexidade de tais expressões.

2.6 Avaliação da inserção da pesquisa na literatura

A literatura que envolve a gestão de sangue no mundo é, de fato, relativamente extensa, e conta com abordagens das mais diversas que, em comum, tentam reduzir (ou minimizar) custos por meio de políticas de gerenciamento quantitativo ou qualitativo com mais efetividade. Como explica Dillon *et al* (2017), não há um consenso em relação a qual metodologia implica melhores resultados, e sim, adaptações das mesmas aos diversos estudos de caso.

Especificamente ao que concerne aos modelos de fila, nota-se que, apesar de sua grande relevância, ainda possuem grande complexidade analítica. Além disso, Perry e Posner (1990) só podem lidar com um ou dois níveis de variação nas taxas de chegada e/ou serviço, o que limita a generalização desse modelo para contextos mais complexos com três ou mais variações nas taxas.

Geralmente, eles não observaram isso, porque o estoque de sangue foi considerado a partir de uma dicotomia natural entre uma situação considerada normal e outra de emergência – quando a política de gerenciamento de estoque deve se adaptar para garantir a minimização dos prejuízos causados. Podemos ver isso claramente no trabalho subsequente de Kopach *et al.* (2008).

Dessa maneira, observa-se que os modelos de fila encontrados na literatura não conseguem lidar com situações nas quais os graus de liberdade do gestor na mudança de taxa são maiores, como na situação evidenciada no HEMORIO. Outrossim, fica claro que os estudos realizados especificamente para o dimensionamento da coleta externa da instituição estão defasados ou carecem de certa generalização. Assim, estamos convencidos de que o presente trabalho se faz fundamental tanto para generalizar os modelos encontrados na literatura quanto para clarificar as melhores políticas de gestão da organização estatal.

3 METODOLOGIA

Nesta seção é apresentada a metodologia utilizada para a modelagem do problema descrito anteriormente e para a geração dos dados utilizados nos experimentos realizados. São apresentadas as modelagens matemáticas propostas, decorrentes daquelas experimentadas na literatura.

Em virtude de se tratar de uma dissertação de mestrado, procurou-se adicionalmente apresentar como o modelo foi evoluindo ao longo da pesquisa, a fim de justificar – didaticamente – o seu uso para o problema.

Lembramos que o objetivo deste trabalho é construir um modelo matemático adequado e verossímil que permita a boa (ótima) gestão de recursos do HEMORIO, tendo como mecanismo de decisão a política de envio de ônibus itinerantes e coletas desmontáveis da instituição.

3.1 O modelo MM1 clássico

Para iniciar a discussão, vamos adotar o estoque de bolsas do HEMORIO como uma fila MM1, cujas taxas de chegadas e saída, ambas poissonianas, são λ e μ , respectivamente, conforme mostra a figura 8. Nesse caso, segundo a teoria de filas, para que a fila tenha estabilidade, é necessário que a taxa de chegada seja menor do que a taxa de saída, isto é $\lambda < \mu$.

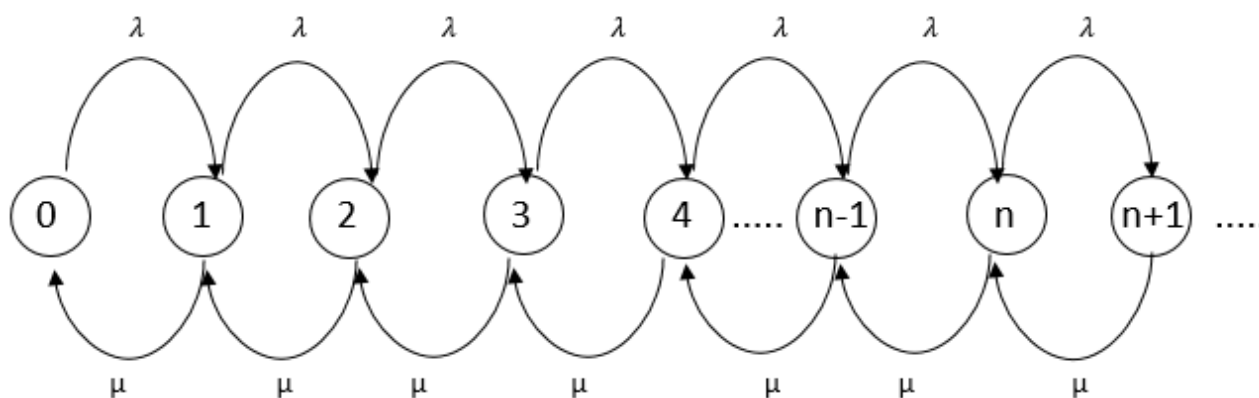


Figura 8 – Modelo MM1 clássico

Fonte: Elaborada pelo autor

De fato, essa é uma experiência que ocorre na prática, e, de uma maneira preliminar, consegue-se modelar o sistema. Como vimos na introdução, a taxa de chegada de bolsas de sangue é historicamente menor do que a taxa de saída, o que explica as ações na direção de complementação das doações.

Uma vantagem desse modelo é que, com pressupostos gerais de taxas de chegada e saída constantes e poissonianas, ele apresenta expressões analíticas referentes aos parâmetros da fila bem consolidados pela literatura. Em especial, destacam-se as equações de Little (1961).

Segundo Lieberman e Hillier (2013), as probabilidades de estado estável para o modelo MM1 são derivadas a partir das fórmulas gerais para os processos de vida e morte a partir de seus pressupostos básicos. De tal maneira que temos:

$$\begin{cases} P_0 = \left(\sum_{n=0}^{\infty} C_n \right)^{-1} \\ P_n = C_n P_0 \end{cases}, \quad \text{onde } C_n = \frac{\lambda_{n-1} \lambda_{n-2} \dots \lambda_0}{\mu_n \mu_{n-1} \dots \mu_1} \quad \forall n \in \mathbb{N}^*$$
(3.1)

$$\begin{cases} P_0 = 1 - \rho \\ P_n = \rho^n P_0 \end{cases}, \quad \text{onde } \rho = \frac{\lambda}{\mu}$$

A partir destas, é possível estabelecer expressões relativas aos custos do modelo. Só para citar um exemplo, o custo associado às bolsas de sangue descartadas por validade vencida (C_d) poderá ser expresso *facilmente* pela multiplicação da taxa de chegada com a probabilidade de o tempo de permanência no sistema ser maior do que a validade da bolsa (V_0), isto é:

$$C_d = \lambda \times P(W > V_0) \tag{3.2}$$

$$C_d = \lambda e^{-\mu(1-\rho)V_0}$$

Entretanto, apesar da imensa qualidade de tratamento analítico, a modelagem por um modelo MM1 simples traz consigo imensas limitações no que tange à flexibilização da política de envio de equipes de coleta externa.

3.2 O modelo MM1 com λ discretizado

Imagine, por exemplo, que deve fazer mais sentido à gestão o envio de mais equipes quanto menor estiver o estoque, de maneira que possa ser interessante tornar a taxa de chegada λ como uma função do estado da fila, isto é:

$$\lambda(n) \equiv \lambda_n, \quad \text{para } n = 0, 1, 2, \dots \quad (3.3)$$

O modelo MM1 com taxa de chegada λ variável permite mais alternativas de políticas para o envio de equipes. A figura 9 ilustra o grafo representativo desse modelo.

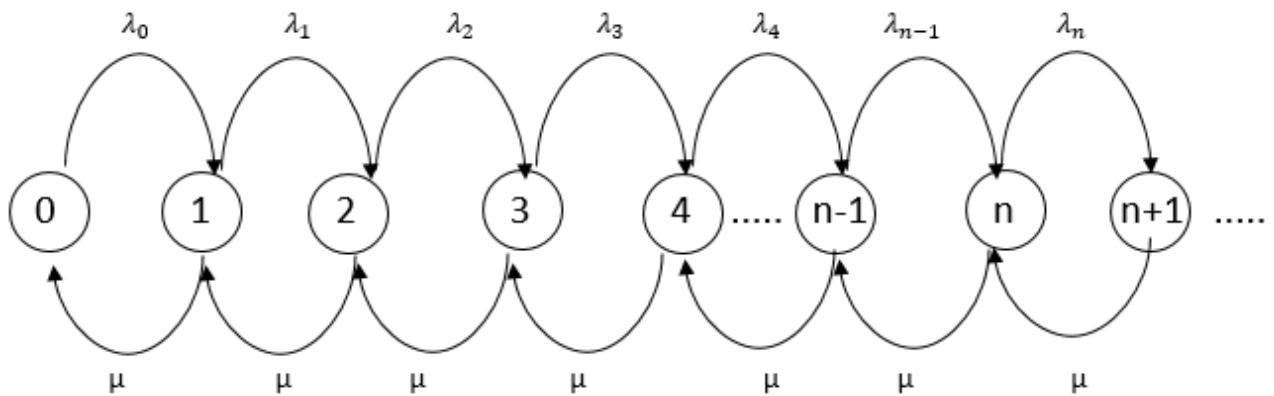


Figura 9 – Modelo MM1 com taxa de chegada variável

Fonte: Elaborada pelo autor

Em particular, a maneira com a qual a função $\lambda(n)$ varia pode ser estudada para o caso do HEMORIO. Suponhamos a seguinte simplificação do problema: a instituição dispõe de k equipes para coleta externa e quer decidir quando deve utilizar seus recursos ao máximo para complementar as doações, e quando *pode se dar ao luxo* de utilizá-los parcialmente.

Supondo também que cada coleta externa agrega em média $\Delta\lambda$ unidades de bolsas à taxa de chegada, teremos que:

$$\lambda_n(i) = \lambda + \Delta\lambda i, \quad \text{para } i = 0, 1, \dots, k, \quad \forall n \in \mathbb{N} \quad (3.4)$$

Indo mais além, podemos dar uma nova condição de contorno à função acima. Admite-se, sem perda de generalidade, que $\lambda(i)$ é monótona e decrescente. De fato, essa é uma das conclusões de Low (1974). Não é difícil perceber isso intuitivamente. Como já dissemos, parece ser mais interessante manter uma taxa maior quanto menor for o estoque de bolsas.

Considerando que ao estoque 0, a política ideal é enviar o máximo de coleta externa, uma das formulações matemáticas possíveis para a função $\lambda(n)$ seria a sua

construção a partir da soma de funções degraus, como exemplificam as figuras 10 (modelo genérico) e 11 (exemplo ilustrativo).

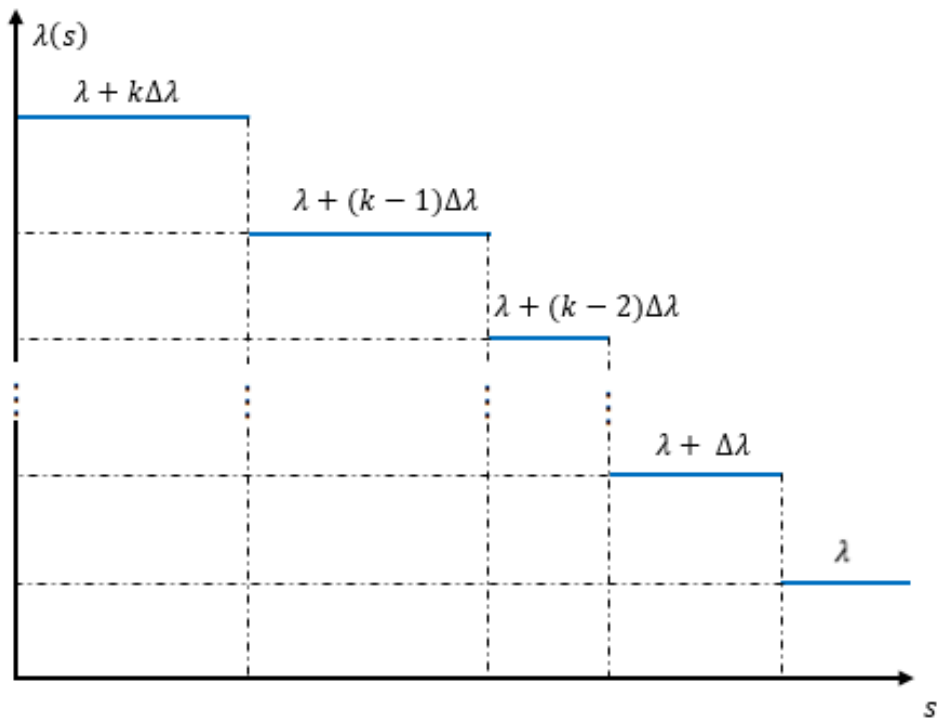


Figura 10 – Gráfico representativo da taxa de chegada como uma função degrau para k graus de liberdade

Fonte: Elaborada pelo autor

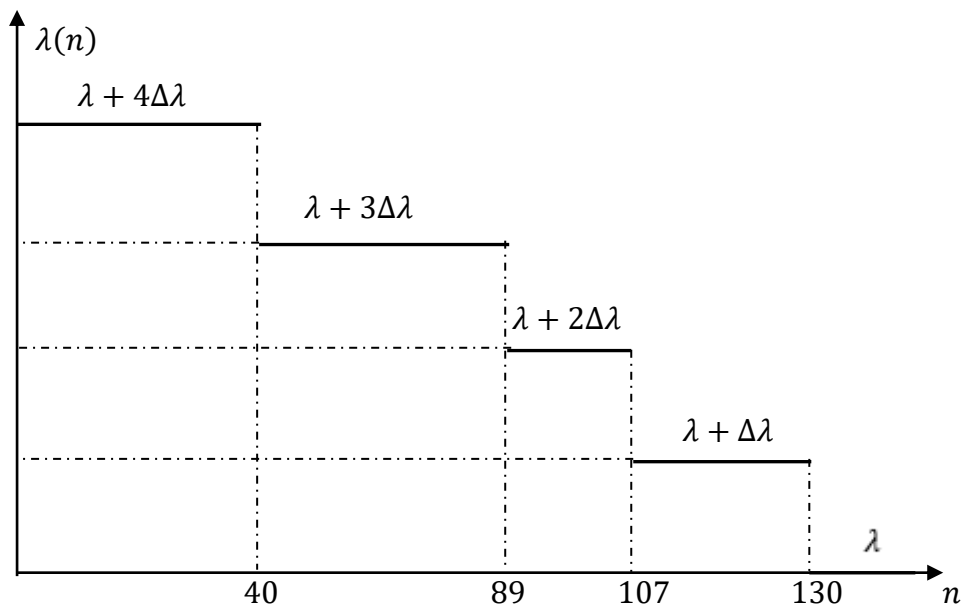


Figura 11 – Exemplo ilustrativo do comportamento da taxa de chegada variável com 4 discretizações.

Fonte: Elaborada pelo autor

Para esse exemplo (figura 11), temos que os pontos onde a taxa de chegada tem, de fato, um decréscimo são em $n = 40, 89, 107, 130$. Isto é, até 40 bolsas de sangue em estoque, são enviadas 4 equipes de coleta externa; para estoques de 41 a 88 bolsas, são enviadas 3 equipes; para estoques de 89 a 106 bolsas são enviadas 2 equipes; para estoques de 107 a 129 bolsas, é enviada 1 equipe. Após esses 4 decaimentos, o valor chega ao nível sem complementação, $\lambda(n) = \lambda$.

Evidentemente, esse é só um exemplo para ilustrar o formato de função que se pretende com essa modelagem, mas inúmeros tipos de construções diferentes poderiam ser apresentados, todas monotonicamente decrescentes.

3.2.1 O modelo MM1 com λ duplamente discretizado

Por ora, faremos aqui uma especificação importante. Com ela, perderemos a generalização do modelo, mas estaremos muito mais próximos da situação real. Ocorre que o HEMORIO atualmente dispõe de somente duas equipes para a complementação das doações. Dessa maneira, achamos que a análise desse caso em particular pode servir de ponto de partida às demais apreciações.

Assim sendo, baseando-se no modelo anterior, teremos $k = 2$, com dois momentos em que o valor da taxa de chegada λ_n sofre um decréscimo. Chamaremos, pois, esse modelo de duplamente discretizado, e para esses dois valores de n , denotaremos n_1 e n_2 .

O modelo MM1 com λ duplamente discretizado é interessante, pois fica num meio termo entre a simplicidade do modelo MM1 clássico e daquele onde a taxa de chegada é variada em cada estado. De fato, é possível deduzir as probabilidades a partir das relações fundamentais dos processos de vida e morte supracitadas. Como exemplo, evidenciamos a expressão relativa à probabilidade de o sistema se encontrar no estado inicial 0. Essa expressão é derivada da equação 3.1.

$$P_0^{-1} = \frac{\left(\frac{\lambda + 2\Delta\lambda}{\mu}\right)^{n_1+1} - 1}{\frac{\lambda + 2\Delta\lambda}{\mu} - 1} + \frac{(\lambda + 2\Delta\lambda)^{n_1}(\lambda + \Delta\lambda)\left(\frac{\lambda + \Delta\lambda}{\mu}\right)^{n_2-n_1} - 1}{\mu^{n_1+1}\left(\frac{\lambda + \Delta\lambda}{\mu} - 1\right)} + \frac{(\lambda + 2\Delta\lambda)^{n_1}(\lambda + \Delta\lambda)^{n_2-n_1}\lambda}{\mu^{n_2}(\mu - \lambda)} \quad (3.5)$$

Perceptivelmente, as expressões analíticas começam a ficar bastante complicadas (lembramos que as expressões de P_n dependem de P_0). Ademais, as variáveis de decisão n_1 e n_2 aparecem nos expoentes das expressões, de maneira que o tratamento analítico das mesmas, de fato, torna-se próximo ao impraticável. De fato, Perry e Posner (1990) propõe um tratamento não linear para essa questão.

3.3 O modelo MM1 descontado

Os modelos anteriores exprimem – muito ou pouco – a questão central da política do HEMORIO, o envio de equipes de coleta externa para complementar as doações. Entretanto, há outros pormenores relativos ao estoque de perecíveis que devem ser considerados nos modelos.

Dentre esses pormenores, é preciso avaliar os produtos que têm a sua validade expirada antes da sua utilização e as demandas por produtos não satisfeitas. Para o modelo MM1 clássico, não haveria dificuldade em incluir tais perspectivas; entretanto, para o modelo cuja taxa de chegada varia, incorrer-se-iam grandes entraves algébricos.

Para solucionar esse problema, recorreremos à teoria ISPC, apresentada no segundo capítulo. Segundo o que foi descrito no item 2.4.2, pode-se modelar a perecibilidade de um estoque com chegadas e saídas poissonianas a partir da sua estreita relação com uma fila MM1 com clientes impacientes.

A partir de tal ponto de partida, consideraremos filas MM1 com taxa de chegada variável a partir de um mecanismo de desconto devido à impaciência do cliente. Isto é, quanto maior o valor do estoque, maior a probabilidade de o cliente, de fato, vir a esperar mais do que está disposto a fazê-lo – para a teoria ISPC, uma unidade de tempo. Dessa maneira, ainda que se ignorassem as complementações das equipes, teríamos uma taxa de chegada monótona e decrescente com assíntota ao eixo horizontal, isto é:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \lambda'_n = 0 \quad (3.6)$$

Nomeamos aqui a taxa de chegada por λ' já que na verdade ela corresponderá – efetivamente – à taxa de saída (vide capítulo 2). Num modelo que combinasse coleta externa e perecibilidade, agregaríamos, portanto, dois fatores contribuintes na direção do decrescimento da taxa de chegada de bolsas real, conforme o aumento de n : perecibilidade e envio de equipes de coleta externa.

Algo muito interessante, segundo a teoria ISPC, é que o tratamento da perda por demandas não satisfeitas pode ser modelado de forma análoga, a partir da inversão entre λ e μ . Podemos entender essa inversão, semanticamente, enxergando, no grafo da fila, estados negativos que representem tal perda, conforme a figura 12.

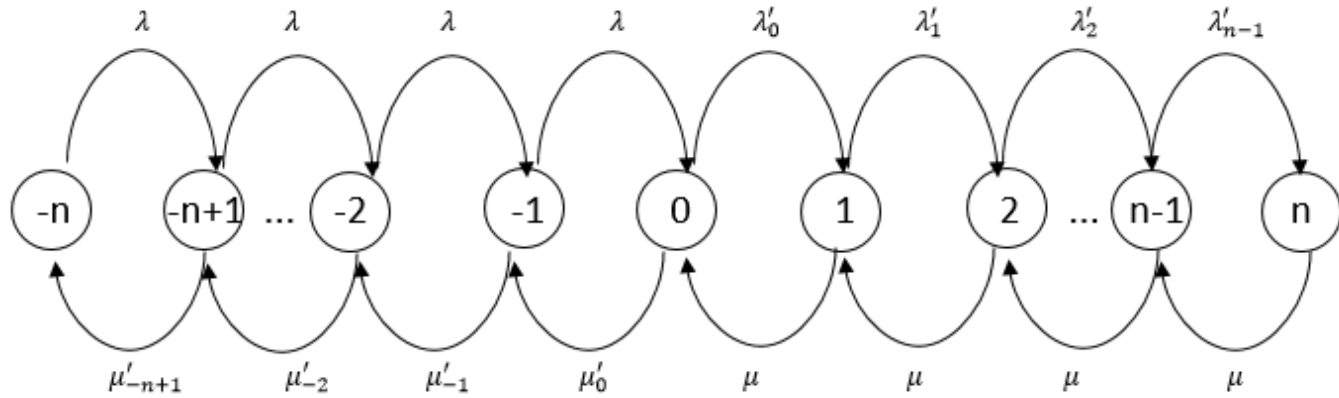


Figura 12 – Modelo MM1 com taxas descontadas.

Fonte: Elaborada pelo autor

Quanto maior o valor relativo de μ em relação a λ , maior a tendência de o estoque ir em direção ao sentido da esquerda. Na modelagem de filas de serviços, isso não costuma ser um problema; ao contrário, quanto maior essa tendência (quanto menor a razão λ/μ), melhores os parâmetros da fila – ao menos para o cliente. Todavia, na modelagem de estoques, claramente existe um dilema mais claro no que se refere a ter ganhos estando no estado 0.

Uma forma de quantificação é exatamente conforme ilustrado acima. Ou seja, considerar estados negativos que correspondam à quantidade de pedidos não satisfeitos (em fila) desse estoque. O estado negativo -34 , por exemplo, corresponderia ao estoque estar vazio e, ademais, existirem 34 pedidos de bolsas de sangue pendentes.

3.3.1 A função de desconto

Tendo em vista a abordagem descrita acima, há de se quantificar a maneira com a qual as taxas em questão serão descontadas (amortizadas). Uma forma clássica de fazê-lo é aplicar sobre λ' um amortecimento mediante a probabilidade de não atendimento baseado no modelo não descontado. Em essência, sabemos que, para uma distribuição de Poisson com média μ , a função de distribuição $D(x)$ que expressa o tempo até o n -ésimo evento é dado pela equação 3.7 (Shiryayev, 1984)

$$D(x) = 1 - \sum_{j=0}^{i-1} e^{-\mu x} \frac{(\mu x)^j}{j!} = 1 - \frac{\Gamma(n, x, \mu)}{\Gamma(\mu)} \quad (3.7)$$

Essa expressão é válida para x não-negativo e a distribuição Gama $\Gamma(n, x, \mu)$ é denominada Erlang quando i for um número inteiro. Na prática, representa a probabilidade de n bolsas de sangue serem consumidas sob uma taxa λ até certo tempo T . Assim, a amortização gerará a seguinte função acumulativa de desconto $F_T(t, i)$, onde $F_T(t, i) = P(T < t)$, onde λ'_n será dado pela equação 3.8 abaixo.

$$\lambda'_n = \lambda \times F_T(t, i)$$

$$\lambda'_n = \lambda \left(1 - \sum_{j=0}^{i-1} \frac{1}{j!} e^{-\lambda T} (\lambda T)^j \right) \forall i \in \mathfrak{N} \quad (3.8)$$

3.4 O modelo de decisão markoviana

Já sabemos que o grau de liberdade do envio ou não de equipes para complementar o estoque de bolsas de sangue faz com que o modelo de estoque das bolsas seja, na prática, um modelo de fila MM1 com taxa de chegada λ variável. Como, a priori, não se sabe qual a melhor decisão a ser tomada em cada estado, uma das abordagens possíveis é via um processo de decisão de Markov de tempo discreto e horizonte infinito.

As vantagens de utilização dessa modelagem estão concentradas na sua grande **flexibilidade**. Aqui, o número de discretizações k devido às equipes de coleta externa podem ser tratados de maneira mais simples. Ademais, a partir de uma cadeia ótima estacionária, a otimalidade dos algoritmos de resolução como a iteração de valor é sempre garantida. (Puterman, 2014)

Assim sendo, considere um processo de decisão de Markov com estado espaço $S = \{0, 1, 2, \dots\}$ cuja dinâmica é controlada pelo processo $\{X_k\}, k \geq 0$. Cada estado $i \in S$ representa um possível número de bolsas úteis em estoque. Aqui, a palavra útil confere a particularidade de considerar somente as bolsas que não irão vencer segundo a função de desconto, descrita na seção 3.3.1. Em cada estado $i \in S$, o tomador de decisão pode escolher uma ação do conjunto de ações viáveis para cada estado, denotado por A_i . O conjunto de ações admissíveis é então definido como $A = A_s, s \in S$. O conjunto de ações A possíveis para cada estado tem dimensão $k+1$, denotadas por $a_0, a_1, a_2, \dots, a_k$, tal que, o índice representa exatamente o número de equipes de coleta externa a serem enviadas, que, portanto, varia de 0 até k equipes.

Para exemplificar, ilustramos na figura 13 o processo markoviano para $k = 2$,

que possui para cada estado três ações possíveis (a_0, a_1, a_2). O Processo de Decisão de Markov para um estoque truncado em um espaço S de n estados será representado pelo grafo da figura 10. Na figura, assumimos que a coloração azul corresponde à ação a_2 , a coloração rosa à ação a_1 , e a coloração verde à ação a_0 .

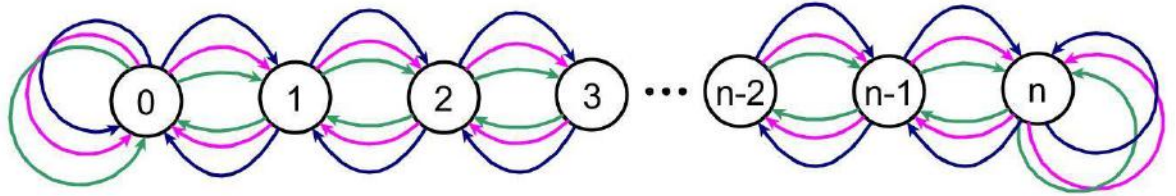


Figura 13 – Grafo do processo de decisão de markov associado ao problema onde $k = 2$.

Fonte: Elaborada pelo autor

As probabilidades associadas a cada uma das ações são calculadas a partir das taxas média de chegada e saída das bolsas de sangue no estoque, respectivamente representadas por λ'_n (já descontada) e μ e pela quantidade de bolsas acrescidas por coleta externa, denotadas por $k\Delta\lambda$. Assim, teremos:

$$p'_{ij} = \begin{cases} \frac{\lambda'_n + k\Delta\lambda}{\lambda'_n + k\Delta\lambda + \mu} & , se j = i + 1 \\ \frac{\mu}{\lambda'_n + k\Delta\lambda + \mu} & , se j = i - 1 \\ 0, & nos demais casos \end{cases} \quad (3.9)$$

Na equação acima, p'_{ij} representa a probabilidade de o sistema ir do estado i para o estado j , onde j é sucessor ou antecessor de i . A discussão dos custos (recompensas) relativos a esse processo de decisão de markov será realizada a seguir nas próximas seções.

3.4.1 Procedimento de resolução e algoritmo

Suponha que, a cada instante de tempo, o processo $\{X_k\}, k \geq 0$ visita o estado $i \in S$, tomando uma ação $a \in A_S$. Então, podemos definir uma política de controle estacionária $\pi: S \rightarrow A$ que prescreve uma única ação a ser aplicada em cada estado em S . Considere também que Π seja o conjunto de todas as políticas viáveis de controle estacionário. Para cada política $\pi \in \Pi$, existe um custo médio a longo prazo λ^π associado, dado por:

$$\eta^\pi = \lim_{N \rightarrow \infty} E_\pi \left(\frac{1}{N} \sum_{k=0}^N c(X_k, \pi(X_k)) \right) \quad (3.10)$$

Busca-se uma política ótima estacionária π^* que minimize o custo médio de longo prazo, isto é, uma política que satisfaça:

$$\eta^* = \eta^{\pi^*} \leq \eta^\pi, \forall \pi \in \Pi \quad (3.11)$$

Para resolver esse problema, recorre-se ao algoritmo de iteração de valor relativo, descrito também em (Puterman, 2014). Seja $V: S \rightarrow \mathbb{R}$ uma função real and V o espaço real das funções. O algoritmo de iteração de valor relativo começa com uma solução inicial arbitrária $V_0 \in V$ e atualiza iterativamente esta solução até a convergência. O procedimento é detalhado no algoritmo 1 abaixo. Atente que $\|x\|_s$ é a semi-norma de intervalo, definida como a diferença entre o valor máximo e o mínimo no vetor x . Como já supramencionado, o algoritmo 1 garante a convergência para o custo médio ideal a longo prazo η^* e sempre encontra a ótima política estacionária π^* que resolve (3.11).

Algorithm 1 (Iteração de valor relativo).

1. *Selecione $V_0 \in \mathcal{V}$, $i^* \in S$, seja $k = 0$ e uma tolerância arbitrária tol .*
2. *Para cada $i \in S$, faça*

$$TV_k(i) = \min_{a \in A_i} \left\{ c(s, a) + \sum_{j \in S} p_{ij}^a V_k(j) \right\}, \quad i \in S$$

3. *Para cada $i \in S$*

$$V_{k+1}(i) = TV_k(i) - TV_k(i^*)$$

4. *Se*

$$\|V_{k+1} - V_k\|_s < tol,$$

pare. Caso contrário, $k \leftarrow k + 1$, e retorne ao passo 2.

5. $V^* \leftarrow V_{k+1}$, $\eta^* \leftarrow TV^*(i^*)$

$$\pi^*(i) \leftarrow \arg \min_{a \in A_i} TV^*(i), \forall i \in S.$$

3.5 Discussão de custos

Seja qual for o modelo representativo do problema, a escolha da política ótima está associada à quantificação dos custos para esses modelos. Conforme foi discutido nas sessões anteriores, cada tipo de modelagem terá um cálculo de custo diferenciado – mais ou menos complexo. A ideia aqui não é exaustivamente analisar todas as possibilidades, mas estabelecer parâmetros básicos para a consolidação de uma função de custos o mais consistente possível.

A problemática de *como* os custos serão atribuídos ao modelo não é uma parte desassociada do mesmo e deve levar em consideração os pressupostos que aquele modelo carrega. Ao elaborar uma função de custos, devemos estar preocupados com cada um dos seus componentes, a saber: custo de falta, custo de descarte, custo de produção, custo de estoque e custos relativos à coleta externa. Ver figura 14.

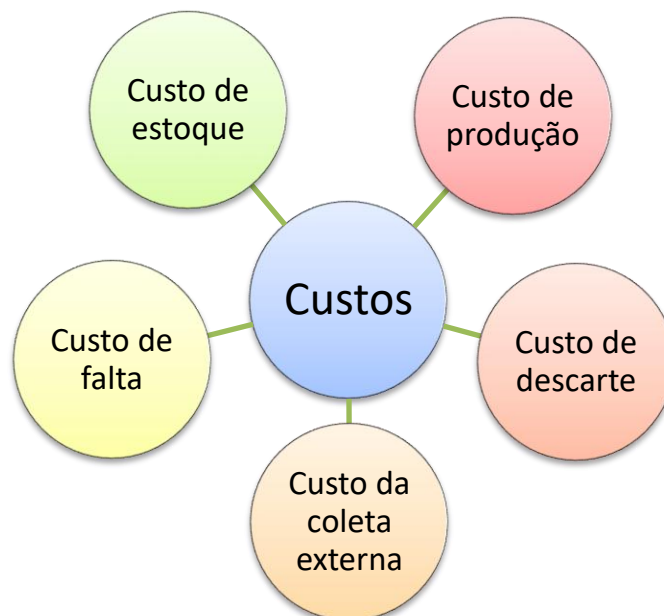


Figura 14 – Composição dos custos inerentes ao problema

Fonte: Elaborada pelo autor

Em relação aos custos nomeados anteriormente, seguem suas descrições detalhadas:

i) **Custo de estoque (armazenagem) (C_e)**: custo relativo à armazenagem das bolsas de sangue e, posteriormente, seus componentes em refrigeradores, regulamentada segundo a portaria nº 1353, de 13 de junho de 2011.

ii) **Custo de produção (C_p)**: custo relativo ao que concerne à produção de bolsas de sangue, desde seringas e lanches para o doador até a tecnologia aplicada à separação dos componentes sanguíneos, recursos humanos, dentre outros.

iii) **Custo de descarte (C_d)**: custo relativo àquelas bolsas que têm sua validade expirada antes da utilização.

iv) **Custo de falta (C_f)**: custo relativo à inoportunidade de falta de bolsas para o receptor. Esse custo eventualmente também está relacionado ao custo de terceirização de bolsas de sangue *e/ou* componentes.

v) **Custo da coleta externa (C_{ec})**: custo relativo ao envio de equipes de coleta externa a fim de complementar as doações, no que tange a alocação *extra* de recursos humanos, combustível e manutenção da infraestrutura.

Essa divisão dos custos em 5 componentes já é, na verdade, uma escolha de modelagem. Em verdade, a quantidade de custos diretos e indiretos ligados às coletas de sangue (interna e externa) é tão complexa, exaustiva e de difícil mensuração que uma análise 100% precisa torna-se inviável. Não obstante, a seção 4 deste trabalho realiza uma análise detalhada de como os custos do estudo de caso foram adaptados à função que será construída a seguir. É importante destacar que, ainda que estejam sendo considerados vários componentes, trata-se de uma simplificação da situação real, à medida que não se consideram valores com *marketing*, terceirização, parcerias público-privadas, etc.

Resumidamente, o custo total nada mais seria do que a soma de cada uma das suas parcelas. Entretanto, ao considerar o modelo de Processo de Decisão de Markov, será necessário fazer uma importante divisão inicial entre custos de estados e custos de transição.

Custos de estado se referem aos custos de se manter um determinado estoque. Portanto, o custo do estado zero, por exemplo, é o custo que o sistema tem de permanecer naquele estado. As componentes intrinsecamente ligadas à permanência são o custo de descarte, o custo de falta e o custo de estoque. Custos de transição se referem aos custos de se deslocar de um estado para outro. As componentes intrinsecamente ligadas à transição são os custos de produção, descarte e específicos da coleta externa.

Sendo que, a partir daqui, custos de descarte serão desconsiderados, pois o desconto da taxa de chegada a partir de um amortecimento erlang (seção 3.4) já mitiga os possíveis efeitos do descarte de sangue. De todo modo, vale ressaltar que, como veremos na próxima seção, o descarte de sangue é algo que praticamente se resume à esfera teórica, isto é, não acontece no dia-a-dia das instituições de saúde.

No que se refere à formulação de cada um desses custos, teremos as seguintes premissas: i) o custo de produção é uma constante que depende da alocação de custos diretos e indiretos de produção, ainda que eventualmente pudesse haver uma economia de escala na alocação dos recursos humanos, isso não está previsto pelo modelo; ii) Analogamente, o custo da coleta externa é uma função linear que depende somente do número de coletas a serem realizadas; iii) o custo de estoque é crescente em relação ao número de bolsas n , modelado por uma função linear por partes com 3 componentes, conforme modelo semelhante visto em Besanko e Braeutigam (2005); iv) o custo de falta é decrescente em relação ao número de bolsas n , modelado a partir de uma função exponencial negativa, simulando a concepção de que a probabilidade de falta cai *muito* conforme o número de bolsas aumenta.

Assim, teremos que os custos de transição serão dados pelas equações a seguir:

$$r_t(s, a_j) = \begin{cases} c_f e^{\frac{-s}{d_f}} + c_{i1\{\{i \leq s_1\}\}} + c_{i2\{s_1 < i \leq s_2\}} + c_{i3\{s_2 < i \leq s_3\}} + c_p + j c_{ec}, & \text{se } s' = s + 1 \\ c_f e^{\frac{-s}{d_f}} + c_{i1\{\{i \leq s_1\}\}} + c_{i2\{s_1 < i \leq s_2\}} + c_{i3\{s_2 < i \leq s_3\}}, & \text{se } s' = s - 1 \end{cases} \quad (3.10)$$

Onde correspondem: c_f à constante relativa ao custo de falta; d_f à constante relativa ao decaimento do custo de falta; c_{ej} às constantes relativas ao custo de estoque com $j = \{1,2,3\}$, nos quais os subconjunto dos estados definem o custo de estoque marginal do modelo; k ao número de equipes disponíveis para coleta externa; s ao nº do estado e a_j a ação tomada naquele estado no que diz respeito ao número de equipes j enviadas tal que $j \in [1, k]$, com $j \in \mathbb{N}$.

4 EXPERIMENTAÇÃO E ANÁLISE

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos com os experimentos computacionais realizados. Na primeira parte, faremos uma comparação do nosso modelo com uma aplicação existente da literatura para a validação do modelo. Em seguida, faremos uma abordagem crítica dos dados coletados do HEMORIO para finalmente aplicar nosso modelo e encontrar soluções para o estudo de caso.

4.1 Validação

O modelo desenvolvido nessa dissertação foi endereçado à resolução do problema do HEMORIO. Contudo, para conferir uma contribuição real à literatura, espera-se que ele seja utilizável em diversos contextos.

Nesse sentido, utilizamos um artigo conceituado na literatura para verificar se os resultados prévios da nossa metodologia estão de acordo com os encontrados originalmente. O trabalho escolhido para essa comparação foi o de Kopach *et al* (2008), devido à clareza de seus resultados e a similaridade com nosso caso de estudo.

O artigo de Kopach, Balcioglu e Carter procurou determinar uma política ótima de controle da oferta de bolsas de sangue a partir de um mecanismo de alternância entre duas taxas de demanda (discricionária e de emergência), baseando-se na teoria ISPC, em especial na contribuição de Graves mencionada na seção 2.4.1, isto é, através da validade do item mais velho em estoque. Os dados desse trabalho foram coletados de um centro hemoterápico regional do Canadá.

Ao final, o artigo faz comparações entre a política vigente e a política considerada ótima pelo seu modelo a partir de alguns aspectos, dentre os quais destacamos i) o valor esperado do número de bolsas de sangue em estoque, ii) o valor esperado de falta de bolsas de sangue e iii) o custo por dia da instituição considerando os principais fatores geradores de custo. Essas três variáveis foram as que comparamos entre a política ótima encontrada pelo artigo original e por nosso modelo.

Os parâmetros de entrada para gerar os resultados do artigo de Kopach *et al* foram devidamente ajustados e estão apresentados na tabela 2. Salienta-se que alguns vieram diretamente do mesmo como as taxas de oferta e demanda e o número de

discretizações; outros, como os relativos aos custos foram convenientemente adaptados à nossa metodologia.

Tabela 2 – Parâmetros para validação do modelo baseando-se nos dados de Kopach *et al* (2008).

λ	μ	$\Delta\lambda$	n	k	T	c_f	d_f	c_{i1}	c_{i2}	c_{i3}	c_p	c_{ec}
154,7	123,7	42,3	1000	1	42	400	800	0,05	0	0	4,0	103,2

Fonte: Elaborada pelo autor

A referência visa buscar um ponto no estoque para trocar entre as políticas discricionárias e de emergência (*switchover*). A decisão tomada para o sangue O^+ é mudar quando o item mais antigo chega a idade de 0,21 dias. Na prática, o artigo evidencia que em 27% de tempo, o sistema opera com a menor demanda (política discricionária). Nossa saída sugere mudar as políticas quando o número de bolsas de sangue está em 65, conforme vemos na figura 15. Ao dividir esse valor pela taxa de entrada máxima, isto é, $65/(154,7+42,3)$, teremos uma estimativa de 33% para o nosso modelo, o que mostra que ambos os resultados têm relativamente valores próximos. Em todo caso, é importante destacar que a metodologia proposta nessa dissertação é consideravelmente mais simples de ser implementada, já que pode ser difícil verificar a idade do item mais velho estocado.

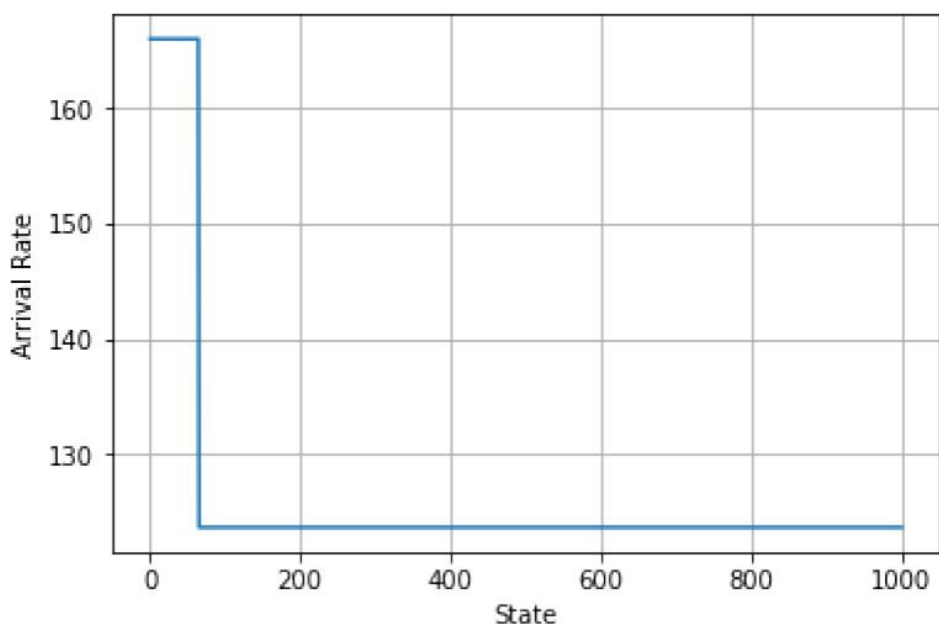


Figura 15 – Ponto de discretização sugerido para os dados fornecidos em Kopach *et al.* (2008)

Fonte: Elaborada pelo autor

Finalmente, a tabela 3 expressa uma comparação entre três parâmetros sugeridos pela referência: valor esperado de bolsas estocadas, valor esperado da falta de bolsas e custo diário do modelo.

Tabela 3 – Resultados de Kopach *et al* (2008) pelo modelo original *versus* nosso modelo

Parâmetros	Original	Nosso modelo
Valor esperado de bolsas em estoque	34,45	34,56
Valor esperado de bolsas em falta	0,013	0,018
Custo diário	\$23.835,00	\$24.422,00

Fonte: Elaborada pelo autor

Percebemos que a variação entre ambas as metodologias foi de uma ordem pequena: 0,32% e 2,55% para o valor esperado de bolsas e o custo diário, respectivamente. A variação um pouco maior, de 38% para o valor esperado de falta pode ser considerado como uma questão numérica, por se tratar de um número de magnitude muito pequena.

4.2 Análise estatística dos dados

Todos os dados colhidos do HEMORIO foram obtidos através da parceria do projeto de pesquisa com a instituição. A maioria das informações são públicas e estarão listadas a seguir. Contudo, a ausência de alguma informação – por ventura – fica respaldada na privacidade dos dados do instituto de saúde.

Os dados de quantitativo de coleta interna e externa foram fixados de 2009 a 2017, portanto 9 anos (ou 108 meses). Já aqueles relacionados aos custos e de autossuficiência ficam limitados ao cenário atual, pois são de extrema dificuldade de obtenção.

4.2.1 Dados de coleta

Em relação à coleta, no período de 2009 a 2017, o HEMORIO teve uma média de 7025,6 bolsas de sangue coletadas mensalmente (e desvio padrão de 728,4), sendo 6183,3 (88,0%) provenientes de coleta interna e 842,3 (12,0%) provenientes de coleta externa. A porcentagem da coleta externa de 12,0% tem desvio padrão de 4,7%. Percebe-se, assim, que tanto o quantitativo total de bolsas quanto a sua proveniência tem bastante variabilidade ao longo dos anos.

O que está claro inclusive para os trabalhadores que convivem no dia-a-dia de coleta é que a coleta externa vem aumentando significativamente a sua parcela de contribuição nas doações totais. E isso é, de fato, verdade. Em 2009, elas representavam apenas 7,4% das doações totais, e em 2017, chegaram ao seu valor máximo histórico de 22,7%. Os gráficos ilustrados nas figuras 16 e 17 ilustram tal tendência.

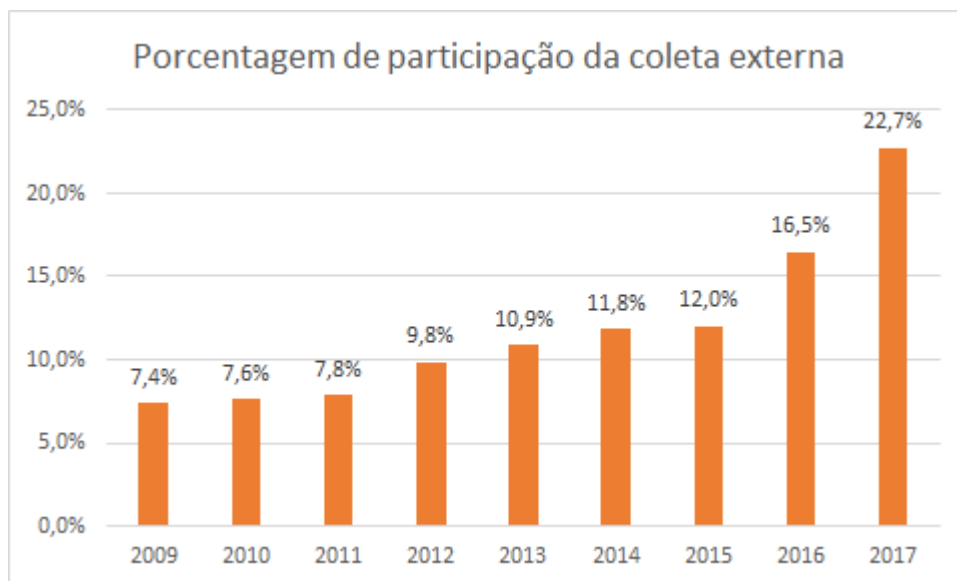


Figura 16- Porcentagem de participação da coleta externa

Fonte: Elaborada pelo autor

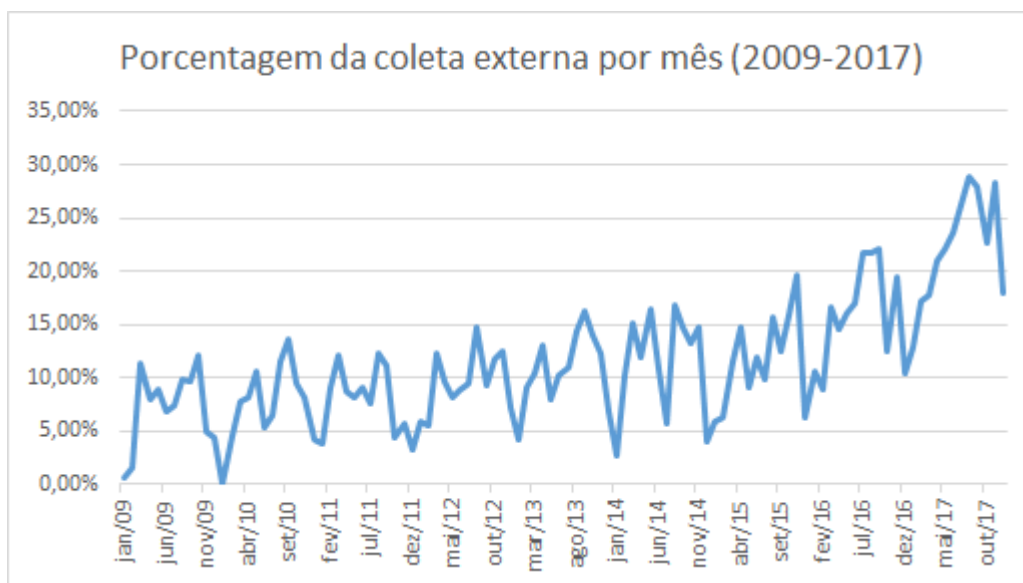


Figura 17 - Porcentagem da coleta externa por mês

Fonte: Elaborada pelo autor

Já a coleta interna segue pode ser considerada como instável. Embora tenha havido um período de 5 decréscimos consecutivos (2012-2016), em 2017 o número voltou a aumentar chegando ao valor de 6649,0 bolsas mensais.

Concluimos estatisticamente isso a partir da realização de um teste t pareado entre os quadriênios de 2010-2013 e 2014-2017, considerando a hipótese alternativa H_1 : há uma variação na média populacional, contra H_0 : não há uma variação na média populacional. Temos que o valor p do teste é de apenas 0,04%, de forma que, ao nível de significância de 5%, sem dúvidas, rejeitamos a hipótese nula. A figura 18 apresenta o conjunto das coletas interna e externa ao longo do período 2009-2017.

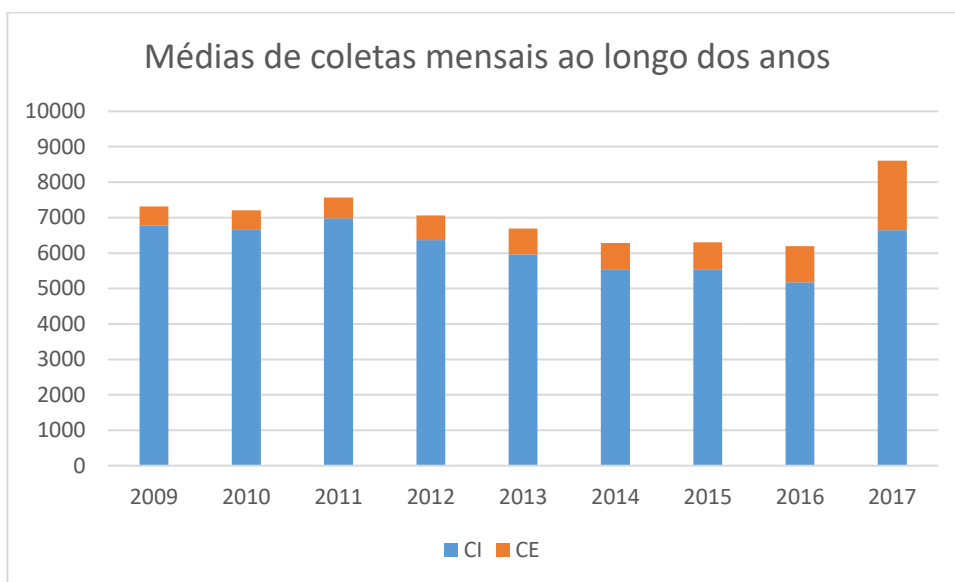


Figura 18 - Média de coletas mensais ao longo dos anos

Fonte: Elaborada pelo autor

Outro tipo de análise importante à instituição e ao modelo diz acerca do tipo de coleta externa a ser realizada: por ônibus ou por estrutura desmontável. Os dados de 2009 a 2017 mostram que o número de coletas por ônibus encontra-se estável, enquanto que aquele referente a coletas desmontáveis teve um crescimento estatístico, sobretudo considerando o ano de 2017.

De 2009 a 2017 foram realizadas 1512 coletas, sendo 1306 (86,4%) coletas desmontáveis e 206 (13,6%) coletas por ônibus. Cada coleta desmontável recolheu, em média, 61,30 bolsas, e cada coleta por ônibus, 46,43 bolsas. O número de coletas se manteve estável até o ano de 2015, quando a partir de então, teve dois crescimentos expressivos consecutivos, de 35,2% em 2016 e 92,3% em 2017. Ambos os crescimentos são provenientes das coletas desmontáveis, que só em 2017 cresceram 102,9%, mais do que dobrando sua participação. Os gráficos ilustrados pelas figuras 19 e 20 ilustram esses números.

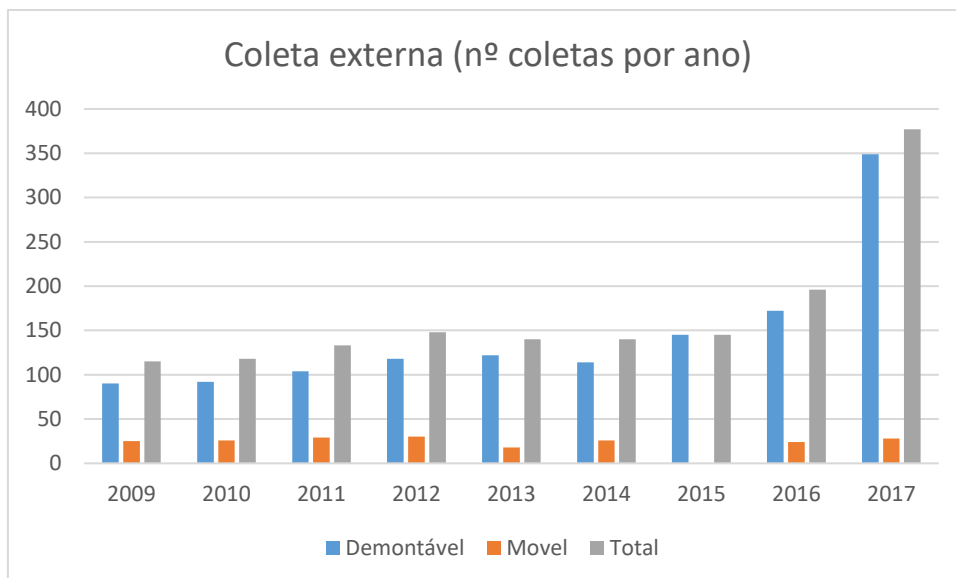


Figura 19 – Nº de coletas externas e seus tipos de 2009 a 2017

Fonte: Elaborada pelo autor

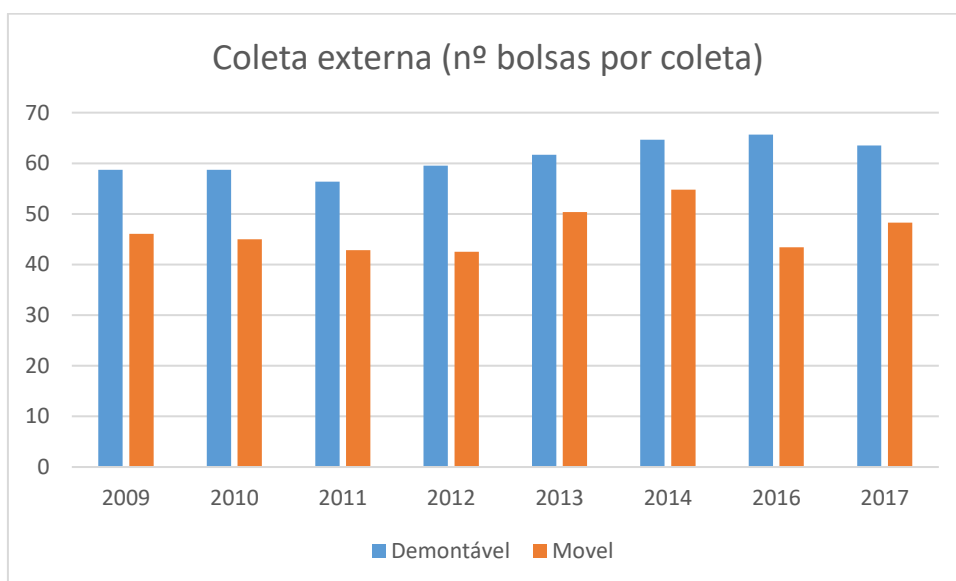


Figura 20 – Nº de bolsas por coleta externa de acordo com seu tipo de 2009 a 2017

Fonte: Elaborada pelo autor

4.2.2 Dados de custo

É bastante difícil fazer uma análise de custos precisa das coletas do HEMORIO, na medida em que há **diversos** custos diretos e indiretos envolvidos. Esse trabalho tenta agrupar os principais fatores geradores de custos, observando adicionalmente, como eventuais omissões podem futuramente aperfeiçoar esse e qualquer modelo referente à instituição.

Ao final dessa seção, dois objetivos serão cumpridos. O primeiro de realizar um diagnóstico robusto de como as coletas interna e externa influenciam diferentemente no orçamento da instituição; o segundo de servir de referência para a fixação dos parâmetros de entrada do modelo computacional desenvolvido na seção 3.

Os custos foram mensurados por meio da mescla de técnicas previstas pelo guia PMBOK 6ª edição (2016), sendo a estimação paramétrica aquela mais largamente utilizada devido à dificuldade de obtenção de dados precisos. Para algumas estimativas, contudo, foi possível determinar os valores dos custos de recursos com maior exatidão. Para a maior parte dos rateios de custo, elegimos o custeio ABC³ (Custeio Baseado em Atividades) para alocação dos mesmos, pois, segundo Jiambalvo (2009), este configura a melhor abordagem para decisão gerencial.

Para iniciar, começaremos com os custos diretos referentes à produção das bolsas. Tais dados podem ser consultados na tabela 4.

³ Do inglês *Activity Based Costing*, para mais informações, consultar a referência Jiambalvo (2009)

Tabela 4 - Custos gerais de produção comuns

CUSTOS GERAIS DIRETOS DE PRODUÇÃO (com materiais)			
Comuns as coleta interna e externa			
Material	Preço por unidade	Consumo mensal	Custo mensal do material
Lanche doador	R\$ 5,08	8.602	R\$ 43.698,16
Hidratação doador	R\$ 5,08	8.602	R\$ 43.698,16
Álcool 70%	R\$ 1,64	2.100	R\$ 3.444,00
Clorexidina digermante	R\$ 2,27	400	R\$ 908,00
Microcurveta	R\$ 4,37	8.000	R\$ 34.960,00
Lanceta	R\$ 0,20	10.300	R\$ 2.060,00
Curativo	R\$ 0,03	10.200	R\$ 306,00
Micropore	R\$ 2,85	210	R\$ 598,50
Bolsa dupla	R\$ 19,60	2.488	R\$ 48.764,80
Bolsa tripla	R\$ 26,20	4.692	R\$ 122.930,40
Luva procedimento P	R\$ 0,12	60.000	R\$ 7.200,00
Luva procedimento M	R\$ 0,12	130.000	R\$ 15.600,00
Luva procedimento G	R\$ 0,12	35.000	R\$ 4.200,00
Tubo EDTA 6 ml	R\$ 0,98	6.850	R\$ 6.713,00
Tubo EDTA 4 ml	R\$ 0,34	14.054	R\$ 4.778,36
Tubo de ensaio com gel separador	R\$ 1,08	17.650	R\$ 19.062,00
Tubo NAT	R\$ 0,83	10.200	R\$ 8.466,00
Etiqueta fila dupla	R\$ 33,00	50	R\$ 1.650,00
Lençol descartável com elástico	R\$ 0,87	30	R\$ 26,10
Descarpak 3L	R\$ 3,57	600	R\$ 2.142,00
Descarpak 20L	R\$ 7,09	200	R\$ 1.418,00
Orientação do doador	R\$ 0,13	8602	R\$ 1.118,26
Comprovante de doação c/ vale	R\$ 0,13	6.000	R\$ 780,00
Comprovante de comparecimento	R\$ 0,11	6.000	R\$ 660,00
Cartucho de impressora	R\$ 69,00	8	R\$ 552,00
TOTAL	-	-	R\$ 375.733,74

Fonte: Elaborada pelo autor

Nesse ponto, coleta interna e externa estão muito próximas, à medida que usam praticamente os mesmos materiais. Faremos o rateio do custo fornecido acima em função da quantidade de bolsas oriundas por tipo de coleta de 2017, isto é, 77,3% (coleta interna) *versus* 22,7% (coleta externa). Isso gerará, em princípio, um custo direto por materiais de R\$290.442,18 para a coleta interna e R\$85.291,56 para a coleta

externa. Além disso, adicionaremos itens exclusivos da coleta externa, que serão o custo com combustível que fica estimado em R\$2.400,00 mensalmente e o custo com materiais específicos de pré coleta externa, como custos relativos a visitas, palestras, *folders*, etc., estimados em R\$1600,00 mensalmente. Assim, o custo de materiais da coleta externa fica estimado em R\$89.291,56.

Os custos diretos de produção com mão de obra foram adaptados de Ferreira *et al* (2005). Mensalmente, estão em R\$125.378,32 para a coleta interna e R\$45.820,42 para a coleta externa. Ressalta-se aqui, novamente, uma dificuldade genuína de levantamento e alocação dos mesmos, visto que, além de os profissionais se revezarem, existem diferentes formas de contrato de trabalho na instituição, como trabalhadores concursados, cedidos e terceirizados. Outro ponto relevante é que, procurou-se, nesse levantamento, restringir a análise de custos ao âmbito operacional, desconsiderando os planos tático e estratégico, causando um sobavaliação proposital dos mesmos.

Sobreleva-se também que a coleta externa possui custos de mão de obra direto específicos no que diz respeito à locomoção de funcionários e materiais, a saber: 2 motoristas, um para o veículo que carrega materiais e outro para o veículo que carrega os profissionais de saúde e uma equipe terceirizada de montagem e desmontagem dos equipamentos.

Em relação aos custos indiretos de produção, a dificuldade de mensuração é ainda maior, de forma que é quase leviano estimar individualmente cada um. Só esta parte do trabalho já seria uma única dissertação de contabilidade. Entretanto, usaremos os principais resultados do trabalho de Ferreira *et al* (2005) como ponto de partida para uma estimativa atual factível.

Nesse sentido, as tabelas 5 e 6 a seguir indica as principais aferições propostas:

Tabela 5 - Custos gerais indiretos de produção (interna)

CUSTOS GERAIS INDIRETOS DE PRODUÇÃO (com materiais)			
Coleta interna			
Material	Gasto mensal	% de rateio	Custo Mensal
Iluminação	R\$ 143.620,00	1028,5/12800 m ²	R\$ 11.540,09
Limpeza	R\$ 110.236,00	1028,5/12800 m ²	R\$ 8.857,63
Telefonia	R\$ 8.222,00	5/145 ramais	R\$ 283,52
Manutenção	R\$24.208,00	10%	R\$ 2.421,00
TOTAL	R\$286.286,00	-	R\$23.102,24

Fonte: Elaborada pelo autor, baseado em Ferreira et al (2005)

Tabela 6 - Custos gerais indiretos de produção (externa)

CUSTOS GERAIS INDIRETOS DE PRODUÇÃO (com materiais)			
Coleta externa			
Material	Gasto mensal	% de rateio	Custo Mensal
Iluminação	R\$ 143.620,00	13,5/12800 m ²	R\$ 151,47
Limpeza	R\$ 110.236,00	13,5/12800 m ²	R\$ 116,26
Telefonia	R\$ 8.222,00	1/145 ramais	R\$ 56,70
Manutenção	R\$ 24.208,00	20%	R\$ 4.842,00
TOTAL	R\$286.286,00	-	R\$5.166,43

Fonte: Elaborada pelo autor

Os custos gerais indiretos de produção aparecem com configurações distintas. Enquanto a coleta interna demanda mais infraestrutura da instituição (iluminação, limpeza, telefonia), a coleta externa demanda mais manutenções. Esta última informação pode ser explicada à medida que os aparelhos de coleta externa (macas, balanças, *notebooks*, etc.) têm que ser *diariamente* transportados, e, portanto, estão sujeitos a bastante mais avarias.

Consolidando todos os custos coletados *in loco*, podemos estabelecer um diagnóstico de algumas situações inerentes ao HEMORIO no que diz respeito às coletas interna e externa, como indica a tabela 7.

Tabela 7 - Quadro comparativo coletas

QUADRO COMPARATIVO DE CUSTOS DAS COLETAS INTERNA E EXTERNA			
Tipo de custo	Coleta interna	Coleta externa	TOTAL
Custos diretos de produção com materiais	R\$ 290.442,18	R\$ 89.291,56	R\$ 379.733,74
Custos diretos de produção com recursos humanos	R\$ 125.378,32	R\$ 45.820,42	R\$ 271.198,74
Custos indiretos de produção	R\$ 23.102,24	R\$ 5.166,43	R\$28.268,67
TOTAL	R\$438.922,74	R\$140.278,41	R\$ 679.201,15

Fonte: Elaborada pelo autor

Utilizando a metodologia de custeio por absorção, assim como em Ferreira *et al* (2005), e dividindo a média de bolsas coletadas pelo custo e utilizando como base o ano de 2017, estimamos **o custo de cada bolsa por coleta interna em R\$ 66,01, enquanto que, para a coleta externa, em R\$ 71,85**. Isso mostra que, atualmente, o custo por bolsa das coletas interna e externa estão próximos, evidenciando uma falta de economia de escala esperada da coleta interna.

Outro diagnóstico importante é o que compara os custos da coleta externa por ônibus e estrutura desmontável. Nesse sentido, temos que o número de bolsas coletadas no segundo caso, por coleta, é cerca de 32% maior e o custo consideravelmente menor devido por exemplo à manutenção mais cara do veículo de grande porte. Ademais, ainda lembramos a limitação sazonal do mesmo (de abril a outubro) e as demandas ergonômicas dos trabalhadores no que se refere ao trabalho dentro do coletivo. Ou seja, a solução por coleta-externa desmontável é completamente dominante em relação a de ônibus itinerantes, independente dos pesos para análise.

4.2.3 Dados de autossuficiência

Como foi mencionado na seção 1, existem diversos tipos de metodologia para atestar a autossuficiência em sangue de uma região, destacando-se i) através de uma porcentagem da população doadora anualmente, geralmente em torno de 3% e ii) pelo nº de leitos dependendo da complexidade particular da região, mas geralmente pelo menos de 7 bolsas por leito por ano. Nessa subseção, abordaremos a situação do HEMORIO com base nos dados relativos ao ano de 2017.

Considerando o método da população, temos que para o estado do Rio de Janeiro cuja população é de 16.718.956 pessoas, temos que se 3% fosse doador anual e considerando uma doação média ao ano, teríamos ao menos 501.568 bolsas para garantir autossuficiência. Ocorre que o HEMORIO não é o único provedor de sangue do Estado – embora seja, de longe, o principal. Segundo dados da HEMOREDE, tal incumbência está atualmente em cerca de 60,7%, o que demandaria do HEMORIO aproximadamente 304.451,8 bolsas. (Hemorio, 2017)

Repare que esse valor é praticamente **3 vezes maior** do que o número total de bolsas coletadas pela organização no ano de 2017 de 103.235. De fato, para este valor a

porcentagem da população correspondente doadora encontra-se por volta de 1,02%, medida próxima do limite *mínimo* aceitável segundo a OMS.

Considerando o método do número de leitos, temos que o estado do Rio de Janeiro concentra cerca de 13,7% dos leitos do Brasil, o que gera a estatística de 67529,4 leitos, e, por conseguinte, 472.705 bolsas, considerando 7 bolsas por leito por ano. Ao HEMORIO, caberiam então 286.932,2 bolsas. Reparemos que este método só ratifica a falta acentuada de sangue, tendo em vista que exigiria cerca de (pelo menos) 1,72% de fluminenses doadores. (DataSus, 2017)

4.3 Resultados numéricos

A aplicação numérica realizada foi feita em função da modelagem de processos de decisão de markov, com taxa de chegada variável por uma taxa de desconto relativa à perecibilidade e otimizável por meio de uma política de envio de coletas externas. Tal aplicação foi programada na linguagem *Python – versão 3.5* e executada na plataforma *Windows* de um computador *i3-3110M CPU @ 2.40 GHz*.

Para encontrar a política ótima, foi utilizado o algoritmo de iteração de valor relativo tendo em vista sua simplicidade no tratamento e convergência garantida para o caso de haver uma política estacionária que por sua vez satisfaz a equação de Bellman. Para mais informações especificamente sobre esse tema, consulte Puterman (2014). As seguintes entradas foram estabelecidas:

Tabela 8 - Parâmetros do HEMORIO

λ	μ	$\Delta\lambda^*$	n	k	T	c_f	d_f	c_{i1}	c_{i2}	c_{i3}	c_p	c_{ec}
206,1	282,0	35,0	10000	3	42,0	400	800	0,03	0,04	0,03	5,0	132,0

Fonte: Elaborada pelo autor

As entradas da tabela 8, em especial de λ , μ e $\Delta\lambda$, são derivadas da análise dos dados da sessão 4.2.2 e de resultados obtidos em Crelier e Heringer (2016). O valor de $k = 3$ sugere a provocação da entrada de uma terceira equipe de coleta externa, ainda que, originalmente, $\lambda + 2\Delta\lambda$ já fosse maior do que a taxa referente à demanda, para ambientalizar um projeto cogitado pela auto-gestão, cuja viabilidade será discutida posteriormente. Para isso, fazemos $\Delta\lambda^* = 35,0$.

Nossa primeira análise é em relação à curva de custo gerada pelos dados acima e então ilustrada pela figura 21. Como esperado, os custos começaram altos devido ao componente do custo de falta (curva vermelha) e foram gradativamente caindo devido a esse componente. Entretanto, a partir de certo ponto, os custos começam a crescer novamente devido ao componente de custo de estoque (curva verde). Ressalta-se que tal curva não é exatamente linear devido às economias de escala. Custos mínimos na ordem de 2000 bolsas de sangue são esperados na medida em que garantem à instituição 7 dias de autossuficiência em sangue.

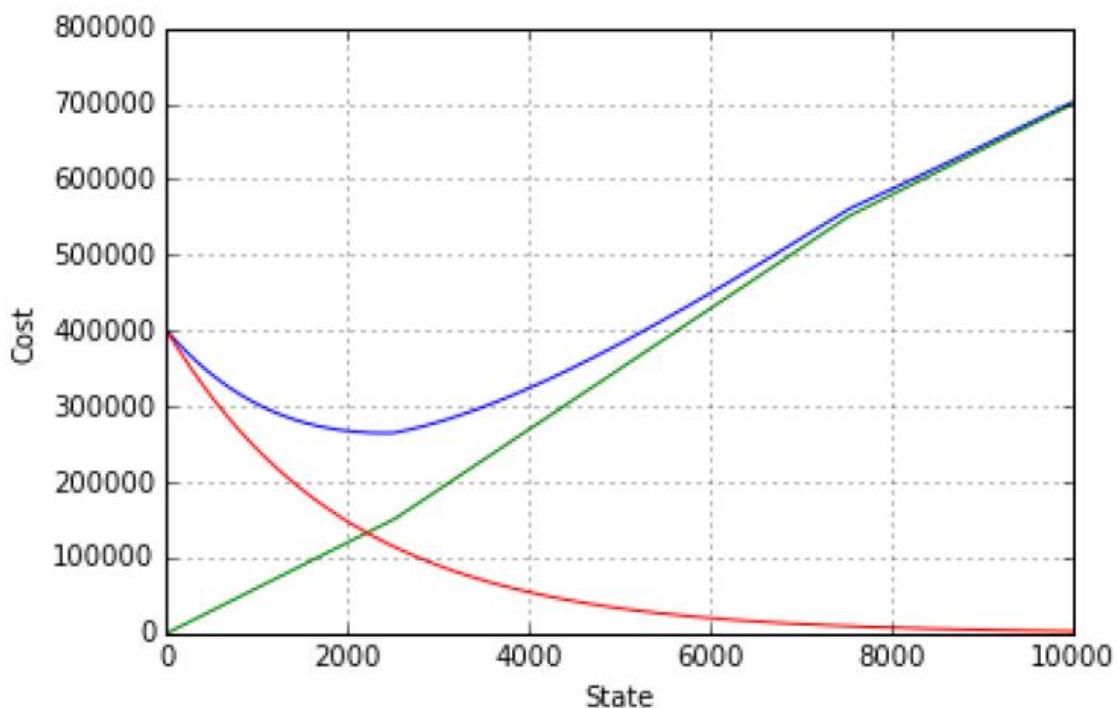


Figura 21 - Evolução dos custos ao longo dos estados

Fonte: Elaborada pelo autor

Em segundo lugar, como $k = 3$, permitimos 4 ações para cada estado e isso implica que há três degraus na função da taxa de chegada λ , como pode ser observado nas figuras 22 e 23. A política ótima ilustrada em tais imagens sugere enviar três equipes até o estado 2141, duas equipes de 2142 a 2170, uma equipe de 2171 a 2220, e nenhuma equipe a partir daí.

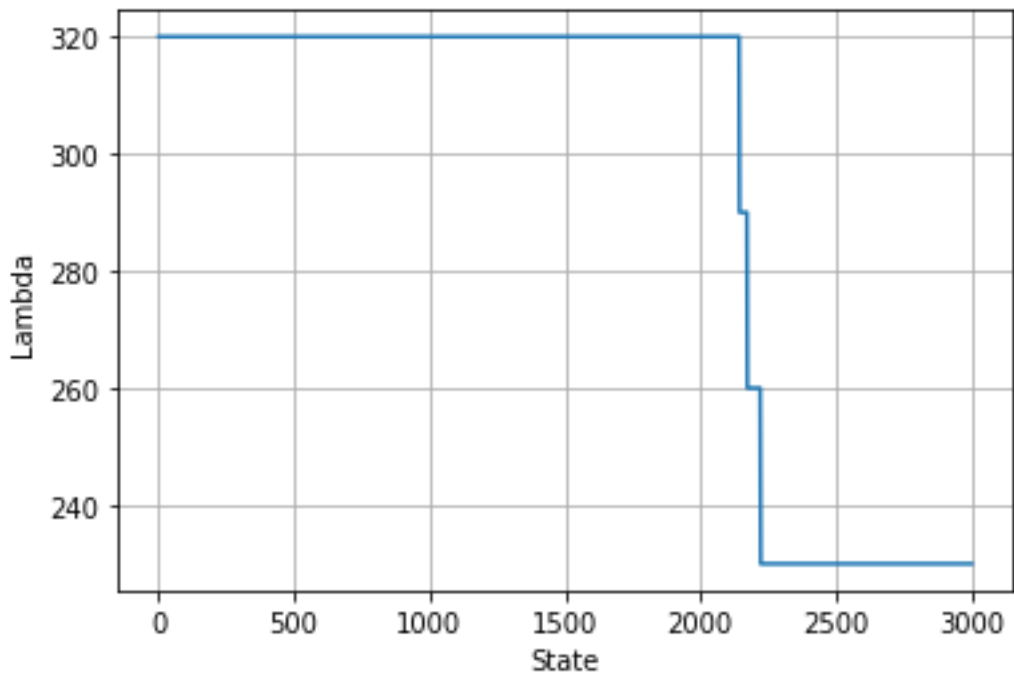


Figura 22 - Evolução de lambda ao longo do estados (A)

Fonte: Elaborada pelo autor

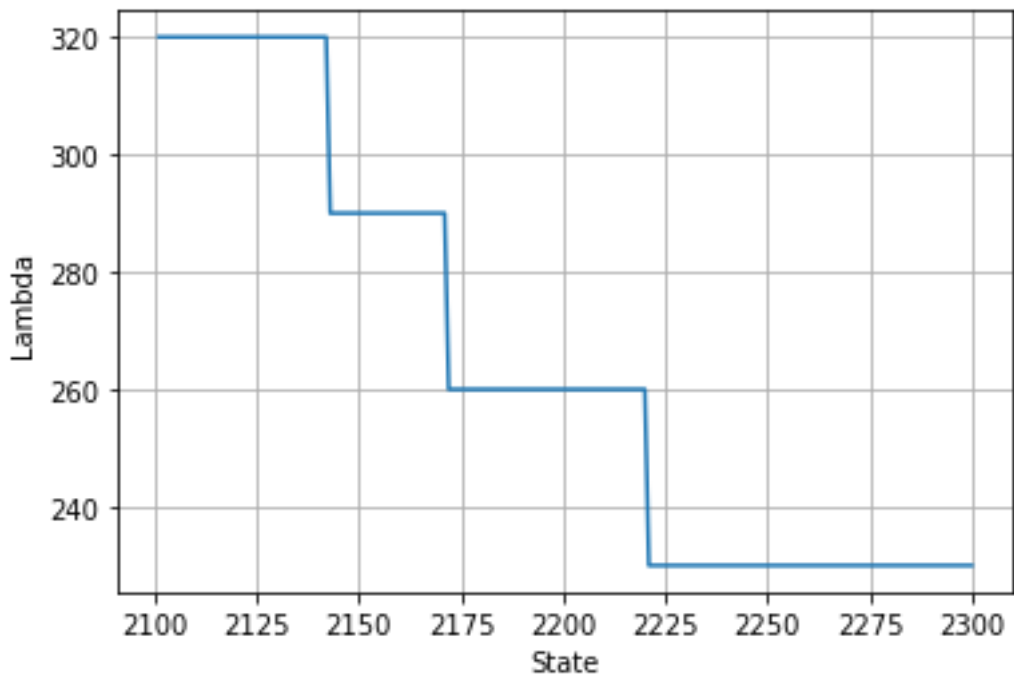


Figura 23 - Evolução de lambda ao longo do estados (B)

Fonte: Elaborada pelo autor

Observamos que a política ótima é de fato enviar o máximo de equipes de coleta externa do estado 0 até determinado patamar, para então gradativamente diminuir o quantitativo enviado. Essa política era esperada pelo comportamento da curva de custos da figura 21. Como o custo nos estados iniciais é relativamente alto, o algoritmo procura

“fugir” desses estados, escolhendo a ação de enviar o máximo de equipes possível, escolha que aumenta a probabilidade dessa fuga.

Para estados que representam estoques de muitas bolsas de sangue, o custo de falta passa a se tornar irrelevante, o que faz com que não haja mais necessidade do envio de 3 equipes, passando então para 2, 1 e 0 equipes gradativamente. O custo de estoque ser monotonamente crescente a partir do ponto de mínimo é que permite que essa mudança de ação se estabeleça.

Em relação à função de probabilidade acumulada ao longo dos estados de 0 a n , percebemos que as probabilidades tendem a 1 muito rapidamente a partir da mudança de ação aproximadamente a partir do estado 2000. Como podemos ver nas figuras 24 e 25, estados longe dos pontos de mudança de política têm probabilidade quase nula. Esse comportamento está relacionado à relação entre os custos da coleta externa e interna, de modo que outros dados podem gerar funções de conduta completamente distintos.

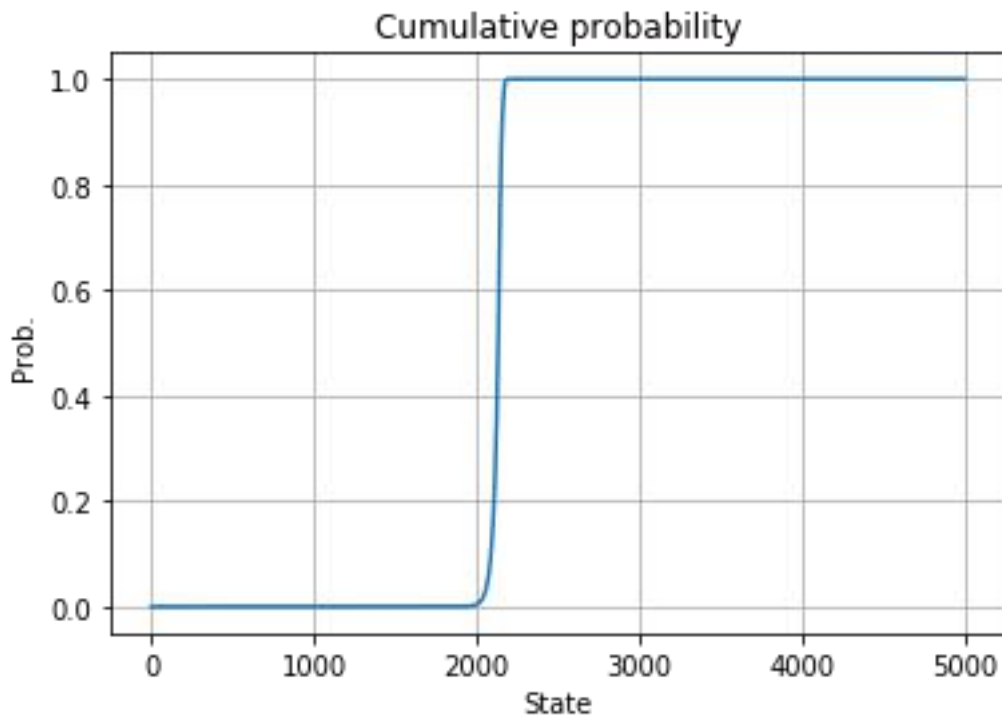


Figura 24 - Probabilidade acumulada (A)

Fonte: Elaborada pelo autor

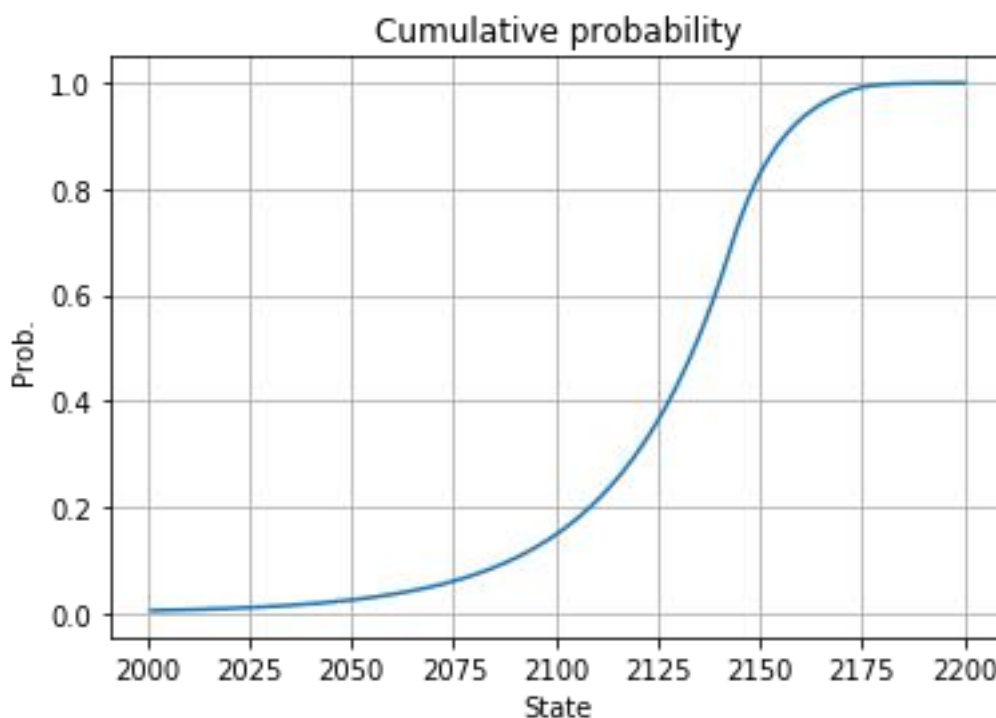


Figura 25 - Probabilidade acumulada (B)

Fonte: Elaborada pelo autor

O modelo foi adaptado (em relação a $\Delta\lambda$) para demonstrar que funciona e converge para valores de k maiores do que 2, conforme discutido na seção 2.6. Todavia, é importante destacar que a manutenção de duas equipes 6 vezes por semana já garantiria, sem dúvidas, sobras no estoque de sangue e a diminuição no custo de falta. Dessa maneira, em princípio, fica claro que a introdução de mais uma equipe ($k=3$) é desnecessária.

Vejamos que em 2017, por exemplo, ano em que a coleta externa teve resultados mais expressivos, foram realizadas *apenas* 377 coletas, ou seja, uma média de 1,03 coletas por dia. Esse número pode assustar o leitor, mas essa média é decrescida em grande parte pela ausência de coletas externas em domingos e feriados prolongados. Considerando somente os números médios de coleta e mantendo a coleta interna estável, temos que esse índice deve ser de **pelo menos 1,28** (para $\Delta\lambda = 59,2$). Dessa maneira, parece bastante mais razoável aumentar o número de coletas externas das duas equipes já existentes do que incorrer em custos de investimento num quadro humano adicional.

Naturalmente, esse tipo de política baseada no status atual das ações pode ter que ser adaptada pelo instituto de saúde, pela dificuldade de gerenciamento. Em verdade, o contato estreito com a instituição mostrou que pode ser difícil adotar o estoque como um norteador de dinamismo efetivo do envio de equipes de coleta externa.

Grande parte da problemática advém do agendamento do HEMORIO com as organizações parceiras, que por motivos diversos e compreensíveis, é realizado com antecedência de alguns meses. Por exemplo, toda a agenda de sábados até o final de 2018 já está comprometida. Dessa maneira, é necessário um esforço um pouco mais complexo para que os resultados acadêmicos aqui expostos sejam aplicáveis à situação real.

De toda maneira, o diagnóstico claro é a de que as coletas externas têm papel crescente e determinante na manutenção do estoque de sangue da instituição, sobretudo aquelas oriundas de coleta desmontável.

4.4 Análises de sensibilidade

Duas importantes análises serão feitas a fim de propor soluções alternativas para o HEMORIO. Primeiramente, qual seria o efeito se os parâmetros de entrada da curva de custos fossem ajustados para garantir 3 (em vez de 7) dias de autossuficiência. Em sequência, quais as consequências de diferentes combinações nos tipos de coleta externa.

Para sinalizar ao modelo que 3 dias de demanda ($3 \times 320 = 960$) é um cenário favorável, os parâmetros de falta devem penalizar a função menos fortemente. Assim, a solução ótima tenderá a se aproximar do estado 0, já que os custos de armazenagem e produção terão um peso relativo maior. Propondo empiricamente as mudanças na constante de decaimento de 2000 a $2000 \times 3/7$, chegaremos a uma nova curva de custo, conforme mostrado na figura 26.

O custo ótimo de R\$ 82.885,78 (reais) ocorre para um estoque alvo de 884 bolsas. É de certa forma surpreendente, porque o custo reduz cerca de 67%; no entanto isso vem de uma mudança de gestão estrutural da organização que poderia ter consequências a longo prazo. De fato, é notável que o modelo seja bastante sensível a variações nos parâmetros de custo de falta.

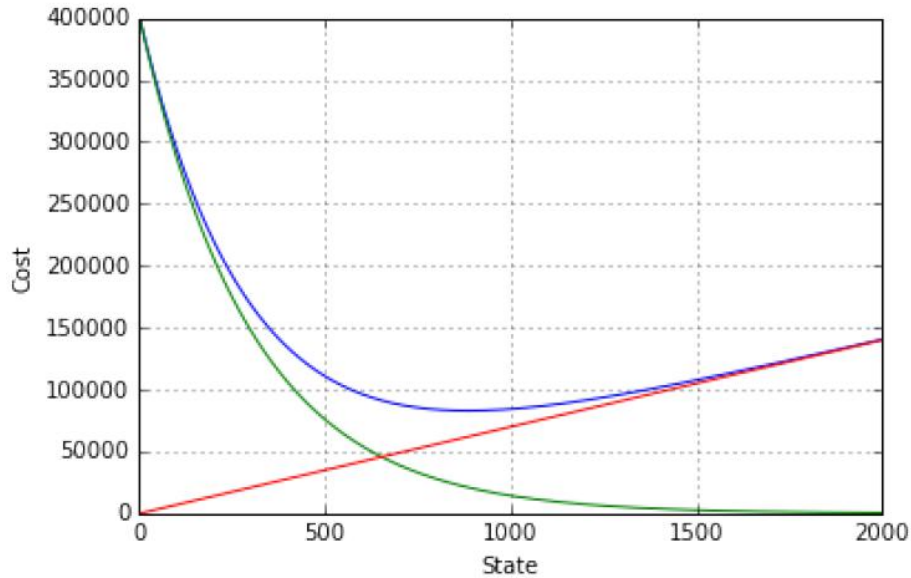


Figura 26 – Custos para autossuficiência de 3 dias.

Fonte: Elaborada pelo autor

Considerando a complementação do sangue apenas pelo componente de estrutura desmontável, o aumento via equipe externa passa de 59,3 para 61,3 (média de bolsas por coleta), conforme apresentado na seção 4.1. A curto prazo, o efeito não é tão significativo, embora reduza os custos da instituição em 3,26%. Por outro lado, se o HEMORIO usar, hipoteticamente, dois ônibus para fazer as coletas, com uma média de 46,4 (bolsas por coleta), os custos da instituição aumentariam em 27,80%. Se usar ambos os tipos na mesma proporção, com média de 53,8 (bolsas por coleta), os custos também aumentariam, mas na ordem de 10,22%.

Porém, é importante ressaltar que há ganhos do ponto de vista gerencial, como a redução da complexidade do negócio. No entanto, pode haver um efeito negativo sobre a demanda de clientes em potencial que têm preferência por ônibus ou restrições em relação a coletas desmontáveis. Portanto, a decisão sobre o tipo de módulo a ser executado é uma decisão estratégica complexa a ser tomada pela alta administração da organização.

5 CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O trabalho que se seguiu foi endereçado com dois objetivos claros: desenvolver um modelo de Processo de Decisão de Markov eficiente para lidar com uma fila MM1 com uma taxa de chegada variável e analisar uma política ótima para o envio de coletas externas de sangue por uma renomada instituição de saúde, o HEMORIO.

O modelo desenvolvido se mostrou eficaz e dá à literatura uma forma alternativa de tratar o problema de itens perecíveis cujo estoque pode ser controlado pela gerência a partir de algum grau de liberdade. A formulação a partir de Processo de Decisão de Markov foi eficiente e se mostrou equivalente àquelas já consagradas no tema, oriundas, principalmente, da teoria ISPC. Entretanto, ressalta-se que ela contém algumas generalizações que podem ser objeto de estudos futuros, como a premissa de chegadas e partidas poissonianas e indiscriminação dentre tipos sanguíneos.

No que diz respeito ao estudo de caso, citamos a dificuldade de obtenção de dados como um entrave substancial. A complexidade organizacional e a informação resguardada em silos funcionais são uma fraqueza da instituição de saúde estudada e comprometeram, em parte, a verossimilhança de alguns dados. Ainda assim, grande parte do problema foi resolvido a partir da obtenção *in loco* de informações.

Por um lado, esperamos que o modelo proposto contribua à comunidade científica e possa ser aprimorado e/ou utilizado em contextos similares. Por outro lado, torcemos para que o HEMORIO possa utilizar os resultados obtidos nesse estudo para o aperfeiçoamento da coleta externa no que tange seus métodos e políticas.

Colocamo-nos à disposição para quaisquer dúvidas e críticas construtivas ao trabalho e agradecemos imensamente a atenção e a disponibilidade cedidas na leitura do texto. Esse trabalho não seria possível sem a ajuda financeira dos seguintes órgãos: Fundação Carlos Chagas Filho para Apoio à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro, FAPERJ, sob a concessão N ° E-26 / 202.789 / 2015 e Conselho Nacional de Pesquisa do Brasil- CNPq, sob subsídios 303543 / 2015-9.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEDI, R.K., MITTAL, K., SOOD, T., KAUR, P., KAUR, G., 2016. Segregation of blood inventory: A key driver for optimum blood stock management in a resource-poor setting. *International Journal of Applied and Basic Medical Research* 6, 119.

BESANKO, D., BRAEUTIGAM, R.R., 2005. *Microeconomics*. hoboken.

BOSE, S., GOSWAMI, A., CHAUDHURI, K., 1995. An eq model for deteriorating items with linear timedependent demand rate and shortages under ination and time discounting. *Journal of the Operational Research Society* 46, 771-782.

CHAN, C.W., YOM-TOV, G., ESCOBAR, G., 2011. When to use speedup: An examination of intensive care units with readmissions. *Operations Research* to appear.

CHAO, G.H., 2013. Production and availability policies through the markov decision process and myopic methods for contractual and selective orders. *European Journal of Operational Research* 225, 383-392.

CLAY, N.M., ABBASI, B., EBERHARD, A., HEARNE, J., 2018. On the volatility of blood inventories. *International Transactions in Operational Research* 25, 215-242.

CRABILL, T.B., 1974. Optimal control of a maintenance system with variable service rates. *Operations Research* 22, 736-745.

CRELIER, F. F., HERINGER, L., 2016. Modelagem e gestão dos estoques de sangue do HEMORIO. Projeto de graduação. Universidade Federal do Rio de Janeiro).

DILLON, M., OLIVEIRA, F., ABBASI, B., 2017. A two-stage stochastic programming model for inventory management in the blood supply chain. *International Journal of Production Economics* 187, 27-41.

FERREIRA, N. A. F.; GENOFRE, E. de F. W., 2005. Coleta móvel: um dos pilares para o aumento da captação de doadores de um hemocentro estadual. Monografia em Gestão Hospitalar. FIOCRUZ

GEORGE, J.M., HARRISON, J.M., 2001. Dynamic control of a queue with adjustable service rate. *Operations research* 49, 720-731.

GODIN, G., CONNER, M., SHEERAN, P., B_ELANGER-GRAVEL, A., GERMAIN, M., 2007. Determinants of repeated blood donation among new and experienced blood donors. *Transfusion* 47, 1607 1615.

GRAVES, S.C., 1982. The application of queueing theory to continuous perishable inventory systems. *Management Science* 28, 400-406.

GUNPINAR, S., CENTENO, G., 2015. Stochastic integer programming models for reducing wastages and shortages of blood products at hospitals. *Computers & Operations Research* 54, 129-141.

- HEMMELMAYR, V., DOERNER, K.F., HARTL, R.F., SAVELSBERGH, M.W., 2009. Delivery strategies for blood products supplies. *OR spectrum* 31, 707-725.
- HEMORIO. <http://www.hemorio.rj.gov.br/>, acessado em 12/08/2017.
- HILLIER, F. S., & LIEBERMAN, G. J., 2013. *Introdução à pesquisa operacional*. 9ª ed. McGraw Hill Brasil.
- JIAMBALVO, J. *Contabilidade Gerencial/James Jiambalvo – 3ª ed.* Rio de Janeiro.
- JO, K.Y., STIDHAM, S., 1983. Optimal service-rate control of m/g/1 queueing systems using phase methods. *Advances in Applied Probability* 15, 616-637.
- KATSALIAKI, K., BRAILSFORD, S., 2016. Using simulation to improve the blood supply chain, in: *Operational Research for Emergency Planning in Healthcare: Volume 1*. Springer, pp. 353-372.
- KOPACH, R., BALC_O_GLU, B., CARTER, M., 2008. Tutorial on constructing a red blood cell inventory management system with two demand rates. *European Journal of Operational Research* 185, 1051-1059. January 22, 2018.
- LITTLE, J. D. C., 1961 A Proof of the Queuing Formula: $L = \lambda W$, *Operations Research*, 9, (3) 383-387.
- LOW, D.W., 1974. Optimal dynamic pricing policies for an m/m/s queue. *Operations Research* 22, 545-561.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2017. Indicadores e Dados Básicos – IDB/SUS. <http://www.datasus.gov.br>, acessado em 28/12/2017.
- MURPHY, W., MCSWEENEY, E., 2009. Donors and blood collection. *Practical Transfusion Medicine*, Third Edition, 190-199.
- NAHMIA, S., PERRY, D., STADJE, W., 2004. Perishable inventory systems with variable input and demand rates. *Mathematical Methods of Operations Research* 60, 155-162.
- PASCHALIDIS, I.C., TSITSIKLIS, J.N., 2000. Congestion-dependent pricing of network services. *IEEE/ACM Transactions on Networking (TON)* 8, 171-184.
- PERRY, D., POSNER, M., 1990. Control of input and demand rates in inventory systems of perishable commodities. *Naval Research Logistics (NRL)* 37, 85-97.
- PMI. 2016 *A Guide to the Project Management Body of Knowledge: PMBOK (®) Guide*. 6ª ed. Project Management Institute.
- PRASTACOS, G.P., 1984. Blood inventory management: an overview of theory and practice. *Management Science* 30, 777-800.
- PUTERMAN, M.L., 2014. *Markov decision processes: discrete stochastic dynamic programming*. John Wiley & Sons.

- RAVICHANDRAN, N., 1995. Stochastic analysis of a continuous review perishable inventory system with positive lead time and poisson demand. *European Journal of Operational Research* 84, 444-457.
- REESINK, H., ENGELFRIET, C., HYLAND, C., COGHLAN, P., TAIT, B., WSOLAK, M., KELLER, A., HENN, G., MAYR, W., THOMAS, I., *ET AL.*, 2008. Biobanks of blood from donors and recipients of blood products. *Vox sanguinis* 94, 242-260.
- ROCK, G., _AKERBLOM, O., BERS_EUS, O., HERVE, P., JACOBS, P., KELLY, T., MACPHERSON, J., NYDEGGER, U., SEGATCHIAN, G., URBANIAK, S., *et al.*, 2000. The supply of blood products in 10 di_erent systems or countries. *Transfusion science* 22, 171-182.
- RYTILA, J.S., SPENS, K.M., 2006. Using simulation to increase e_iciency in blood supply chains. *Management Research News* 29, 801-819.
- SANTOS, F.H., DOS SANTOS, L.L., TORRES, A.A.G. AND PINTO, C.L.B., 2014, April. A Trajetória institucional para gestão por excelência: o caso do HEMORIO. In 11° Congresso Internacional da Rede Unida.
- SCHREIBER, G.B., SHARMA, U., WRIGHT, D., GLYNN, S., OWNBY, H., TU, Y., GARRATTY, G., PILIAVIN, J., ZUCK, T., GILCHER, R., 2005. First year donation patterns predict long-term commitment for _rst-time donors. *Vox sanguinis* 88, 114-121.
- SHIRYAYEV, A., 1984. Elementary probability theory, in: *Probability*. Springer, pp. 5-128.
- STANGER, S.H., WILDING, R., YATES, N., COTTON, S., 2012A. What drives perishable inventory management performance? lessons learnt from the uk blood supply chain. *Supply Chain Management: An International Journal* 17, 107-123.
- STANGER, S.H., YATES, N., WILDING, R., COTTON, S., 2012B. Blood inventory management: hospital best practice. *Transfusion medicine reviews* 26, 153-163.
- SUBRAMANIAN, J., STIDHAM JR, S., LAUTENBACHER, C.J., 1999. Airline yield management with overbooking, cancellations, and no-shows. *Transportation science* 33, 147-167.
- WANG, K.M., MA, Z.J., 2015. Age-based policy for blood transshipment during blood shortage. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 80, 166-183.
- WEBER, M., 2015. Optimal inventory control in the presence of dynamic pricing and dynamic advertising. Ph.D. thesis. Humboldt-Universit• at zu Berlin.
- WILLIAMSON, L.M., CARDIGAN, R., 2005. Production and storage of blood components. *Practical Transfusion Medicine, Second Edition* , 259-273.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2010. *Towards 100% Voluntary Blood Donation: A Global Framework for Action*. WHO Press, Geneva. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK305666/>.

YEW-KWANG, N., *ET AL.*, 2016. Extending Economic Analysis to Analyze Policy Issues More Broadly. Technical Report. Nanyang Technological University, School of Humanities and Social Sciences, Economic Growth Centre.

YOON, S., LEWIS, M.E., 2004. Optimal pricing and admission control in a queueing system with periodically varying parameters. *Queueing Systems* 47, 177-199.