

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
ESCOLA DE ENGENHARIA

**ANÁLISE DE UMA CADEIA DE SUPRIMENTO DE SANGUE NO
BRASIL UTILIZANDO SIMULAÇÃO A EVENTOS DISCRETOS**

MIRIAM LUIZA DE JESUS RIBEIRO

Orientadora: Profa.Dra. Lásara Fabrícia Rodrigues
Coorientador: Prof.Dr. Luiz Ricardo Pinto

Belo Horizonte, MG
2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

MIRIAM LUIZA DE JESUS RIBEIRO

**ANÁLISE DE UMA CADEIA DE SUPRIMENTO DE SANGUE NO BRASIL
UTILIZANDO SIMULAÇÃO A EVENTOS DISCRETOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Minas Gerais como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientadora: Profa.Dra. Lásara Fabrícia Rodrigues

Coorientador: Prof.Dr. Luiz Ricardo Pinto

Belo Horizonte, MG
2022

R484a

Ribeiro, Miriam Luiza de Jesus.

Análise de uma cadeia de suprimento de sangue no Brasil utilizando simulação a eventos discretos [recurso eletrônico] / Miriam Luiza de Jesus Ribeiro. - 2022.

1 recurso online (108 f. : il., color.) : pdf.

Orientadora: Lásara Fabrícia Rodrigues.

Coorientador: Luiz Ricardo Pinto.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Anexos: f. 107-108.

Bibliografia: f. 101-106.

Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Engenharia de produção - Teses. 2. Pesquisa Operacional (Saúde) - Teses. 3. Métodos de simulação – Teses. I. Rodrigues, Lásara Fabrícia. II. Pinto, Luiz Ricardo. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. IV. Título.

CDU: 658.5(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



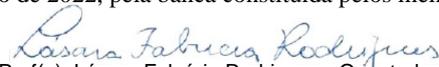
FOLHA DE APROVAÇÃO

ANÁLISE DE UMA CADEIA DE SUPRIMENTO DE SANGUE NO BRASIL UTILIZANDO SIMULAÇÃO A EVENTOS DISCRETOS

MIRIAM LUIZA DE JESUS RIBEIRO

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, como requisito para obtenção do grau de Mestre em ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, área de concentração PESQUISA OPERACIONAL E INTERVENÇÃO EM SISTEMAS SOCIOTÉCNICOS, linha de pesquisa Otimização e Simulação de Sistemas Logíst. e de Grande Porte.

Aprovada em 29 de março de 2022, pela banca constituída pelos membros:


Prof(a). Lásara Fabrícia Rodrigues - Orientador
Universidade Federal de Minas Gerais


Prof(a). Luiz Ricardo Pinto
UFMG


Prof(a). João Flávio de Freitas Almeida
UFMG
Departamento de Engenharia de Produção


Prof(a). Aloísio de Castro Gomes Junior
Universidade Federal de Ouro Preto

Belo Horizonte, 29 de março de 2022.

À Deus, Jesus Cristo e a Nossa Senhora da Conceição por serem a minha base e por estarem sempre ao meu lado me guiando nessa trajetória.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente à Deus, Jesus Cristo e a Nossa Senhora por sempre estarem ao meu lado, me dando forças e me fazendo acreditar que tudo é possível. A ti, Senhor, toda honra e toda a glória!

Agradeço especialmente a minha orientadora Lásara Fabrícia Rodrigues pela orientação, compreensão, ensinamentos, dedicação, incentivo e por ter sido fundamental no desenvolvimento desta pesquisa. Ao meu co-orientador Luiz Ricardo Pinto, por toda a disponibilidade, dedicação, orientação e confiança a mim depositada para o desenvolvimento deste trabalho.

A toda a equipe da HEMOSC pela disposição e confiança no fornecimento dos registros de dados, por sempre estarem disponíveis para ensinar e compartilhar os conhecimentos da hemorrede.

A UFMG por transformar a minha vida através dos estudos e me permitir encerrar um ciclo da melhor forma, com a conclusão de um mestrado.

À minha família, em especial à minha mãe Nazilda, minhas irmãs Isabela e Ana Luiza, minha avó Ana Paula (*in memoriam*) e meu noivo Cristiano, pelo amor incondicional, apoio durante essa jornada e por sempre estarem ao meu lado me incentivando a conquistar os meus sonhos.

Aos colegas do DEP-UFMG (Departamento de Engenharia de Produção - UFMG) pelos conhecimentos compartilhados, pelos auxílios durante a execução desta pesquisa e por todos os momentos de alegria vividos juntos.

À CAPES pelo apoio financeiro ao desenvolvimento desta pesquisa.

Por fim, a todos aqueles que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização desta dissertação, o meu sincero agradecimento.

“A educação é a arma mais poderosa que você pode usar para mudar o mundo.”

Nelson Mandela

Resumo

A cadeia de suprimento sanguínea apresenta características semelhantes a cadeia de suprimento de negócios. Contudo, o impacto social é ainda maior, visto que um gerenciamento ineficiente pode ocasionar em uma possível morte ou atraso de alguma cirurgia. Além disso, existe uma preocupação que nas próximas décadas haverá um aumento considerável de idosos que não será acompanhado na mesma proporção pelos doadores, gerando uma perspectiva de futura escassez sanguínea. Desta forma, tornar mais eficiente uma rede de suprimento sanguíneo é de extrema importância para melhorar o atendimento à população. No entanto, existem poucas pesquisas envolvendo cadeias de suprimento sanguínea no Brasil, principalmente com o uso da pesquisa operacional. Portanto, este trabalho busca avaliar a rede de suprimento do estado de Santa Catarina, a partir dos dados fornecidos pelo Hemocentro de Santa Catarina (HEMOSC). A simulação a eventos discretos será utilizada para representar o sistema atual e avaliar outros cenários. O primeiro cenário avaliado representa o comportamento da hemorrede desde a coleta do sangue até a transfusão. O aumento de demanda e centralização da produção foram avaliados como cenários alternativos para analisar e identificar oportunidades de melhorias na rede de suprimento. Os resultados sugerem que nos cenários de aumento de demanda devem ocorrer aumento do não atendimento das bolsas sanguíneas na hemorrede e apresenta os hemocentros que serão mais impactados devidos às suas localizações geográficas. Além disso, os resultados mostraram uma redução das perdas de bolsas sanguíneas devido ao aumento de demanda ter sido proporcionalmente superior ao aumento de oferta, um comportamento das taxas de ocupação do estoque similar as projeções de aumento da população doadora e um aumento exponencial ao longo das décadas do não atendimento das bolsas remanejadas. Já os cenários de centralização da produção se mostraram com grandes potenciais de redução de custos na rede, apesar de ainda serem necessárias análises dos custos logísticos envolvidos para a tomada de decisão.

Palavras-chave: Cadeia de suprimento sanguíneo. Simulação a eventos discretos. Centralização da produção. Aumento de demanda.

Abstract

The blood supply chain has similar characteristics to the business supply chain. However, the social impact is even greater, since inefficient management can lead to death or delay in some surgery, for example. In addition, there is a concern that in the coming decades, due to the prospect of future blood shortages, there will be a considerable increase in elderly people who will not be accompanied in the same proportion by donors. In this way, making a blood supply network more efficient is extremely important to improve service to the population. However, there are few researches involving blood supply chains in Brazil, mainly with the use of operational research. Therefore, this work seeks to evaluate the supply network in the state of Santa Catarina, based on data provided by the Blood Center of Santa Catarina (HEMOSC). Discrete event simulation will be used to represent the current system and evaluate other scenarios. The current scenario shows the behavior of the blood network representing the system from blood collection to transfusion. The increase in demand and centralization of production were evaluated as alternative scenarios to analyze and identify more efficient configurations of the supply network. The results suggest that in the scenarios of increased demand, there should be an increase in the rupture of the blood network and present the blood centers that will be more impacted due to their geographic locations. In addition, the results showed a reduction in blood bag losses due to validity throughout the blood network, a behavior of the stock occupancy rates similar to the projections of donor population increases, and an exponential non-attendance of relocated bags behavior. On the other hand, the production centralization scenarios showed great potential for cost reduction in the network, although analyzes of the logistical costs involved are still necessary for decision making.

Keywords: Blood supply chain. Discrete event simulation. Centralization of production. Demand increase.

Lista de Figuras

Figura 1.1 – Projeção da população brasileira para as próximas décadas	17
Figura 1.2 – Semelhanças entre a cadeia de suprimento de negócios e sangue	18
Figura 1.3 – Proporção da população com idade até 14 anos e acima de sessenta anos, 1980-2070	21
Figura 2.1 – Compatibilidade sanguínea	24
Figura 2.2 – Processo de doação de sangue até a transfusão sanguínea	25
Figura 2.3 – Produtos obtidos a partir do sangue total coletado	26
Figura 2.4 – Visão geral da cadeia de suprimento de sangue do sistema público brasileiro	30
Figura 2.5 – Etapas para um projeto de simulação	32
Figura 3.1 – Rede Hemoterápica do Hemocentro de SC	41
Figura 3.2 – Rotas de coleta das amostras e envio das bolsas de sangue das UC	42
Figura 3.3 – Fluxograma do hemocentro coordenador de Florianópolis	45
Figura 3.4 – Fluxograma do hemocentro regional de Joaçaba	46
Figura 3.5 – Fluxograma do hemocentro regional de Chapecó	47
Figura 3.6 – Fluxograma dos hemocentros regionais de Joinville e Criciúma	48
Figura 3.7 – Fluxograma dos hemocentros regionais de Lages e Blumenau	49
Figura 3.8 – Fluxograma do processo de remanejamento do estoque	49
Figura 3.9 – Fluxo de remanejamento das bolsas filtradas e irradiadas	50
Figura 3.10–Fluxo de remanejamento do estoque de toda a rede	50
Figura 3.11–Oferta por tipo sanguíneo das bolsas de CH coletadas	51
Figura 3.12–Quantidade de coletas realizadas por ano	52
Figura 3.13–Quantidade de coletas realizadas por mês	52
Figura 3.14–Quantidade de coletas realizadas por dia da semana	52
Figura 3.15–Quantidade de transfusões realizadas por ano	53
Figura 3.16–Quantidade de transfusões realizadas por mês	53
Figura 3.17–Demanda por tipo sanguíneo das bolsas de CH transfundidas	54
Figura 3.18–Diferença percentual entre oferta e demanda	54
Figura 3.19–Proporção por tipo de atendimento prestado	55
Figura 4.1 – Etapas do modelo conceitual	58
Figura 4.2 – Proporção por tipo sanguíneo das bolsas coletadas em cada hemocentro . . .	63
Figura 4.3 – Processo de coleta, produção e atualizadas do estoque das bolsas coletadas .	64
Figura 4.4 – Atendimento da demanda dos hospitais conveniados Tipo I	69
Figura 4.5 – Atendimento da demanda para os hospitais conveniados Tipo II, agências transfusionais e ambulatoriais	69
Figura 4.6 – Processo de remanejamento do estoque	74
Figura 4.7 – Processo de gerenciamento do estoque	78

Figura 5.1 – Média acumulada das perdas totais por replicação.	84
Figura 5.2 – Perdas por tipo sanguíneo.	85
Figura 5.3 – Proporção por tipo sanguíneo da população brasileira x transfusões da hemorede.	86
Figura 5.4 – Perdas por tipo sanguíneo e hemocentro.	86
Figura 5.5 – Ruptura por tipo sanguíneo.	87
Figura 5.6 – Número de dias sem atendimento da demanda por tipo sanguíneo e hemocentro.	87
Figura 5.7 – Quantidade não atendida pelo remanejamento por tipo sanguíneo e hemocentro.	88
Figura 5.8 – Vida útil restante das bolsas de sangue atendida por tipo sanguíneo e hemocentro (dias).	89
Figura 5.9 – Projeção da população idosa e população doadora de Santa Catarina.	90
Figura 5.10–Perdas por tipo sanguíneo no cenário de aumento de demanda.	91
Figura 5.11–Ruptura por tipo sanguíneo no cenário de aumento de demanda.	93
Figura 5.12–Quantidade de bolsas solicitadas e não atendidas em remanejamento por dia nos cenários de aumento de demanda.	94
Figura 5.13–Quantidade de bolsas solicitadas e não atendidas em remanejamento por dia e hemocentro nos cenários de aumento de demanda.	94
Figura 5.14–Taxas de ocupação do estoque nos cenários de aumento de demanda.	95
Figura 5.15–Cenários de centralização da produção	96

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 – Resumo dos Hemocomponentes	27
Tabela 2.2 – Classificação e descrição dos tipos de serviços de hemoterapia brasileiros, de acordo com a RDC 151/2001	29
Tabela 3.1 – Estoque ideal de bolsas de CH por hemocentro	56
Tabela 3.2 – Estoque ideal de bolsas de CH filtradas e irradiadas por hemocentro	56
Tabela 3.3 – Percentual de bolsas de CH descartadas devido a validade - 2011 a 2020	57
Tabela 3.4 – Percentual de bolsas não aprovadas nos testes - 2011 a 2020	57
Tabela 4.1 – Horário de produção por hemocentro	59
Tabela 4.2 – Entidades utilizadas no modelo	60
Tabela 4.3 – Conjuntos utilizados no modelo	60
Tabela 4.4 – Variáveis utilizadas no modelo	60
Tabela 4.5 – Parâmetros utilizados no modelo	61
Tabela 4.6 – Representação da validade do estoque por tipo sanguíneo	62
Tabela 4.7 – Estoque máximo (E_{max}) e capacidade máxima de armazenamento por tipo sanguíneo por hemocentro	63
Tabela 4.8 – Quantidade de centrífugas e extratores por hemocentro	65
Tabela 4.9 – Percentual de bolsas duplas e triplas por hemocentro	66
Tabela 4.10–Quantidade de equipamentos utilizados em procedimentos especiais por hemocentro	68
Tabela 4.11–Porcentagem de atendimento da demanda Tipo I e Tipo II por hemocentro	70
Tabela 4.12–Tempo de deslocamento entre os hemocentros (horas)	74
Tabela 4.13–Validação operacional – Coletas totais da rede	80
Tabela 4.14–Validação operacional – Demandas totais da rede	81
Tabela 5.1 – Análise das saídas dos dados para dez replicações iniciais	83
Tabela 5.2 – Percentual de perdas por hemocentro	85
Tabela 5.3 – Percentual de ruptura por hemocentro	87
Tabela 5.4 – Quantidade não atendida pelo remanejamento	88
Tabela 5.5 – Taxa de ocupação do estoque por hemocentro	89
Tabela 5.6 – Percentual de perdas por hemocentro nos cenários de aumento de demanda	90
Tabela 5.7 – Perdas em valor absoluto de bolsas por tipo sanguíneo no cenário de aumento de demanda.	92
Tabela 5.8 – Percentual de ruptura por hemocentro nos cenários de aumento de demanda	92
Tabela 5.9 – Percentual da quantidade não atendida pelo remanejamento nos cenários de aumento de demanda	93
Tabela 5.10–Vida útil restante das bolsas de sangue atendida por tipo sanguíneo nos cenários de aumento de demanda (dias).	95

Tabela 5.11–Percentual de perdas por hemocentro nos cenários de centralização de produção	97
Tabela 5.12–Percentual de ruptura por hemocentro nos cenários de centralização da produção	97
Tabela 5.13–Taxa de ocupação do estoque por hemocentro	98
Tabela 5.14–Vida útil restante das bolsas de sangue atendida por tipo sanguíneo nos cenários de centralização da produção (dias).	98

Lista de Algoritmos

1	Módulo de inicialização do estoque	64
2	Chegada da oferta por tipo sanguíneo em cada hemocentro	65
3	Inserção das bolsas no estoque	68
4	Chegada da demanda por tipo sanguíneo	70
5	Atendimento da demanda utilizando o mesmo tipo sanguíneo	71
6	Atendimento da demanda utilizando tipos sanguíneos compatíveis e contabilização da demanda não atendida	73
7	Remanejamento do estoque entre os hemocentros - Atendimento total	76
8	Remanejamento do estoque entre os hemocentros - Atendimento parcial pelo hemocentro mais próximo	77
9	Gerenciamento do estoque	79

Lista de Abreviaturas e Siglas

AT	Agência Transfusional
AMB	Ambulatório
BNU	Hemocentro Regional de Blumenau
CCO	Hemocentro Regional de Chapecó
CH	Concentrado de Hemácia
CI	Hospital Conveniado Tipo I
CII	Hospital Conveniado Tipo II
CUA	Hemocentro Regional de Criciúma
DEP	Departamento de Engenharia de Produção
FIFO	First In First Out
FLN	Hemocentro Coordenador de Florianópolis
HC	Hemocentro Coordenador
HEMOSC	Hemorrede de Santa Catarina
HR	Hemocentro Regional
JBA	Hemocentro Regional de Joaçaba
JVE	Hemocentro Regional de Joinville
LGS	Hemocentro Regional de Lages
LIFO	Last In First Out
NAT	Teste de Ácido Nucléico
OMS	Organização Mundial da Saúde
RDC	Resolução da Diretoria Colegiada
SC	Santa Catarina
UC	Unidade de Coleta
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais

Sumário

1	Introdução	16
1.1	Contextualização	16
1.2	Objetivos	20
1.3	Justificativas	20
1.4	Organização do trabalho	21
2	Revisão de Literatura	23
2.1	O sangue e seus hemocomponentes	23
2.2	Sistema de suprimento sanguíneo no Brasil	28
2.3	Simulação a eventos discretos	31
2.4	Modelos de pesquisa operacional aplicados em cadeias de suprimento de sangue	33
3	O Estudo de Caso	40
3.1	Hemorrede de Santa Catarina	40
3.2	Levantamento de Dados	50
4	Modelagem	58
4.1	Modelo Conceitual	58
4.1.1	Inicialização do estoque	59
4.1.2	Coleta, produção e estoque	63
4.1.3	Atendimento da demanda	68
4.1.4	Remanejamento do estoque entre os hemocentros	74
4.1.5	Gerenciamento do estoque	78
4.2	Implementação Computacional	78
5	Experimentos computacionais e análise dos resultados	82
5.1	Planejamento de Experimentos	82
5.2	Cenário inicial	83
5.3	Cenários considerando aumento de demanda	89
5.4	Cenários de centralização da produção	94
6	Conclusões	99
	Referências	101
	Anexos	107
	ANEXO A Autorização HEMOSC	108

1 Introdução

Neste capítulo é apresentado uma contextualização do problema sob a perspectiva mundial e brasileira. Além disso, são apresentados os objetivos a serem alcançados, a justificativa do trabalho, bem como, a estrutura textual.

1.1 Contextualização

A principal função do sangue é transportar o oxigênio e nutrientes para os pulmões e tecidos (AMERICAN SOCIETY OF HEMATOLOGY, 2020). Ele é utilizado em diversos tipos de tratamento como transplantes de órgãos, tratamento de doenças, de anemia, cirurgias e procedimentos de emergência.

Segundo o Ministério da Saúde (2019), cerca de 3,3 milhões de pessoas são doadoras de sangue no Brasil. Isso significa que cerca de 1,6% da população brasileira - 16 a cada mil pessoas - doam sangue regularmente. Apesar deste parâmetro atender os limites estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS, 2019), no qual recomenda que a população doadora de cada país esteja entre 1% e 3%, é necessário realizar campanhas a fim de evitar escassez.

A mudança da demografia da população mundial vem sendo um fator preocupante quando se pensa no suprimento de sangue para as próximas décadas, pois os padrões de consumo e de doações variam de acordo com a idade (YU et al., 2020). Segundo a Organização das Nações Unidas (2019), em seu último relatório técnico sobre as Perspectivas Mundiais da População 2019, a expectativa de vida da população mundial aumentou de 64,2 anos em 1990 para 72,6 anos em 2019 e deve aumentar ainda para 77,1 anos até o ano de 2050. Com esse aumento da expectativa de vida atrelado com a diminuição da taxa de natalidade mundial espera-se que até o ano de 2050 cerca de uma em cada seis pessoas no mundo tenha mais de 65 anos (16%), um aumento considerável quanto comparado com a taxa de uma a cada onze pessoas (9%) de 2019 (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2019).

Ao avaliar o cenário do Brasil frente as questões de mudanças demográficas, percebe-se que a projeção da população brasileira para as próximas décadas também apresenta um aumento da expectativa de vida e uma diminuição da taxa de natalidade (Figura 1.1). Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2018), até o final de 2020 é previsto que 7,97% da população seja de pessoas acima de 60 anos, enquanto que, para as próximas décadas o valor aumenta para 10,48%, 13,15%, 15,89%, para os anos 2030, 2040, 2050, respectivamente, chegando a 17,90% até o ano de 2060. Portanto, ocorrerá um aumento de mais de 43 milhões de idosos acima de 60 anos entre os anos de 2020 e 2060 no Brasil.

Com o aumento da expectativa de vida da população mundial, diversos são os estudos que

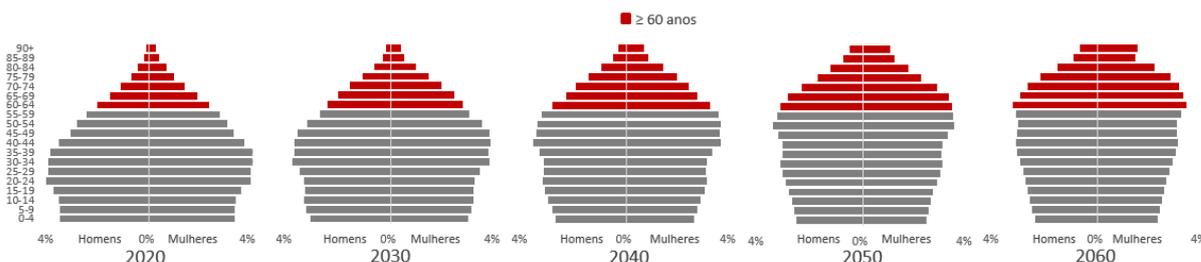


Figura 1.1 – Projeção da população brasileira para as próximas décadas

Fonte: Elaborado pelo autor com dados extraídos de IBGE (2018).

avaliam a relação entre o aumento da demanda por transfusão sanguínea com o envelhecimento da população (LANCET, 2005; GREINACHER; FENDRICH; HOFFMANN, 2010; LAU et al., 2013; GREINACHER et al., 2016; GREINACHER et al., 2017; VOLKEN et al., 2018; ZUCOLOTO et al., 2019; OLIVEIRA; REIS, 2020). Zucoloto et al. (2019) afirmam que o envelhecimento da população é o principal fator associado ao aumento da demanda por sangue e diminuição da oferta de sangue, pois cerca de 50% das transfusões sanguíneas são realizadas em pessoas com idade superior a 60 anos, enquanto que a maior parte das doações são feitas por pessoas jovens, o que gera uma perspectiva de futura escassez de sangue mundial. Além disso, mesmo com os avanços tecnológicos que buscam encontrar algum substituto para o sangue, a necessidade de doadores de sangue e de seus derivados sempre existirá (BELIËN; FORCÉ, 2012).

Portanto, torna-se urgente a necessidade de estudos que contribuam para um gerenciamento eficiente de cadeias de suprimento de sangue visto que cenários de escassez sanguínea são previstos para os próximos anos no Brasil e no mundo. Além disso, essas cadeias são sujeitas a incerteza na oferta e demanda de sangue o que torna a gestão dessas cadeias ainda mais desafiadora.

A cadeia de suprimento de sangue é semelhante a qualquer outra cadeia de suprimento tradicional (Figura 1.2). Ela inicia com os doadores de sangue (fornecedores primários) e finaliza com a transfusão sanguínea para o paciente (consumidores). Entre esse percurso, os centros de coleta de sangue se comportam como os fornecedores principais, já que é a partir deles que é obtido o sangue (matéria-prima). As etapas de processamento, armazenamento e distribuição do sangue estão relacionados com os fabricantes e distribuidores de uma cadeia de suprimentos tradicional, pois nessas etapas acontece a transformação do sangue total em seus hemocomponentes e hemoderivados e a distribuição desses produtos para os hospitais. Por fim, os hospitais e centros de saúde se comportam como os varejistas da cadeia de suprimento tradicional, responsáveis por disponibilizar o produto sanguíneo para os pacientes (consumidores).

Apesar da cadeia de suprimento de sangue possuir similaridades com a cadeia de suprimento tradicional, ela possui algumas particularidades que às diferem até mesmo das cadeias de suprimentos de perecíveis, principalmente em relação ao seu impacto social. A primeira

particularidade é que o sangue é um produto altamente perecível e que possui diversos componentes, cada um, com um prazo de validade diferente. Existe também, uma grande dificuldade em realizar o seu planejamento devido a alta variabilidade no suprimento, local e data de coleta. Além disso, as demandas e ofertas são aleatórias e possuem características estocásticas o que torna a busca por soluções ainda mais complexa. Por fim, esta cadeia de suprimento possui altas taxas de desperdícios por conta do baixo prazo de validade de seus componentes (PIERSKALLA, 2005).

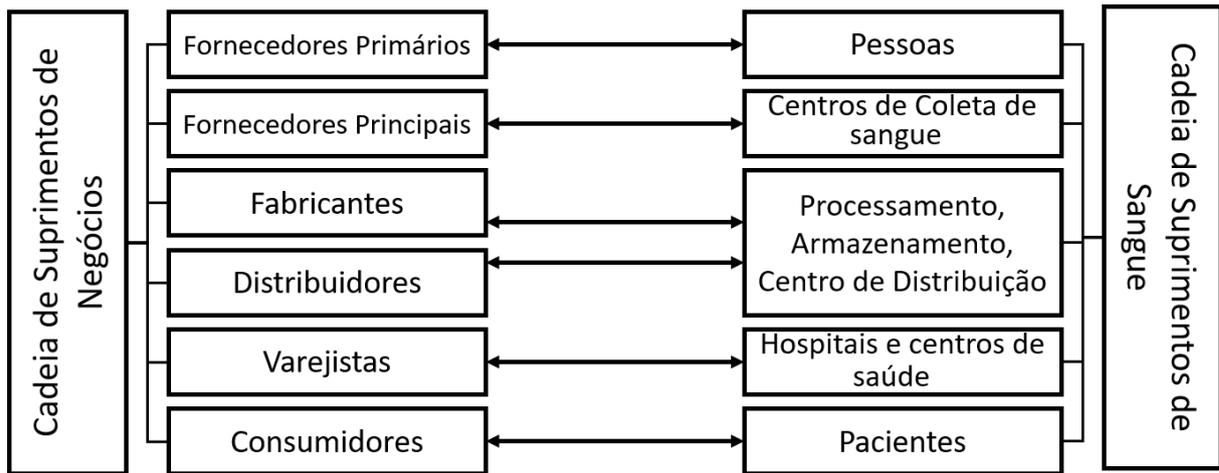


Figura 1.2 – Semelhanças entre a cadeia de suprimento de negócios e sangue

Fonte: Adaptado de Samani, Torabi e Hosseini-Motlagh (2018)

Em relação a oferta, um estudo feito por Oliveira et al. (2013) mostra que existe uma redução da quantidade de doações no Brasil em feriados como Carnaval e Natal e um aumento do número de doações na Semana Nacional do Doador de Sangue. Ter o conhecimento destes períodos sazonais é importante para que campanhas de sangue sejam planejadas com o propósito de diminuir os possíveis impactos no suprimento de sangue. Apesar da demanda por sangue apresentar alguns picos devido a algum desastre que possa ocorrer, na maioria das vezes, ela apresenta um comportamento estável e previsível, podendo assim ser planejada a quantidade ideal que será requisitada quando necessário (MAGALHÃES, 2018).

Considerando as características de oferta e demanda, o gerenciamento dos produtos sanguíneos tem como principal objetivo garantir a sua disponibilização no local certo, no tempo desejado e na quantidade solicitada, garantindo assim, o atendimento a todos os pacientes. A escassez de um produto sanguíneo, também conhecida como ruptura ou falta, pode gerar consequências fatais, uma vez que isso representa o não atendimento a algum paciente. Todavia, não é aconselhável armazenar grande quantidade de sangue em virtude do tempo de vida útil de cada componente, o que pode gerar custos de armazenamento indejesáveis e grandes quantidades de descartes.

A partir de todos os fatores mencionados anteriormente o gerenciamento da cadeia de suprimento de sangue é considerado complexo, logo é necessário o uso de ferramentas que

auxiliem na tomada de decisão. Nessa perspectiva, a Pesquisa Operacional vem sendo muito utilizada em problemas de apoio a decisão através da implementação de técnicas apropriadas, especialmente quando comportamentos aleatórios estão presentes.

Os estudos na cadeia de suprimentos de sangue se concentram principalmente no desenvolvimento de modelos matemáticos que minimizam os níveis de escassez e desperdícios na etapa de gerenciamento de estoque (JENNINGS, 1973; VRAT; KHAN, 1976; HAIJEMA et al., 2009; DIJK et al., 2009; MAGALHÃES, 2018; RAJENDRAN; RAVINDRAN, 2019). Contudo, também existem muitos estudos que atuam nos processos de coleta (ALFONSO et al., 2012; OSORIO; BRAILSFORD; SMITH, 2018; ÖZENER; EKICI, 2018), produção (HAIJEMA et al., 2009; VRAT; KHAN, 1976; OSORIO et al., 2017) e distribuição (KENDALL; LEE, 1980; DHARMARAJA; NARANG; JAIN, 2019; YU et al., 2018; JAFARKHAN; YAGHOUBI, 2018). Estudos que consideram um sistema regional de distribuição a partir da regionalização de um hemocentro também são realizados com o objetivo de obter uma economia de escala (GREGOR; FORTHOFFER; KAPADIA, 1982; SAPOUNTZIS, 1984). Além destes estudos, muitos trabalhos integram todos os processos da cadeia sanguínea (OR; PIERSKALLA, 1979; PIERSKALLA, 2005; RYTIÄ; SPENS, 2006; KATSALIAKI; BRAILSFORD, 2007; ARVAN; TAVAKKOLI-MOGHADDAM; ABDOLLAHI, 2015; ENSAFIAN; YAGHOUBI, 2017; HENDALIANPOUR, 2018; KAYA; OZKOK, 2018; KAYA; OZKOK, 2020) e consideram a necessidade de sangue em situações de desastres (JABBARZADEH; FAHIMNIA; SEURING, 2014; GLASGOW et al., 2018; SAMANI; TORABI; HOSSEINI-MOTLAGH, 2018). Os principais países onde foram desenvolvidas pesquisas quantitativas na cadeia de suprimento de sangue são: Estados Unidos, Irã, Canadá, Índia, Reino Unido, Holanda, Colômbia e França (PIRABÁN; GUERRERO; LABADIE, 2019).

No contexto brasileiro, estudos sobre a cadeia de suprimento de sangue com a aplicação da pesquisa operacional são escassos. Entretanto, pode-se citar Magalhães (2018), que avalia o gerenciamento de estoque de hemocomponentes com objetivo de determinar níveis mínimos de estoques considerando níveis de perda e ruptura pré-estabelecidos, e Soares et al. (2020), que analisam a expansão de coletas externas para complementar o estoque das bolsas de sangue e evitar escassez. Por este motivo, desenvolver uma pesquisa sobre esse assunto será de grande relevância tanto para a literatura, envolvendo aplicações de modelos em cadeias de suprimento de sangue, quanto para a sociedade que se beneficiará da implementação de cadeias de suprimento de sangue mais eficientes.

Portanto, o objetivo deste estudo é realizar uma análise da cadeia de suprimento de sangue do estado de Santa Catarina, a fim de avaliar o cenário atual de gerenciamento e, a partir disso, avaliar cenários alternativos desta cadeia através da alteração de alguns parâmetros como: centralização da produção e aumento de demanda. Nesta análise, modelos de simulação serão usados para representar o sistema analisado e o comportamento aleatório da demanda e oferta.

A Hemorrede de Santa Catarina (HEMOSC) foi escolhida como objeto de estudo nesta

pesquisa, pois esta é responsável pelo atendimento de 98,2% da cobertura hemoterápica do estado (HEMOSC, 2019). Dessa forma, os resultados dessa pesquisa poderão ser utilizados para inferir sobre o comportamento da cadeia de suprimentos de sangue no estado de Santa Catarina.

1.2 Objetivos

O objetivo dessa pesquisa é desenvolver uma abordagem baseada em simulação para analisar a cadeia de suprimento de sangue do estado de Santa Catarina. Pretende-se utilizar essa abordagem para identificar os gargalos do sistema em relação ao aumento de demanda e as oportunidades com relação aos cenários de centralização da produção.

Especificamente é proposto:

- Analisar a oferta e demanda do concentrado de hemácia no estado de Santa Catarina;
- Representar o funcionamento da cadeia de suprimento sanguínea de SC;
- Representar o sistema de suprimento sanguíneo através de modelos de simulação;
- Propor e analisar cenários alternativos baseados no funcionamento do HEMOSC, tais como aumento de demanda de sangue e centralização da produção sanguínea.

1.3 Justificativas

Conforme apresentado anteriormente, a Organização das Nações Unidas (2019) vem apresentando em seus últimos relatórios uma tendência da alteração da demografia da população mundial no qual é relatado um aumento da expectativa de vida e uma diminuição da taxa de natalidade, resultando em um aumento da população idosa mundial. Historicamente, o número de jovens sempre foi maior que o de idosos, porém, é esperado que em 2050 a população mundial de idosos (acima de 60 anos) ultrapasse o percentual de jovens até 14 anos (REIS; BARBOSA; PIMENTEL, 2016). No Brasil, é esperado que essa transição ocorra 20 anos antes, conforme é mostrado na Figura 1.3.

Desta forma, uma atenção especial ao sistema de saúde brasileiro é necessária, principalmente quando avalia-se a previsão realizada pelo IBGE (2018), no qual é esperado um aumento de mais de 43 milhões de idosos no Brasil até o final de 2060 em comparação com 2020. Este aumento na população idosa terá como consequência o aumento da demanda por transfusões sanguíneas, já que estas variáveis possuem uma relação direta conforme é apresentado em Lancet (2005), Greinacher, Fendrich e Hoffmann (2010), Lau et al. (2013), Greinacher et al. (2016), Greinacher et al. (2017), Volken et al. (2018), Zucoloto et al. (2019), Oliveira e Reis (2020). Portanto, é necessário que sejam realizados estudos sobre a cadeia de suprimento de sangue com o objetivo de apresentar alternativas que tornem a rede de suprimento mais eficiente. Assim, este

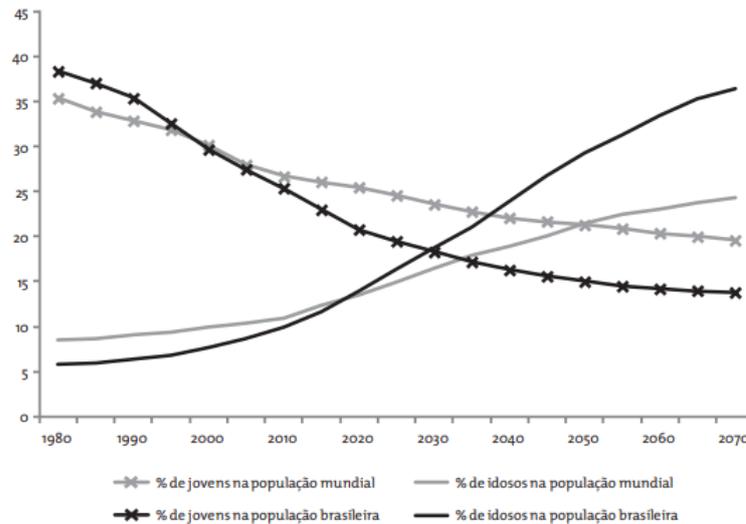


Figura 1.3 – Proporção da população com idade até 14 anos e acima de sessenta anos, 1980-2070

Fonte: Reis, Barbosa e Pimentel (2016) com dados extraídos de Organização das Nações Unidas (2015).

estudo irá avaliar a alteração de alguns parâmetros da rede de suprimento sanguínea que poderão ser implementados posteriormente com o objetivo de tornar a cadeia de suprimento sanguínea mais eficiente.

Os estudos que avaliam a cadeia de suprimento sanguínea considerando a aplicação de técnicas matemáticas para melhorar a rede são escassos no Brasil. Magalhães (2018) analisa o gerenciamento de estoque e Soares et al. (2020) avaliam o aumento de coletas externas, porém, os mesmo avaliam apenas uma etapa da cadeia. Estudos que consideram apenas um processo da cadeia de suprimento sanguínea são muito comuns, porém, recentemente, existe uma tendência na realização das pesquisas que considera a integração da cadeia (PIRABÁN; GUERRERO; LABADIE, 2019). Desta forma, este estudo irá considerar a integração da cadeia de suprimento sanguínea do estado de Santa Catarina a partir de técnicas da PO, de maneira a ser um dos primeiros estudos brasileiros a considerar esses aspectos no Brasil.

1.4 Organização do trabalho

A dissertação encontra-se organizada em cinco capítulos. O capítulo em curso introduz, contextualiza, apresenta os objetivos do trabalho e justifica o tema. O segundo capítulo, apresenta um resumo sobre o sangue e de seus hemocomponentes, uma revisão sobre o funcionamento do sistema de suprimento sanguíneo brasileiro, uma apresentação sobre o método de simulação a eventos discretos, e por fim, estudos com aplicações quantitativas na cadeia de suprimento de sangue. No terceiro capítulo, é apresentado o estudo de caso e os dados que serão utilizados para o desenvolvimento desta pesquisa. No quarto capítulo, são apresentados os modelos conceituais e computacionais utilizados para representar toda a hemorrede de Santa Catarina. No quinto capítulo, são apresentados os resultados para o cenário atual e os experimentos computacionais de

aumento de demanda e centralização da produção. Por fim, no último capítulo são apresentados as conclusões e sugestões de trabalhos futuros.

2 Revisão de Literatura

Este capítulo apresenta a revisão de literatura desenvolvida nesse trabalho. Inicialmente, um resumo das características do sangue e de seus hemocomponentes é apresentada para contextualizar esse assunto. Em seguida, é apresentado o funcionamento da cadeia de suprimento sanguínea brasileira. Uma revisão sobre as etapas necessárias para a execução de um projeto de simulação também é desenvolvido. Por fim, são apresentados alguns modelos de pesquisa operacional aplicados em cadeias de suprimento de sangue.

2.1 O sangue e seus hemocomponentes

O sangue é um fluido corporal que percorre todo o sistema circulatório levando oxigênio e nutrientes para todos os órgãos através das veias e artérias. As veias levam o sangue dos órgãos e tecidos para o coração, enquanto que as artérias fazem o percurso inverso. Ele é produzido principalmente na medula óssea dos ossos chatos, que são aqueles que apresentam espessura reduzida, como por exemplo: vértebras, costelas, ossos do quadril, crânio e esterno. Normalmente, a média do volume total do sangue em um adulto é de aproximadamente 5 litros, o que corresponde a 7% do peso corporal de uma pessoa, sendo ele constituído por plasma, leucócito, hemácias e plaquetas (SILVERTHORN, 2010).

O plasma representa aproximadamente 55% do volume total sanguíneo e é considerado a parte líquida do sangue uma vez que cerca de 90% da sua composição é formado por água enquanto o restante é composto por proteínas, sais minerais, hormônios, gases, excreções e nutrientes. Ele é responsável pelo transporte desses componentes permitindo que as células recebam os nutrientes e excretem os resíduos que são gerados durante o metabolismo. Os leucócitos, também conhecidos como glóbulos brancos, são as células responsáveis pela defesa do organismo contra microrganismos invasores. Já as hemácias, conhecida também como glóbulos vermelhos, são responsáveis por transportar o oxigênio e o gás carbônico para todos os tecidos do corpo. Por fim, as plaquetas são pequenas células que tem a função de auxiliar na interrupção dos sangramentos, ou seja, ela é responsável pela coagulação sanguínea.

A transfusão sanguínea é regularmente utilizada em casos de cirurgias, traumatismo, câncer, partos e diversos outros procedimentos que necessitam repor grandes perdas sanguíneas. No processo de transfusão, o paciente geralmente recebe o mesmo tipo sanguíneo que possui, porém, em casos de indisponibilidade é possível realizar a transfusão de acordo com a compatibilidade sanguínea existente entre o paciente e o doador, utilizando a relação entre grupos sanguíneos ABO e antígenos (*Rhesus*).

A Figura 2.1 representa a compatibilidade sanguínea entre o doador e o paciente indicando

os quatro tipos sanguíneo segundo a classificação ABO (A, B, AB, O) em conjunto com o fator Rhesus (Rh) que pode ser classificado como positivo ou negativo, resultando em oito tipos diferentes de sangue. O tipo sanguíneo O^- pode doar para todos os outros grupos sanguíneos, porém, recebe apenas de doadores do mesmo tipo sanguíneo, sendo conhecido popularmente como doador universal. Já o sangue AB^+ é conhecido como receptor universal, uma vez que pacientes com esse tipo sanguíneo podem receber qualquer tipo sanguíneo, entretanto, podem doar apenas para o sangue AB^+ e AB^- . Além disso, as pessoas que possuem o antígeno Rh^- podem doar tanto para os antígenos positivo quanto para o negativo, entretanto só podem receber de pessoas que possuem o Rh^- . Isso ocorre de maneira oposta daqueles que possuem o antígeno Rh^+ .

		Doador							
		AB^+	AB^-	A^+	A^-	B^+	B^-	O^+	O^-
Paciente	AB^+	●	●	●	●	●	●	●	●
	AB^-		●		●		●		●
	A^+			●	●			●	●
	A^-				●				●
	B^+					●	●	●	●
	B^-						●		●
	O^+							●	●
	O^-								●

Figura 2.1 – Compatibilidade sanguínea

Fonte: Adaptado de Ministério da Saúde (2015a)

O processo desde a doação até a transfusão sanguínea é mostrado na 2.2. As etapas que antecedem a transfusão sanguínea são de extrema importância para que ocorra uma transfusão segura tanto para o doador quanto para o paciente. O processo inicia-se com um candidato a doação que está disposto a realizar uma doação de sangue como um ato altruísta, voluntário, sigiloso no qual é vetado ao doador receber qualquer benefício advindo de sua doação, conforme é descrito na Portaria de Consolidação nº 5 de 28 de setembro de 2017 (BRASIL, 2017). Existem três principais motivações para que aconteça a doação: espontânea, de reposição e autóloga. As doações espontâneas não advêm de uma causa específica, logo, o doador está interessado apenas em manter o estoque de sangue de um hemocentro realizando na maioria das vezes doações frequentes (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2018). As doações de reposição são feitas para atender a necessidade de um paciente específico, na maioria das vezes é realizada por algum familiar ou amigo do paciente. Finalmente, as doações autólogas são aquelas que o próprio paciente doa para seu uso exclusivo sendo realizado principalmente em cirurgias agendadas no qual possa ocorrer algum sangramento (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2018).

A etapa de triagem clínica consiste no processo de avaliação do candidato à doação, onde é analisado o perfil do candidato através de entrevista e análise clínica com o objetivo de certificar

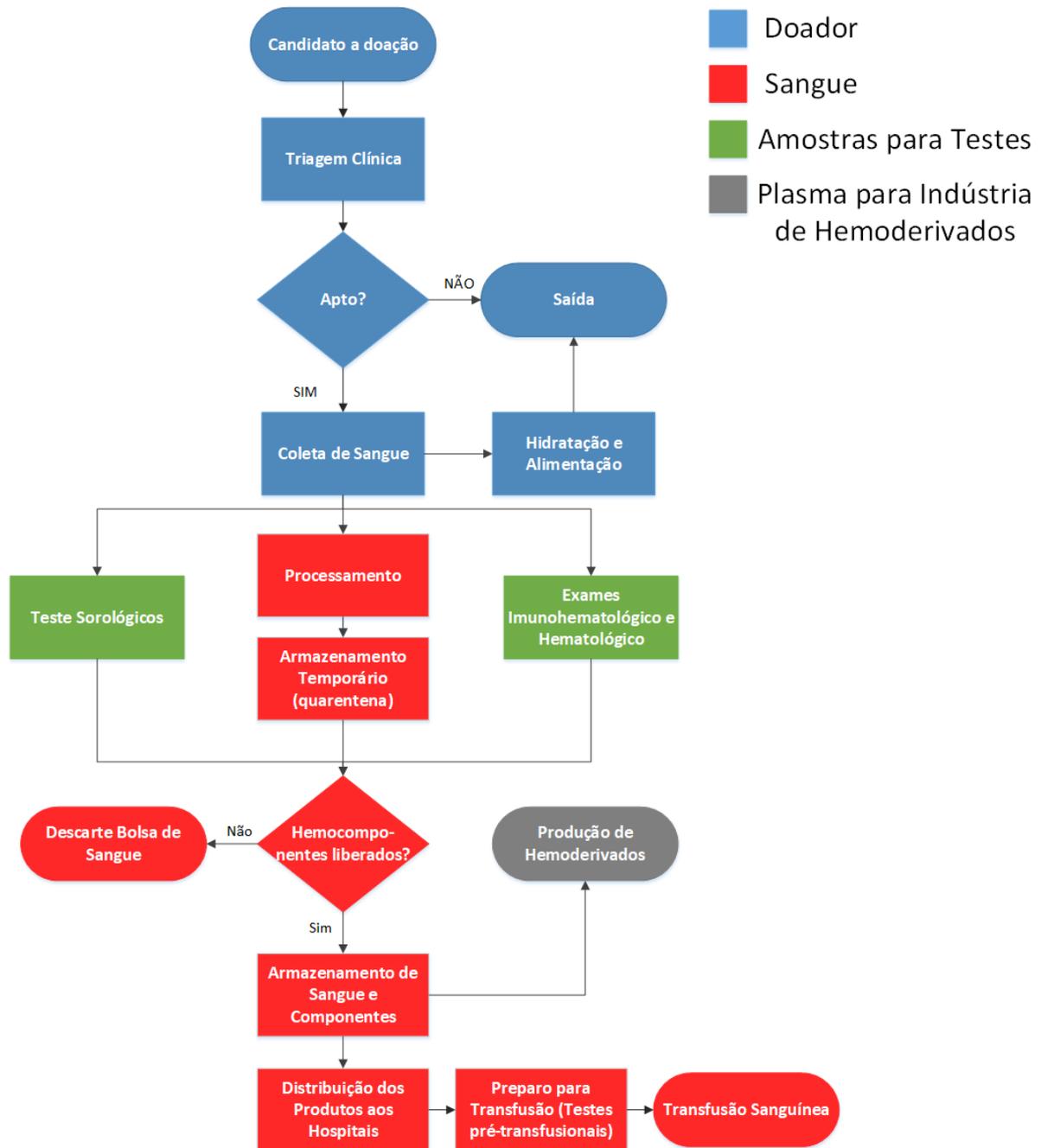


Figura 2.2 – Processo de doação de sangue até a transfusão sanguínea

Fonte: Adaptado de Martins e Nóbrega (2018)

que o doador possui todos os requisitos necessários para realizar a doação. Caso o doador não esteja apto para realizar a doação ele é convidado a retornar em um outro momento, enquanto que se ele estiver apto ele é encaminhado para a coleta de sangue.

A coleta de sangue pode ser feita através da retirada do sangue total na qual é recolhido entre 405ml a 495ml de sangue ou através da coleta por aférese, onde o sangue é retirado através de uma máquina coletora que separa os componentes do sangue por centrifugação e depois devolve o restante dos componentes para o corpo do doador. A coleta por aféreses é mais eficiente,

já que ela permite a retirada do componente em específico sem a necessidade de retirar todo o sangue, contudo, ela é utilizada somente em alguns casos devido ao seu alto custo e maior tempo de doação. Depois da doação, o paciente é encaminhado para realização da hidratação e alimentação e, em seguida, é liberado para voltar a sua rotina.

Após a coleta, o sangue é encaminhado para a etapa de fracionamento. Nesta etapa, o sangue é processado em hemocomponentes nos quais são obtidos através de processos físicos, como a centrifugação e congelamento. A Figura 2.3 mostra os hemocomponentes extraídos a partir de uma bolsa de sangue total: concentrado de hemácias, plasma fresco congelado, concentrado de plaquetas e crioprecipitado.

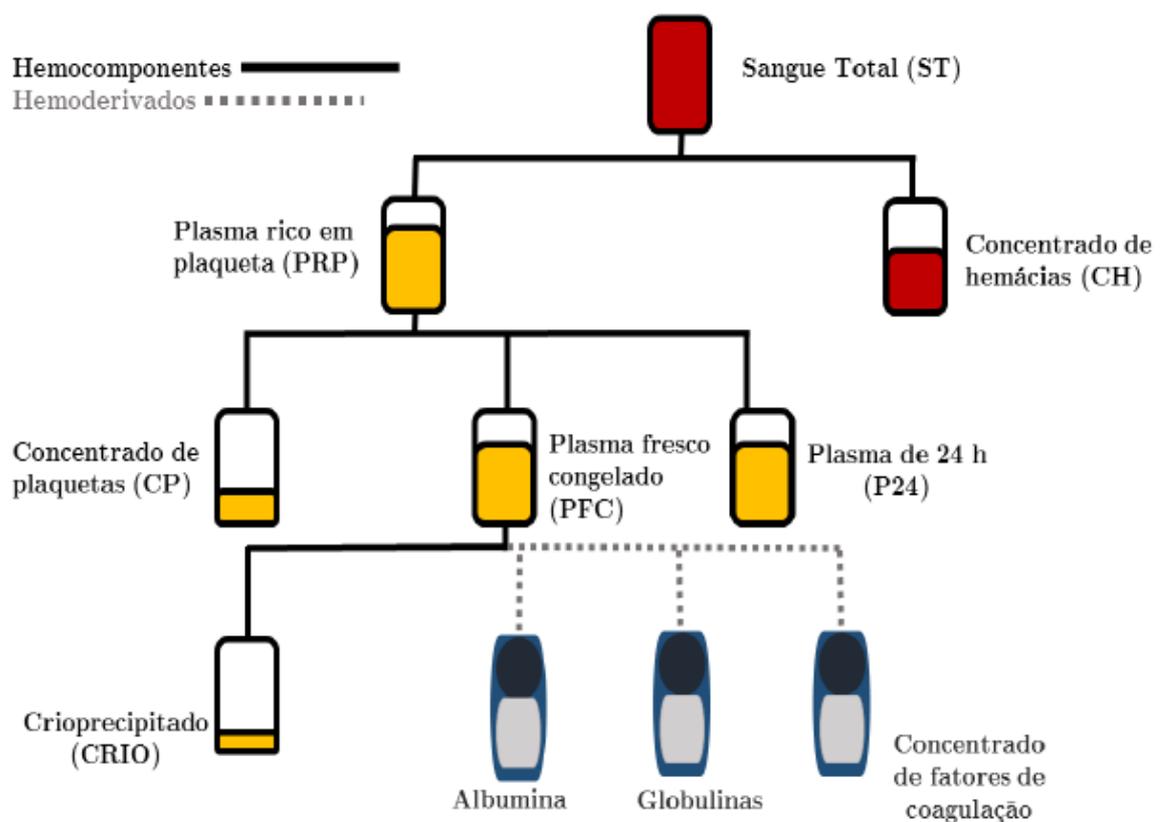


Figura 2.3 – Produtos obtidos a partir do sangue total coletado

Fonte: Guia de uso de hemocomponente, adaptado de Ministério da Saúde (2015a)

Para obter o concentrado de hemácia (CH) é necessário realizar uma centrifugação da bolsa de sangue total com o objetivo de remover a maior parte do plasma. Ele é indicado para pacientes que apresentam um quadro de anemia, ou que precisam restaurar a massa eritrocitária, ou quando o transporte de oxigênio pelo corpo está comprometido (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2015a).

Já o concentrado de plaquetas pode ser obtido através da centrifugação do sangue em duas fases ou através do *buffy coat*. Os extratores automatizados de plaquetas são utilizados nos dois casos, contudo, no *buffy coat* é utilizado bolsas *top and bottom*. Ele é indicado para pacientes

que apresentam hemorragia com baixa quantidade de plaquetas ou alguma anormalidade da função plaquetária (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2015a).

O plasma fresco congelado é a parte acelular do sangue obtida por centrifugação e transferência em circuito fechado para uma bolsa satélite ou a partir da coleta por aférese. Para preservar todos os fatores de coagulação é necessário o seu congelamento em até 8 horas, a partir da doação de sangue. O plasma fresco congelado é indicado para casos de sangramento excessivo e para o tratamento de pacientes com distúrbio da coagulação, em especial para aqueles que possuem deficiência de múltiplos fatores (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2015a).

Por fim, o crioprecipitado é obtido por meio do descongelamento de uma bolsa de plasma fresco congelado a temperaturas de 1°C a 6°C, uma vez que algumas proteínas são insolúveis nessa temperatura. Após o descongelamento, o plasma sobrenadante é removido deixando-se na bolsa a proteína precipitada. Posteriormente, a proteína precipitada é recongelada em um período de 1h e armazenada em uma temperatura inferior a - 20°C dando origem ao crioprecipitado. Esse componente é indicado para tratamento de hipofibrinogenemia congênita ou adquirida, disfibrinogenemia ou deficiência de fator XIII (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2015a).

Os hemoderivados (albumina, globulinas e concentrado de fatores de coagulação) representados na Figura 2.3 são obtidos em escala industrial através de processos físico-químicos a partir do fracionamento do plasma.

A Tabela 2.1 apresenta os principais hemocomponentes mencionados, destacando os principais usos, o volume, a temperatura de armazenamento e a vida útil desses componentes.

Tabela 2.1 – Resumo dos Hemocomponentes

Hemocomponentes	Volume	Temperatura de armazenamento	Vida útil
Concentrado de Hemácia	220 - 280ml	2°C a 6°C	35 - 42 dias
Concentrado de Plaquetas	50 - 60ml (coleta normal)	22°C ±2°C (constante agitação)	5 dias
	200 - 300ml (coleta por aférese)		
Plasma Fresco Congelado	150 - 250ml	$-30^{\circ}\text{C} \leq T \leq -20^{\circ}\text{C}$	12 meses
		$\leq -30^{\circ}\text{C}$	24 meses
Crioprecipitado	10 - 15ml	$\leq -20^{\circ}\text{C}$	12 meses

Fonte: Elaborado pelo autor.

Paralelamente ao processamento de hemocomponentes são realizados os testes sorológicos, os exames imunohematológicos e hematológicos (Hemoglobina S) a partir de amostras

também coletadas durante a doação. Enquanto os exames são realizados, os componentes permanecem armazenados temporariamente (quarentena) em suas respectivas temperaturas.

Se os resultados dos testes sorológicos e dos exames de imunohematológico apresentarem alguma anomalia é necessário realizar o descarte da bolsa de sangue, se não, o sangue e os hemocomponentes permanecem armazenados para serem enviados para a produção de hemoderivados ou para atender, a solicitação de algum hospital ou centro de transfusão. Quando chega a ordem do pedido de sangue é realizada a distribuição dos produtos aos hospitais e/ou agências transfusionais. Ao chegar ao local solicitado são realizados alguns testes pré-transfusionais com o objetivo de validar a compatibilidade do sangue entre o doador e paciente, e após a validação é realizada a transfusão sanguínea. Nos casos em que o hospital não possua agência transfusional (AT), os testes são realizados no hemocentro.

2.2 Sistema de suprimento sanguíneo no Brasil

O serviço de transfusão sanguínea surgiu na década de 1930 no Brasil e vem evoluindo no decorrer dos anos. Nessa época, a hemoterapia não recebia a atenção necessárias dos órgãos oficiais para que fossem realizadas normatizações e fiscalizações para garantir a segurança dos doadores e pacientes, logo, um grande número de contaminações ocorriam neste processo (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2015b). Em 1940, foi criada uma Lei federal 1075/50 que incentivou a doação voluntária como um ato solidário, e como forma de retribuição era concedido o abono de um dia de trabalho ao funcionário público, civil ou militar, porém a doação remunerada ainda não era proibida (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2015b). A doação de sangue remunerada no Brasil foi proibida em 1988 com a inclusão do artigo 199 da Constituição Brasileira no qual proíbe toda e qualquer comercialização do sangue, dos seus hemocomponentes e hemoderivados.

Um regulamento técnico sobre um modelo de conformação técnica e administrativa da Hemorrede brasileira é apresentado na Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 151 Anvisa, de 21 de agosto de 2001. Esta resolução estabelece que a Hemorrede Nacional é coordenada, no nível federal, pela Gerência Geral de Sangue, outros Tecidos e Órgãos da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) do Ministério da Saúde, enquanto nos estados e Distrito Federal, pelo gestor do Sistema Único de Saúde (ANVISA, 2001). Além disso, é apresentado neste regulamento a estrutura da Hemorrede brasileira (pública e privada) que é constituída pelos serviços descritos na Tabela 2.2. Nesta tabela, percebe-se que a diferença entre a hemorrede pública e privada concentra-se apenas nos hemocentros coordenadores e hemocentros regionais, pois estes estão presentes exclusivamente na hemorrede pública enquanto que os outros serviços encontram-se tanto nas hemorredes públicas quanto privadas. Além disso, as unidades de coleta e transfusão, unidades de coleta e central de triagem laboratorial são serviços opcionais que dependem da capacidade técnica e operacional de cada estado.

A Coordenação Geral de Sangue e Hemoderivados do Ministério da Saúde (CGSH/

DAHU/ SAS /MS), área responsável pela formulação de políticas públicas para esses serviços, sugere que ocorra uma centralização do laboratório de sorologia em um único hemocentro, geralmente no hemocentro coordenador, com o objetivo de economia de escala, garantia da qualidade e padronização dos processos (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2016). No entanto, cada estado tem a autonomia de adotar as suas particularidades em sua rede de suprimentos sanguíneos (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2016). Já outros estados optam por não ter todos os serviços sugeridos, como é o caso de alguns estados que não possuem um hemocentro coordenador, fazendo com que todos os hemocentros sejam classificados como regionais com o objetivo de evitar conflitos de hierarquia e subordinação entre eles (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2016).

Tabela 2.2 – Classificação e descrição dos tipos de serviços de hemoterapia brasileiros, de acordo com a RDC 151/2001

Tipos de serviços	Descrição	Natureza
Hemocentro Coordenador Atuação central no estado.	Localizada preferencialmente na capital. Referência técnica na área de hematologia/hemoterapia com o objetivo de oferecer suporte técnico à rede de serviços de saúde. Presta serviços de assistência às áreas a que se propõe, de ensino e pesquisa, formação de RH, controle de qualidade suporte técnico, integração das instituições públicas e filantrópicas e apoio técnico à Secretaria de Saúde na formulação da Política de Sangue e Hemoderivados no Estado, de acordo com o Sistema Nacional de Sangue e Hemoderivados (Sinasan).	Pública
Hemocentro Regional Atuação macrorregional no estado.	Coordena e desenvolve as ações estabelecidas na Política de Sangue e Hemoderivados do Estado para uma macro-região de saúde, de forma hierarquizada e acordo com os órgãos reguladores. Pode encaminhar a uma Central de Triagem Laboratorial de Doadores as amostras de sangue para realização dos exames.	Pública
Núcleo de Hemoterapia Hemonúcleo Atuação local ou microrregional.	Desenvolve as ações estabelecidas pela Política de Sangue e Hemoderivados no Estado, de forma hierarquizada e de acordo com o Sinasan. Pode encaminhar a uma Central de Triagem Laboratorial de Doadores as amostras de sangue para realização dos exames.	Pública ou Privada
Unidade de Coleta e Transfusão Atuação local (municípios).	Prestação de serviços hemoterápicos relacionados à coleta e transfusão de sangue, localizada em hospitais ou pequenos municípios, onde a demanda de serviços não justifique a instalação de uma estrutura mais complexa de hemoterapia. Pode processar, ou não, o sangue total e realizar os testes imunohematológicos dos doadores. Deve encaminhar a um serviço de hemoterapia para a realização da triagem laboratorial dos doadores.	Pública ou Privada
Unidade de Coleta Atuação local, unidade fixa (posto de coleta), unidade móvel (veículo de coleta).	Presta serviços hemoterápicos relacionados à coleta de sangue. Responsável por encaminhar o sangue total para processamento e realização dos testes laboratoriais de triagem dos doadores a um serviço de hemoterapia de referência.	Pública ou Privada
Central de Triagem Laboratorial de Doadores Atuação local, regional ou estadual.	Responsável por realizar os exames de triagem laboratorial das doenças infecciosas nas amostras de sangue dos doadores coletadas na própria instituição ou em outras.	Pública ou Privada
Agência Transfusional Atuação intra-hospitalar.	Responsável por armazenar, realizar os testes de compatibilidade entre o doador e receptor, e realizar a transfusão de sangue a partir dos componentes liberados.	Pública ou Privada

Fonte: Agência Nacional de Vigilância Sanitária (2015).

A rede pública da cadeia de suprimento de sangue brasileira pode ser representada a partir de quatro principais etapas: coleta, produção, estoque e distribuição. A Figura 2.4 descreve a visão esquemática da rede em questão.

O doador pode realizar a coleta em unidades móveis ou fixas. Com o objetivo de facilitar

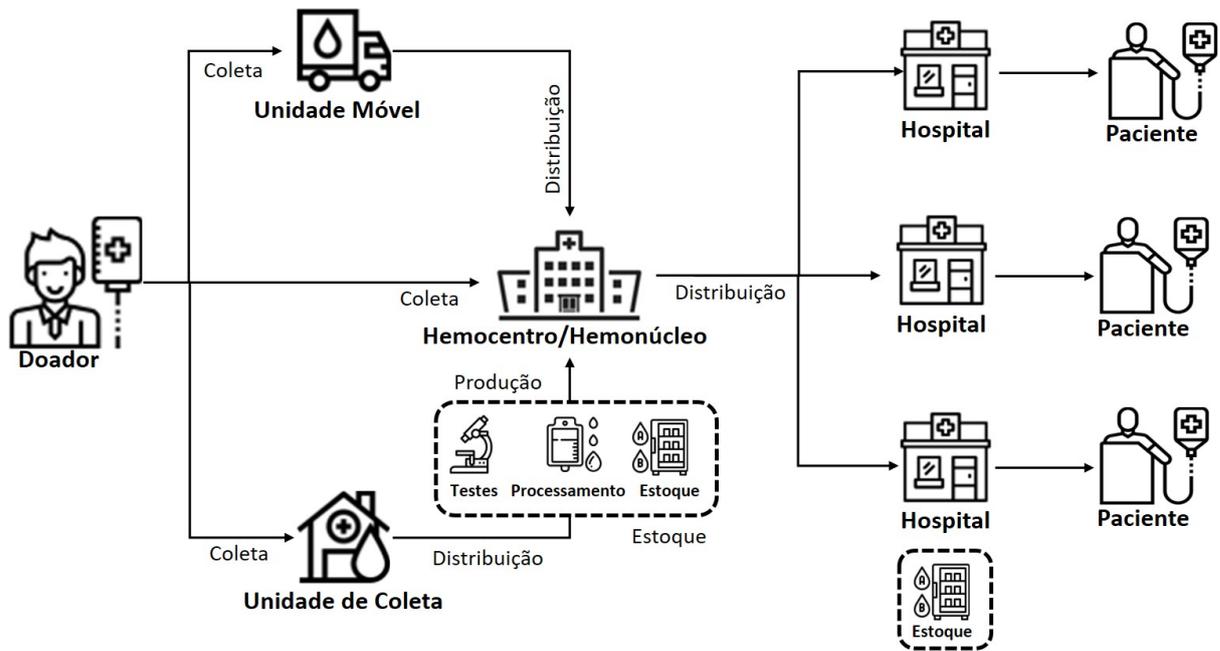


Figura 2.4 – Visão geral da cadeia de suprimento de sangue do sistema público brasileiro

Fonte: Elaborado pelo autor.

o acesso do doador, as unidades móveis são compostas por um veículo dotado de todos os equipamentos necessários e dentro das normas sanitárias para a realização da doação. Normalmente, este tipo de coleta é realizado em municípios ou locais que não tem hemocentros ou bancos de sangue, ou quando é necessário realizar uma maior quantidade de coletas em alguma campanha de doação de sangue (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2016).

As doações em unidades fixas podem ser feitas em unidades de coletas, hemonúcleos e hemocentros. As unidades de coletas estão presentes em regiões populosas, principalmente em grandes regiões metropolitanas, e seu principal objetivo é aumentar a quantidade de coletas realizadas. Elas são responsáveis apenas pela realização da coleta e o posterior encaminhamento das bolsas de sangue para o hemocentro mais próximo. Já os hemocentros e os hemonúcleos realizam as atividades de coleta, produção, estoque e distribuição para os hospitais e agências transfusionais, porém, a diferença entre eles é que os hemonúcleos, atendem apenas uma microrregião enquanto que os hemocentros coordenadores e hemocentros regionais atendem uma macrorregião e abrangem mais atividades como preservação do plasma para envio à indústrias, procedimentos hemoterápicos especiais, e suporte aos pacientes portadores de patologias benignas. Os hemocentros são classificados em coordenador (HC) e regional (HR). Os hemocentros coordenadores normalmente estão localizados na capital do estado e abrigam um laboratório centralizado de sorologia e imunohematologia visando a economia de escala e padronização dos processos. Já os hemocentros regionais são unidades auxiliares dos hemocentros coordenadores e podem possuir ou não o laboratório de testes. Observa-se que esta classificação não é adotada de forma padronizada para todos os estados brasileiros (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2016).

Após a etapa de coleta, os HC, HR ou os hemonúcleos aguardam a solicitação das bolsas

de sangue para que sejam distribuídas/disponibilizadas aos hospitais e agências transfusionais. Cada hospital possui um estoque temporário para atender as necessidades evitando, assim, a escassez de sangue para os pacientes (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2016). Naqueles hospitais em que não existem agências transfusionais, os testes pré-transfusionais e a distribuição dos hemocomponentes são realizados diretamente pelo hemocentro.

2.3 Simulação a eventos discretos

Alguns sistemas do mundo real são complexos demais para serem resolvidos analiticamente (ÓLAFSSON; KIM, 2002). Nesse sentido, a Simulação a Eventos Discretos tem sido uma ferramenta útil para análise do desempenho desses sistemas (LEE et al., 2008), auxiliando os gestores na tomada de decisão.

A simulação a eventos discretos vem sendo utilizada para compreender um sistema real durante um determinado período de tempo, com alterações em suas configurações com o objetivo de representar o funcionamento do sistema real (SANTOS; CAJUI; SILVA, 2020). Dessa forma, enquanto um sistema real em um processo pode ser verificado em anos, a simulação pode verificar e realizar conclusões em questões de segundo, já que geralmente são feitas por meio de uso de computador, utilizando softwares específicos. Com isso, os resultados de vários cenários podem ser comparados, em curto intervalo de tempo, para que se escolha uma melhor opção (HILLIER; LIEBERMAN, 2010) (LAW, 2007). Assim, a simulação a eventos discretos consiste em um tipo de simulação onde é considerado um sistema como uma coleção discreta de eventos onde cada evento terá um efeito definido no resto do sistema.

Na literatura, muitos autores apresentam sistemáticas para o desenvolvimento das etapas de um projeto de simulação (BANKS et al., 2005; LAW, 2007; MONTEVECHI et al., 2010; CHWIF; MEDINA, 2015). A maioria dos projetos de simulação são divididos em três fases: concepção, implementação e análise (PEREIRA, 2014). Na fase de concepção são definidos os objetivos do projeto e é criado o modelo conceitual. Na fase de implementação é desenvolvido o modelo computacional que é implementado a partir de um *software* de simulação. Por fim, a terceira fase é a análise, na qual são avaliados os resultados obtidos e é desenvolvida a documentação e os relatórios do projeto.

Para o desenvolvimento deste estudo será considerado os passos sequências sugeridos por Banks et al. (2005), conforme é mostrado na Figura 2.5. O projeto é iniciado com a formulação do problema estudado, em que é necessário bom entendimento dos processos modelados. Logo após, são definidos os objetivos e o escopo do projeto de maneira a delimitar e esclarecer o que será desenvolvido, garantindo que todos os envolvidos estejam alinhados com o projeto e com o nível de detalhamento que deverá ser considerado.

Em seguida, é elaborado o modelo conceitual em paralelo com a coleta de dados. O modelo conceitual consiste na representação simplificada do sistema real através de relações

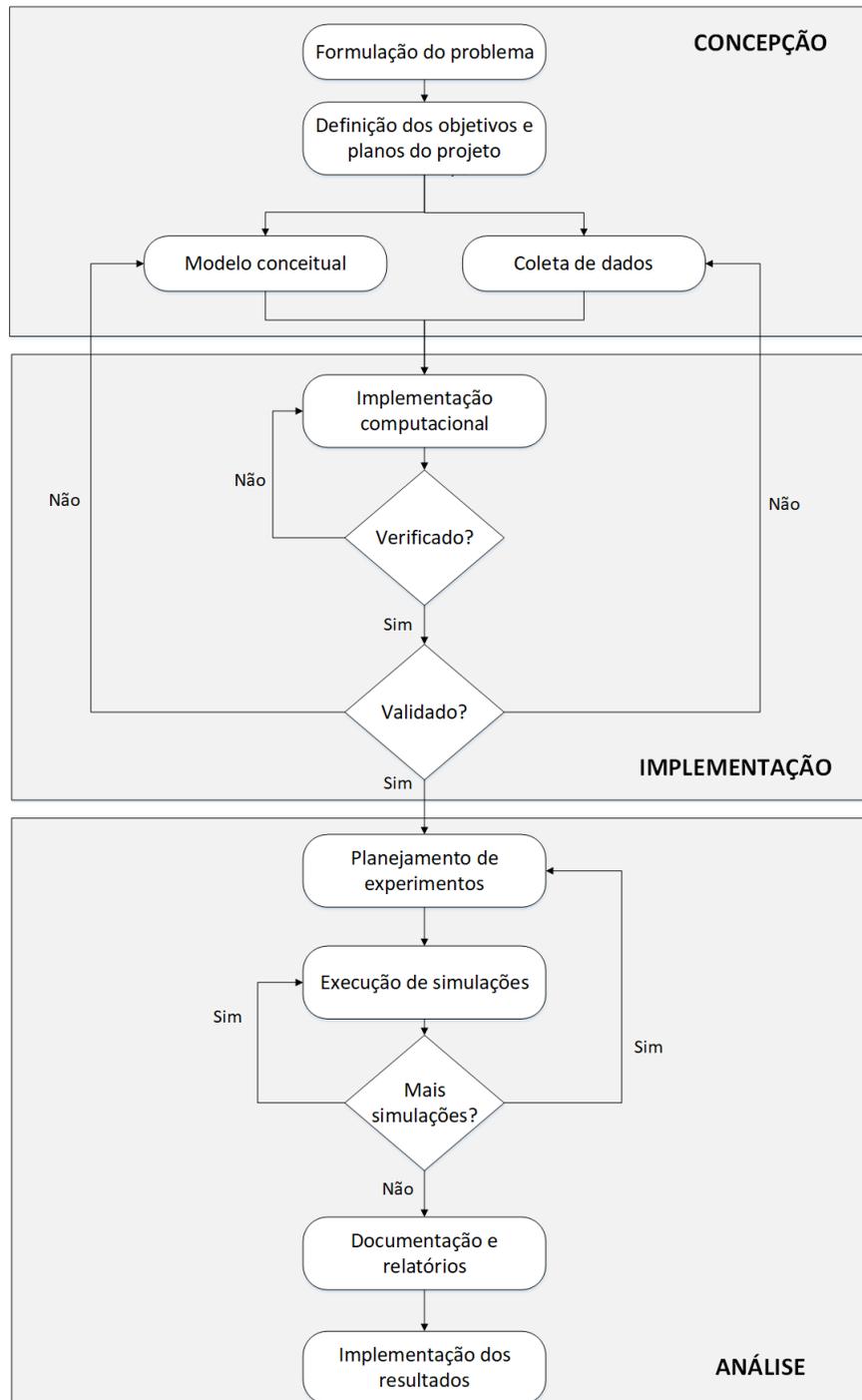


Figura 2.5 – Etapas para um projeto de simulação

Fonte: Adaptado de Banks et al. (2005).

lógicas, formulações matemáticas e mapeamento dos processos. Na etapa de coleta de dados são obtidos todos os dados necessários para o desenvolvimento do projeto. Nessa fase, os dados são coletados, tratados e transformados em informações relevantes para serem implementados no modelo computacional.

Posteriormente, o modelo conceitual é convertido em um modelo computacional utilizando um *software* de simulação para a construção deste modelo. O modelo computacional é

então verificado e validado. Na verificação, é avaliado se o modelo se comporta conforme o que foi projetado. Enquanto que a validação garante que o modelo se comporta de acordo com o sistema real modelado. Se o modelo não for verificado e/ou não for validado, é necessário que retorne as etapas anteriores para que seja realizado as alterações necessárias.

Com o modelo verificado e validado, o planejamento de experimento e a execução das simulações podem ser realizados. Por fim, são emitidas as documentações apresentadas na simulação e os relatórios dos experimentos, com o objetivo de implementar os resultados obtidos.

2.4 Modelos de pesquisa operacional aplicados em cadeias de suprimento de sangue

Diversos são os estudos realizados a fim de disponibilizar estratégias e conteúdos para a melhoria da eficiência do gerenciamento de sangue. Osorio, Brailsford e Smith (2015) observaram que a cadeia de suprimento de sangue vem motivando várias pesquisas abordando diversos tipos de problemas e técnicas desde 1960.

A etapa de coleta de sangue é de extrema importância, dado que nesta etapa inicia-se a cadeia de suprimento sanguínea a partir da obtenção das bolsas de sangue. É necessário prever a demanda para dimensionar os recursos humanos necessários para realizar o atendimento de coleta, além de realizar o planejamento do roteamento de veículos para coletar as bolsas de sangue e encaminhá-las até os centros de processamento, quando necessário. Nesse sentido, Pirabán, Guerrero e Labadie (2019) apresentam diversos tipos de problemas que são estudados na literatura e aplicados neste contexto, sendo eles: determinação da quantidade do sangue total a ser coletada, influência dos métodos de coleta, tamanho de frota para unidades de coletas móveis, frequência e duração da visita de unidades de coleta móveis, previsão da oferta, alocação de pessoal e recursos, dentre outros.

Desta forma, Alfonso et al. (2012) investigam o processo de coleta de sangue na França a partir de unidades de coletas fixas e temporárias visando combinar o planejamento de recursos humanos e fluxo de doadores, de maneira a diminuir o tempo de espera dos doadores e os custos de coleta de sangue. É utilizada a rede de Petri para descrever diferentes processos de coleta de sangue, comportamentos de doadores e requisitos de recursos humanos em conjunto com a simulação de eventos discretos de forma a considerar os elementos estocásticos como chegadas e tempo de processamento.

Já Osorio, Brailsford e Smith (2018) apresentam um modelo de programação linear inteira estocástica e multi-objetivo que considera a coleta de sangue total e por aférese para vários hemocomponentes e diferentes tecnologias para a produção. O objetivo do modelo é minimizar os custos totais e determinar o número de doadores necessários. O método de aproximação média da amostra também é considerado para resolver o problema. O modelo é aplicado em dados reais

de oferta e demanda de doadores da cidade de Bogotá, Colômbia.

Na pesquisa de Özener e Ekici (2018) é apresentado um estudo sobre o problema de coleta de sangue, que consiste no uso de uma frota de veículos responsável por encaminhar as bolsas de sangue dos locais de coleta para um centro de processamento centralizado. É utilizado a programação linear inteira mista em conjunto com quatro diferentes heurísticas com o objetivo é maximar a quantidade de sangue coletada a partir de um agrupamento de locais (*cluster*) no qual apenas um veículos é responsável pelo atendimento de cada agrupamento.

Por fim, Soares et al. (2020) desenvolvem um modelo markoviano de decisão para avaliar a possibilidade do aumento de coletas externas como forma de completar as doações feitas nos hemocentros. O objetivo é minimizar o descartes de bolsas de sangue, os níveis de escassez e os custos gerais com coleta interna e externa, armazenamento, produção, transporte.

A etapa de produção ocorre logo após a coleta, sendo nesta etapa realizados os testes e fracionamento do sangue em seus hemocomponentes. Em seguida, os hemocomponentes são encaminhados para a etapa de estoque, na qual é realizado o armazenamento e a gestão dos hemocomponentes. Nesta etapa, os descartes podem ser evitados ou minimizados utilizando técnicas para determinar as quantidades ótimas de hemocomponentes. Segundo Pirabán, Guerrero e Labadie (2019), a etapa de produção é uma das menos estudadas na literatura enquanto a etapa de estoque é a etapa mais abordada em estudos na cadeia de suprimentos sanguínea.

Muitas das pesquisas que são feitas na etapa de produção acabam por serem realizadas em conjunto com as pesquisas da etapa de estoque, como é o caso de Haijema et al. (2009) e Dijk et al. (2009) que estudam o gerenciamento da produção e do estoque de plaquetas utilizando modelos de programação dinâmica estocásticas combinada com um modelo de simulação. O primeiro artigo inclui a questão de pausas nas doações de sangue, como por exemplo no Natal, Ano Novo e Páscoa, fornece regras de pedidos e práticas com bons resultados. Já o segundo artigo, analisa um banco de sangue holandês no qual mostra que regras de pedidos simples também podem fornecer bons resultados.

Um estudo direcionado apenas para a etapa de produção é realizado por Osorio et al. (2017) utilizando um modelo de otimização via simulação, focado no planejamento da produção na cadeia de suprimento de sangue a partir da integração da simulação a eventos discretos com a programação linear inteira. O modelo de programação linear calcula a quantidade ideal de doadores por dia, por grupo sanguíneo e método de coleta, enquanto a simulação a eventos discretos incorpora a incerteza na oferta e na demanda, com bases nas distribuições de probabilidade. Este modelo tem o objetivo de auxiliar nas decisões estratégicas e operacionais de um hemocentro na Colômbia, reduzindo os índices de escassez, desperdícios e custos.

Estudo direcionado para a etapa de estoque pode ser encontrado em Jennings (1973) em que é descrito o comportamento da cadeia de suprimento e identificado as três principais medidas de desempenho: escassez, desperdício e custo de informação e transporte. Em seu estudo, ele

avalia o efeito de várias políticas de estoque a partir de um modelo realista de inventário e avalia, via simulação, os efeitos destas diferentes políticas de estoque em um hospital. Já o estudo de Vrat e Khan (1976) propõe um modelo de simulação que avalia os efeitos de diferentes níveis de estoque na escassez e no desperdício, causado pelo vencimento do sangue em um hospital. Esse modelo considera a previsão de demanda e não é avaliada a possibilidade de substituição de um grupo sanguíneo por outro compatível.

No estudo feito por Dillon, Oliveira e Abbasi (2017) é utilizado um modelo de programação estocástica de dois estágios para definir políticas de revisão periódica ideais para o gerenciamento do estoque de concentrado de hemácia com o objetivo de minimizar os custos operacionais, escassez e desperdício. Um estudo de caso é realizado para validar o modelo proposto.

Já Magalhães (2018) propõe um modelo de simulação a eventos discretos para representar o sistema de suprimento de sangue para hospitais e um modelo de otimização via simulação que prevê os níveis mínimos de estoque necessários a partir de níveis aceitáveis de perdas e ruptura de estoque. Por fim, em um dos recentes estudos, Rajendran e Ravindran (2019) utilizam um modelo de programação inteira estocástica sob incerteza de demanda para otimizar o nível de estoque de plaquetas em hospitais e unidades de saúde da Índia, minimizando o desperdício e a escassez. Para problemas de grande porte, o Algoritmo Genético Estocástico Modificado (*Modified Stochastic Genetic Algorithm*) é utilizado.

Por fim, Dehghani, Abbasi e Oliveira (2021) realizam um estudo da cadeia de suprimento sanguínea considerando a política de transbordo pró-ativo com o objetivo de minimizar o custo total, os desperdícios e as rupturas nos estoques. Essa política consiste em decidir no instante em que os hospitais realizam as solicitações dos seus pedidos se haverá a reposição através do transbordo das bolsas entre os hospitais da rede ou através do envio das bolsas de um banco de sangue. A programação estocástica em dois estágios é utilizada para calcular o tamanho do pedido ideal e a quantidade de bolsas de sangue para transbordo para cada hospital. Ao final do estudo, observou-se redução significativa de custos, desperdícios e escassezes com o uso da política de transbordo pró-ativo.

Após a etapa de estoque, é necessário realizar a distribuição dos produtos sanguíneos, para os hospitais e agências transfusionais. Dentro dessa perspectiva, Kendall e Lee (1980) avaliam a redistribuição sistemática de unidade de sangue dentro de uma determinada região utilizando programação por metas. Esta redistribuição geralmente ocorre a partir de hospitais que possuem uma menor probabilidade de transfusão para hospitais com maior probabilidade de transfusão. Os resultados mostraram que melhorias no desempenho de vários critérios foram alcançadas.

Yu et al. (2018) estudam um problema de roteamento de coleta de sangue com janela de tempo, com o objetivo de otimizar as rotas de coleta de sangue utilizando a heurística *Simulated Annealing*. O banco de sangue envia um veículo para os locais de coleta e este veículo retorna para

o banco de sangue, respeitando a perecibilidade sanguínea, para que seja feito o processamento. Já Jafarkhan e Yaghoubi (2018) avaliam a distribuição apenas dos concentrados de hemácias para hospitais utilizando otimização robusta, considerando a demanda e oferta incertas e a possibilidade de flexibilidade de transbordo (compartilhamento de estoque entre hospitais) e a substituição de um tipo sanguíneo por outro compatível.

Dharmaraja, Narang e Jain (2019) realizam um trabalho similar ao de Kendall e Lee (1980). Neste estudo, é avaliada a possibilidade de transferência de sangue de um banco de sangue com excesso para um banco de sangue em escassez. Ele utiliza um modelo matemático baseado em três etapas. A primeira etapa tem objetivo de prever qual a demanda de unidades de sangue em cada banco. A segunda etapa consiste em determinar a quantidade ideal de unidades de sangue que precisam ser supridas de um banco de sangue com excesso para um com escassez de maneira que o custo total seja mínimo. Por fim, a terceira etapa consiste em determinar a rota ideal para a entrega dessas unidades de sangue. O modelo proposto trabalha com o sangue total, e não com seus hemocomponentes.

Outro tipo de pesquisa realizada na literatura analisa sistemas regionais de distribuição de sangue, em que hemocentros regionais são responsáveis pelo abastecimento dos estoques nos hospitais, de maneira a evitar possíveis escassez e vencimento para um uso mais eficiente dos recursos. Beliën e Forcé (2012) classificam a cadeia de suprimento de sangue em três níveis hierárquicos: (i) hospitalar individual, (ii) sistema regional de um hemocentro, (ii) cadeia de suprimentos como um todo.

Ainda são poucos os estudos que abordam a integração total da cadeia de suprimento de sangue (PIRABÁN; GUERRERO; LABADIE, 2019). Contudo, muitos trabalhos começam a ser desenvolvidos levando em consideração todas as etapas da cadeia de suprimento. Essa integração pode auxiliar na identificação de gargalos e na avaliação de diferentes políticas através de todo o sistema.

Gregor, Forthofer e Kapadia (1982) desenvolveram um modelo de simulação para avaliar os custos e efeitos de diferentes políticas operacionais em um sistema regional de distribuição de sangue. Experimentos considerando alteração da quantidade de sangue disponível, na quantidade de veículos de entrega e do tipo de política de estoque e transporte adotados foram realizados. Em outro estudo realizado, Sapountzis (1984) formulou um problema de programação inteira para alocar unidades de sangue do serviço regional de transfusão de sangue para os hospitais da região levando em consideração a característica de cada hospital e das demandas. O objetivo do estudo é minimizar o número total de unidades de sangue vencidas, o que foi alcançado com os resultados finais.

Or e Pierskalla (1979) e Pierskalla (2005) apresentam uma visão geral da cadeia de suprimento de sangue e descreve vários modelos de decisões estratégicas, no qual determinam a quantidade de hemocentros e às suas localizações, designam as áreas de doadores e os centros de transfusão sanguínea para centros de sangue comunitários. Além disso, os modelos desenvol-

vidos retratam as questões táticas e operacionais, abordando os níveis de estoque dos produtos sanguíneos, o gerenciamento do estoque, a distribuição do sangue para os hospitais, alocação de sangue para hospitais, roteamento de veículos de entrega, dentre outros.

Já Ryttilä e Spens (2006) utilizam a simulação a eventos discretos com o objetivo de aumentar a eficiência do uso de recursos escassos em uma cadeia de suprimento de sangue localizada na Finlândia. Diferentes aspectos da cadeia de suprimento são considerados neste modelo, como a questão da compatibilidade, integração entre hospitais e hemocentros e períodos de autorização do *cross-match* (exame que verifica a compatibilidade sanguínea entre o doador e o paciente). A experiência médica é levada em consideração para a validação do modelo.

Katsaliaki e Brailsford (2007) estudam a integração de toda a cadeia de suprimento do Reino Unido através da modelagem das etapas de coleta, produção, estoque e distribuição. A simulação de eventos discretos é usada para determinar políticas de pedido, com o objetivo de reduzir a escassez, desperdícios e custos e melhorar os níveis de serviços e procedimentos de segurança.

Arvan, Tavakkoli-Moghaddam e Abdollahi (2015) apresentam um problema de localização e alocação em uma rede de suprimento de sangue. A análise é realizada nos quatro níveis da cadeia de suprimento (unidades de coleta, laboratórios de testes e de processamento, bancos de sangue e pontos de demanda). O principal objetivo é determinar os locais das unidades de coletas e dos bancos centrais de sangue e decidir a quantidade de produtos sanguíneos que será enviado entre as instalações.

Um problema integrado da cadeia de suprimento de plaquetas também pode ser visto em Ensafian e Yaghoubi (2017), onde a cadeia é retratada pelas etapas de coleta, produção e distribuição utilizando uma abordagem de otimização robusta para lidar com a incerteza da demanda. Neste estudo, tanto o método de coleta por aférese quanto o método de coleta tradicional são considerados. As políticas de estoque FIFO e LIFO são utilizadas com o objetivo de minimizar o custo total e maximizar a quantidade de plaquetas com menor tempo de vida útil.

Outro estudo que aborda um problema integrado foi desenvolvido por Hendalianpour (2018) utilizando um modelo de otimização robusta. Esse estudo foi desenvolvido para avaliar cadeias de suprimento de produtos perecíveis genéricas. Entretanto, o modelo foi aplicado em uma cadeia de suprimentos de sangue, passando pelas etapas de produção, estoque e roteamento de veículos e considerando a possibilidade de transferência de produtos entre hospitais como meio de lidar com a incerteza na demanda. Para validar seu algoritmo, uma base de dados reais de um hospital iraniano no qual se considera apenas as plaquetas é utilizada.

Hamdan e Diabat (2019) também realizam um estudo considerando a integração da cadeia de suprimento sanguínea, no qual é proposto um modelo matemático estocástico de dois estágios. Esse modelo considera decisões de localização, distribuição, dimensionamento do estoque e da quantidade de coletas a serem realizadas. Nesse estudo, é avaliada a cadeia de suprimento de

sangue do concentrado de hemácia com o objetivo de minimizar os custos totais da cadeia de suprimento, os tempos de entrega das bolsas de sangue e o desperdício das bolsas de sangue em estoque. O método ϵ - restrito é aplicado para resolução do modelo proposto e um estudo de caso real é realizado.

Já Kaya e Ozkok (2018) e Kaya e Ozkok (2020) analisam uma cadeia de suprimento de sangue considerando os três níveis de planejamento: operacional, tático e estratégico. No nível estratégico é definido o número e a localização ideal dos centros de distribuição, já no nível tático são definidos todos os varejistas alocados em cada centro de distribuição e os níveis de estoque de cada centro de distribuição, e, por fim, no nível operacional é definido diariamente e semanalmente as rotas de transporte.

Por último, Arani et al. (2021) avaliam uma cadeia integrada de sangue a partir do conceito de ressuprimento lateral, considerando quatro níveis: doadores, centros de coleta de sangue, hemocentros e hospitais. Esse conceito consiste em um sistema de estoque integrado que compartilha os níveis de estoque entre os hospitais, tornando-se possível um hospital atingir sua demanda a partir do estoque de outro hospital. É utilizado um modelo multi-objetivo de programação linear inteira mista com o objetivo de minimizar os custos ambientais, sociais e logísticos. Esse problema foi tratado utilizando programação por metas e possibilitou uma melhora nos indicadores de desempenho da rede sanguínea.

De acordo com Samani, Torabi e Hosseini-Motlagh (2018), com o aumento do número de desastres naturais ocorridos nos últimos anos, o gerenciamento de desastres vem sendo um campo de pesquisa amplamente estudado. Logo, um desafio para os pesquisadores desta área é desenvolver modelos de decisão de planejamento integrados a fim de diminuir os danos causados (SAMANI; TORABI; HOSSEINI-MOTLAGH, 2018). Um desses estudos é desenvolvido por Jabbarzadeh, Fahimnia e Seuring (2014) no qual é projetada uma cadeia de suprimento de sangue durante e após um desastre. É definida a quantidade de instalações permanentes e temporárias, alocação de doadores à estas instalações, quantidade de sangue a serem coletadas e quantidade de estoque.

Fahimnia et al. (2017) apresentam um modelo estocástico bi-objetivo que visa minimizar os custos totais e o tempo total de entrega para o suprimento emergencial de sangue em casos de desastres. Além disso, é utilizada uma abordagem híbrida com base em métodos ϵ - restrito e relaxação lagrangiana para resolver o modelo.

Glasgow et al. (2018) avaliam os níveis de suprimento de sangue nos hospitais durante um evento de acidente em massa utilizando a simulação a eventos discretos considerando diferentes estratégias de gerenciamento dos concentrado de hemácias. Em outro trabalho realizado sob esta perspectiva, Samani, Torabi e Hosseini-Motlagh (2018) investigam o problema de uma rede integrada da cadeia de suprimento de sangue utilizando uma abordagem híbrida baseada em programação estocástica em dois estágios e programação possibilística. O problema abordado possui mais de um objetivo no qual se deseja minimizar: o custo total, as demandas máximas não

atendidas e o tempo entre a disponibilidade dos derivados de sangue nos hemocentros regionais até o período de uso nos pontos de demanda. Dados reais foram utilizados para a validação do modelo.

3 O Estudo de Caso

Neste capítulo é apresentado o estudo de caso na Hemorrede de Santa Catarina. Inicialmente são apresentados uma contextualização sobre o funcionamento da HEMOSC e os dados utilizados nessa pesquisa.

Este trabalho foi avaliado por uma comissão científica da HEMOSC a qual autorizou o desenvolvimento da pesquisa e a coleta de dados. Essa autorização encontra-se no Anexo A.

3.1 Hemorrede de Santa Catarina

A Hemorrede de Santa Catarina (HEMOSC) é responsável por coordenar todos os serviços de hemoterapia que compõem a hemorrede pública do estado, sendo responsável pelo atendimento de 98,2% de toda a rede hemoterápica (HEMOSC, 2019).

A HEMOSC possui um hemocentro coordenador que está localizado na capital, Florianópolis (FLN), além de outros seis hemocentros regionais localizados em: Lages (LGS), Joaçaba (JBA), Chapecó (CCO), Criciúma (CUA), Joinville (JVE) e Blumenau (BNU). A HEMOSC possui também duas unidades de coletas em Jaraguá do Sul e Tubarão, e oito agências transfusionais localizadas em hospitais da rede pública vinculados ao hemocentro coordenador e aos hemocentros regionais. Além disso, a hemorrede possui ambulatórios que estão localizados dentro dos hemocentros, compondo dessa maneira a hemorrede pública do estado de SC (HEMOSC, 2020). Todas estas unidades de saúde estão localizadas em macrorregiões estratégicas de maneira a atender todas as regiões do estado.

Alguns hospitais da rede privada também são conveniados ao HEMOSC através de contratos de prestação de serviços hemoterápicos. Os hospitais que possuem agências transfusionais são classificados como Tipo I, enquanto que os que não possuem são classificados como Tipo II (HEMOSC, 2020). Para os hospitais conveniados Tipo I, a HEMOSC se compromete a fornecer o sangue e seus hemocomponentes, de acordo com a sua disponibilidade, a realizar os testes complementares necessários e a orientar sobre as normas técnicas dos procedimentos. Em contrapartida, os hospitais Tipo I são responsáveis pela gestão do estoque e pelos procedimentos pré-transfusionais e transfusionais, de acordo com a legislação vigente. Já para os hospitais conveniados Tipo II, a HEMOSC disponibiliza o sangue e seus hemocomponentes, de acordo com a sua disponibilidade, realiza todos os testes necessários, inclusive os testes pré-transfusionais, e orienta sobre as normas técnicas e regulamentos vigentes. Os hospitais Tipo II, por sua vez, ficam responsáveis pelos procedimentos transfusionais, conforme a legislação vigente. A Figura 3.1 representa a rede hemoterápica da HEMOSC.

Além do atendimento às agências transfusionais e aos hospitais conveniados Tipo I e

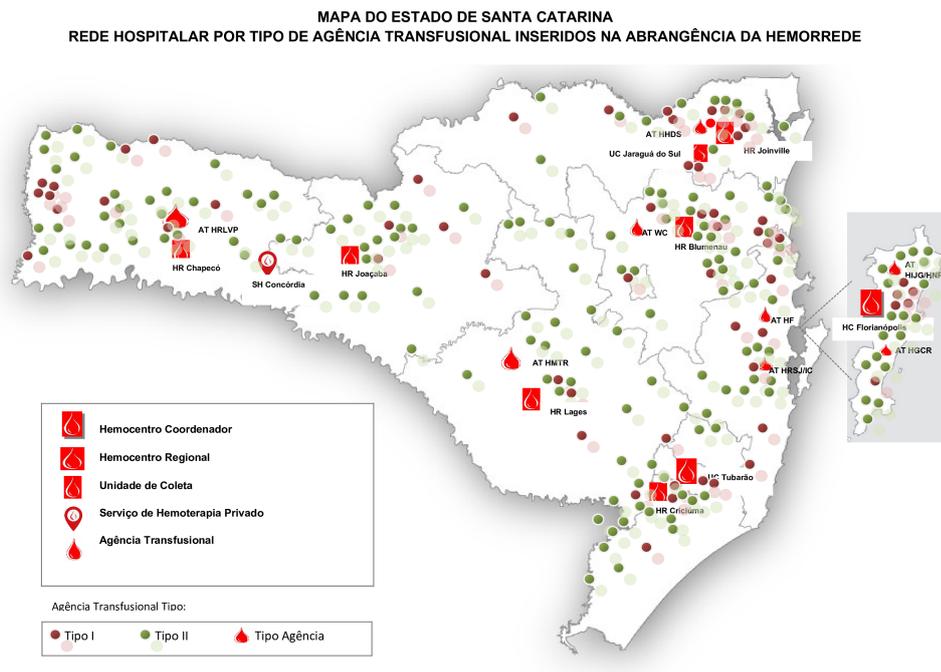


Figura 3.1 – Rede Hemoterápica do Hemocentro de SC

Fonte: HEMOSC (2019).

Tipo II, a HEMOSC também realiza o atendimento aos ambulatórios que pertencem a sua rede. Esses ambulatórios são responsáveis por realizar consultas e procedimentos em pacientes que possuem alguma doença hematológica. Nesse caso, se o médico identificar a necessidade de transfusão sanguínea e o paciente apresentar boas condições clínicas a transfusão sanguínea é feita no próprio ambulatório, sendo desnecessário a internação do paciente em um hospital.

Os hemocentros funcionam a partir de um fluxo que inicia com a doação do sangue e finaliza com o envio das bolsas de sangue, processadas, para as agências transfusionais, ambulatórios e hospitais conveniados. O hemocentro coordenador de Florianópolis é o único dos hemocentros que realiza todas as etapas da cadeia de suprimento sanguínea: coleta, produção (fracionamento e testes), estoque e distribuição.

O fluxo do hemocentro coordenador é iniciado com a chegada do doador ao hemocentro, que ocorre de forma voluntária e aleatória durante os dias de semana. Esse doador passa por um cadastro e por uma triagem clínica para certificar que atende todos os requisitos necessários para a doação. Se não atender a todos os requisitos, ele é convidado a retornar em outro momento, enquanto que se estiver apto é encaminhado para a coleta de sangue. Durante a doação, são recolhidos entre 405ml e 495ml de sangue e também são coletadas amostras de sangue que serão utilizadas para a realização dos testes. Após a doação, o doador é encaminhado para realizar a hidratação e alimentação, e, em seguida, é liberado para retornar as suas atividades normais.

Enquanto isso, as amostras e a bolsa de sangue são encaminhadas para os laboratórios. No laboratório de testes, são realizados três tipos de testes: sorológico, imuno-hematológico e hemoglobina S. O teste sorológico é realizado para diagnóstico de infecção por hepatite B e C, HIV, sífilis, chagas e HTLV. Além disso, o teste de ácido nucléico (NAT), utilizado para identificar o antígeno viral do HIV e das hepatites B e C, é realizado como um teste complementar dos testes sorológicos. Já o teste imuno-hematológico é utilizado para a identificação de anticorpos irregulares e para a determinação do tipo sanguíneo ABO e o fator Rh. Por fim, o teste de hemoglobina S é utilizado para verificar se existe alguma anomalia na hemoglobina.

O hemocentro coordenador é o único responsável pela realização dos testes de toda a rede sanguínea, uma vez que o laboratório de teste é centralizado. Desta forma, todos os dias, uma empresa terceirizada realiza as coletas das amostras nos hemocentros regionais a partir de três rotas (Rotas 1, 2 e 3), conforme é apresentado na Figura 3.2. Vale ressaltar que essa empresa terceirizada utiliza rotas pré-estabelecidas e não realiza o transporte exclusivo das bolsas de sangue para a HEMOSC. Estas amostras chegam em lotes em Florianópolis em vários horários distintos, sendo então processadas de acordo com a ordem de chegada ao laboratório. Além das amostras provenientes da rede da HEMOSC, o laboratório de teste também realiza o teste NAT nas amostras provenientes do Rio Grande do Sul.



Figura 3.2 – Rotas de coleta das amostras e envio das bolsas de sangue das UC

Fonte: Elaborado pelo autor.

Enquanto esses testes são realizados, os componentes permanecem armazenados temporariamente, em quarentena, em suas respectivas temperaturas. Após o resultado dos testes, as equipes responsáveis por cada um dos testes no hemocentro coordenador insere todos os resultados no sistema para que todos os hemocentros regionais tenham acesso a estes resultados. Desta forma, tanto o hemocentro coordenador quanto os hemocentros regionais, realizam o

descarte das bolsas que não foram aprovadas, enquanto que as restantes são autorizadas a saírem da quarentena.

Paralelamente aos testes, acontece o fracionamento do sangue. Após a coleta, a bolsa de sangue aguarda um período entre 1 e 2 horas para que resfrie e, assim, seja possível realizar o seu fracionamento. Passado o período de resfriamento é realizado o fracionamento do sangue, ou seja, a bolsa de sangue é transformada em seus hemocomponentes: concentrado de hemácias, plasma fresco congelado, concentrado de plaquetas e crioprecipitado. Nesse processo são utilizados principalmente equipamentos de centrífugas, extratores e freezers. As centrífugas são utilizadas para a separação dos hemocomponentes, enquanto que os extratores e freezers são utilizados para retirada e armazenamento dos hemocomponentes, respectivamente. O concentrado de hemácia é obtido através da centrifugação da bolsa de sangue total, com remoção da maior parte do plasma. Já o plasma fresco congelado também é obtido através da centrifugação de uma bolsa de sangue total, porém, é necessário que seja feito o seu congelamento total em até 8 horas após a coleta. O concentrado de plaqueta é obtido através de sucessivas centrifugações da bolsa de sangue total. Por fim, o crioprecipitado é obtido descongelando uma unidade de plasma fresco congelado entre 2°C e 6°C para que depois seja recuperado o precipitado insolúvel que fica depositado no fundo da bolsa (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2015a).

Antes de serem encaminhadas ao estoque, algumas bolsas de concentrados de hemácias passam por alguns procedimentos especiais, com o objetivo de aumentar a segurança transfusional para o paciente. Um desses procedimentos é a filtração dos leucócitos, que ocorre em aproximadamente 20% dos casos. Este processo tem o objetivo de remover os leucócitos das bolsas para reduzir as reações transfusionais. Também pode ser feito o procedimento de irradiação, que ocorre após o procedimento de filtração. Esse procedimento acontece em aproximadamente 10% das bolsas filtradas, e tem como objetivo inativar os linfócitos da doação para evitar uma reação rara, mas fatal, conhecida como doença enxerto-versus-hospedeiro associada a transfusão que ocorre em pacientes com deficiência imunológica. O equipamento que realiza este procedimento fica localizado apenas em Florianópolis, assim, os hemocentros regionais enviam algumas bolsas de sangue filtradas para que o hemocentro coordenador realize a irradiação. O envio dessas bolsas pode ocorrer através da empresa terceirizada, que transporta as amostras de sangue a partir das três rotas mencionadas (Figura 3.2), ou através de algumas linhas de ônibus. Os hemocentros regionais são abastecidos posteriormente, pelo hemocentro coordenador, de acordo com o nível do seu estoque. Por fim, o último procedimento que pode ser realizado é o aliquotagem. Este procedimento acontece na maioria das vezes após a filtração e irradiação devido a necessidade de segurança transfusional ainda mais rígida, já que é utilizado para produzir bolsas de sangue de volumes menores para serem usados em bebês e crianças. No entanto, a aliquotagem pode ser realizada sem a necessidade de passar pelos procedimentos anteriormente descritos. Este procedimento ocorre em aproximadamente 7% das bolsas filtradas e irradiadas. Vale mencionar que todos os equipamentos utilizados para estes procedimentos são diferentes daqueles utilizados nos testes e fracionamento.

Após a realização destes procedimentos as bolsas de CH são encaminhadas para o estoque. No estoque, é verificada toda segunda-feira se há bolsas de sangue próximas do vencimento, se sim, é realizado o descarte destas bolsas. Feito isso, o hemocentro aguarda as solicitações dos pedidos das AT, ambulatorios e hospitais conveniados Tipo I e Tipo II para que sejam encaminhadas as bolsas de sangue.

Para realizar o atendimento das agências transfusionais, dos ambulatorios e dos hospitais conveniados Tipo I e Tipo II, a HEMOSC realiza o atendimento de duas maneiras diferentes. A primeira considera o atendimento da demanda das agências transfusionais, ambulatorios e hospitais conveniados Tipo II. Como as AT e os hospitais conveniados Tipo II não possuem um estoque de bolsas de sangue, a HEMOSC fornece essas bolsas de sangue já prontas para serem transfundidas aos pacientes. Com isso, torna-se possível a substituição de alguma bolsa de sangue em falta por uma outra compatível, já que a gestão do estoque é feita pela HEMOSC. No caso dos ambulatorios, essa substituição também pode ser realizada uma vez que o seu atendimento é realizado utilizando o estoque do próprio hemocentro. A segunda forma de atendimento da demanda considera o atendimento para os hospitais conveniados Tipo I. Nesse tipo de atendimento não são realizadas as substituições de um tipo sanguíneo por outro, pois é de responsabilidade dos hospitais a gestão dos seus estoques. O fluxograma dos processos que ocorrem no hemocentro coordenador pode ser visto na Figura 3.3. O fluxograma apresentado na Figura 3.3, bem como os fluxogramas dos processos dos demais hemocentros, foram validados pela profissional responsável pela Divisão de Produção da HEMOSC.

O funcionamento dos hemocentros regionais possui similaridades com relação ao funcionamento do hemocentro coordenador, principalmente em relação aos procedimentos de coleta, fracionamento, estoque e distribuição. Contudo, cada hemocentro possui algumas particularidades, já que nem todos realizam todos os processos da cadeia de suprimento sanguínea.

O hemocentro de Joaçaba, por exemplo, é o único que não realiza o fracionamento das suas bolsas de sangue, sendo o hemocentro de Chapecó responsável pelo fracionamento dessas bolsas. Assim, o hemocentro de Joaçaba realiza o mesmo procedimento que o hemocentro coordenador, com relação a coleta das bolsas de sangue. Porém, após a coleta, as bolsas ficam armazenadas em seus respectivos freezers aguardando o envio para Chapecó, enquanto que as amostras são enviadas diariamente para o hemocentro coordenador. As bolsas armazenadas, são enviadas duas vezes por semana (terça-feira e quinta-feira) para Chapecó por meio de uma empresa terceirizada. Contudo, a empresa não possui uma rota direta entre Joaçaba e Chapecó, sendo necessário que as bolsas sejam enviadas de Joaçaba para Lages, junto com as amostras, para que depois sejam transportadas de Lages para Chapecó, conforme é mostrado na Figura 3.2. O hemocentro de Joaçaba possui um estoque de bolsas de sangue por tipo sanguíneo, como ele não fraciona suas bolsas de sangue, este estoque é reabastecido a partir dos outros hemocentros quando necessário, sendo o hemocentro de Chapecó responsável pela maior parte das transferências dos estoques. Os processos de gestão do estoque e atendimento da demanda acontecem da mesma maneira que

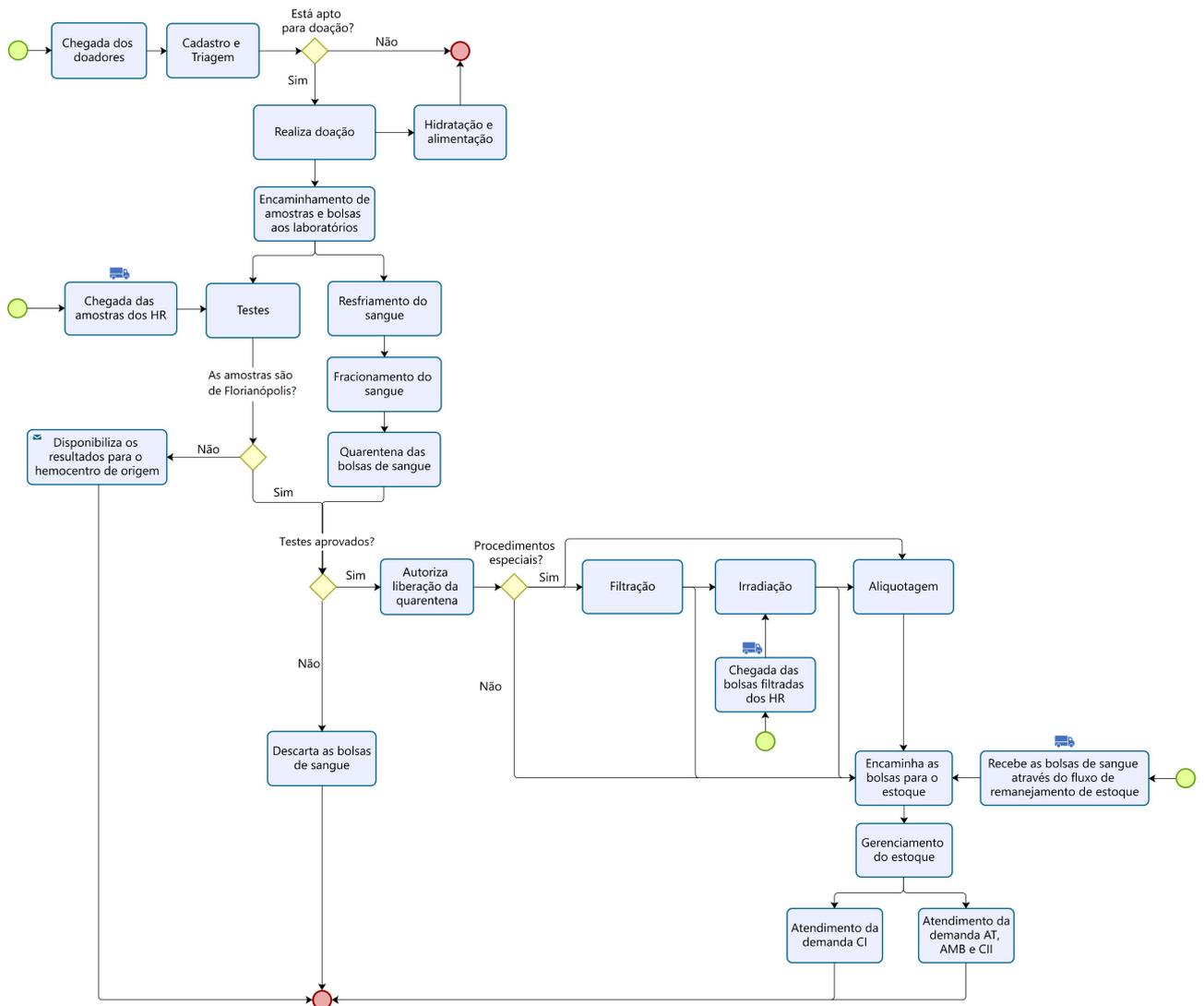


Figura 3.3 – Fluxograma do hemocentro coordenador de Florianópolis

Fonte: Elaborado pelo autor.

o hemocentro coordenador.

Já o hemocentro de Chapecó realiza os mesmos procedimentos que o hemocentro coordenador em relação a coleta, fracionamento, estoque e distribuição. Porém, além das bolsas fracionadas a partir das coletas feitas em seu hemocentro, também fraciona as bolsas coletadas em Joaçaba, as quais chegam duas vezes na semana (quarta-feira e sexta-feira). Além disso, as amostras das bolsas de sangue são enviadas diariamente para o hemocentro coordenador após a realização das coletas. As Figuras 3.4 e 3.5 mostram o fluxograma do hemocentro de Joaçaba e Chapecó, respectivamente.

Os hemocentros de Criciúma e Joinville possuem unidades de coletas vinculadas a eles. A unidade de coleta localizada em Tubarão é vinculada ao hemocentro de Criciúma, enquanto que a unidade de coleta localizada em Jaraguá do Sul é vinculada ao hemocentro de Joinville. Nessas unidades de coleta, as coletas são realizadas no período da manhã e as bolsas e amostras

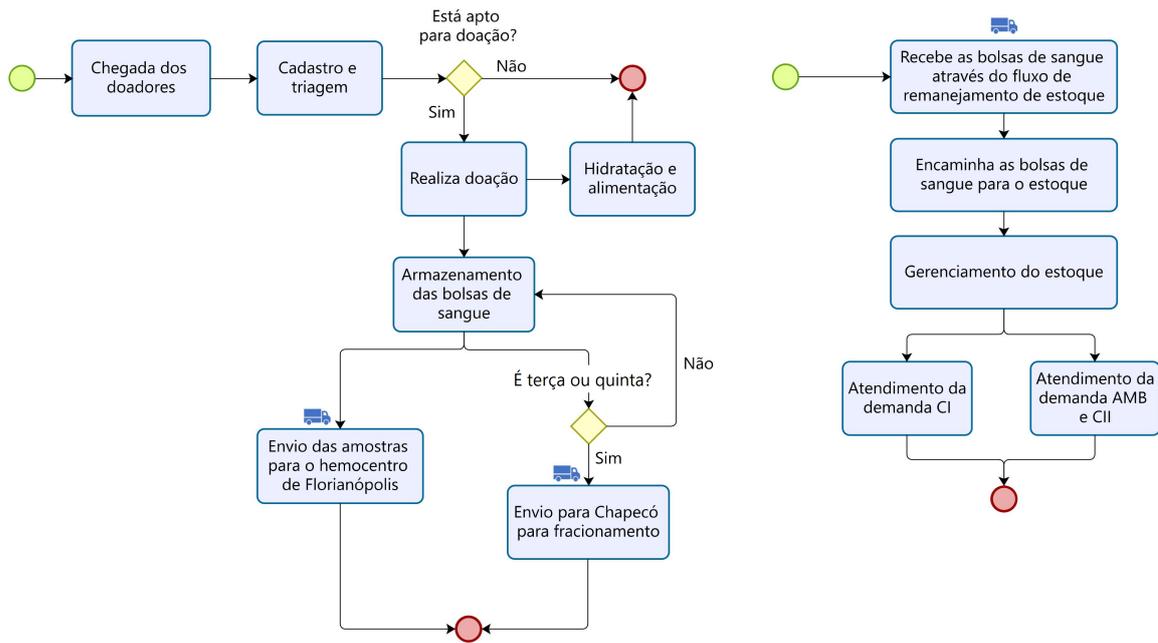


Figura 3.4 – Fluxograma do hemocentro regional de Joaçaba

Fonte: Elaborado pelo autor.

coletadas são enviadas diariamente para os seus respectivos hemocentros utilizando as rotas UC-HR mostradas na Figura 3.2. Portanto, além das bolsas coletadas nos hemocentros regionais, estes hemocentros também recebem as bolsas que são coletadas em suas unidades de coleta. Após a coleta das bolsas de sangue e do recebimento das bolsas de sangue coletadas nas unidades de coletas, esses hemocentros realizam os mesmos procedimentos de fracionamento, envio das amostras, gestão do estoque e atendimento da demanda. A Figura 3.6 apresenta o fluxo dos processos que ocorrem nestes dois hemocentros.

Por fim, os hemocentros regionais de Lages e Blumenau realizam as atividades de coleta, fracionamento, estoque e distribuição da mesma forma que o hemocentro coordenador, sem apresentar nenhuma particularidade. A Figura 3.7 mostra o fluxograma dos dois hemocentros.

Para realizar o atendimento de todas as demandas, a HEMOSC realiza o gerenciamento da sua rede de forma harmonizada, garantindo que todos os seus hemocentros compartilhem os estoques quando necessário. Desta forma, todos os dias são verificados os estoques totais por tipo sanguíneo de toda a rede, ou seja, o estoque consolidado por tipo sanguíneo de todos os hemocentros. Se algum tipo sanguíneo apresentar um estoque abaixo do ideal, é realizada uma convocação dos doadores pertencentes aquele grupo sanguíneo, como tentativa de aumento do estoque. O cálculo do estoque ideal de cada tipo sanguíneo é baseado no consumo médio de 7 dias de cada hemocentro, logo, o estoque ideal por tipo sanguíneo de toda a rede é a soma dos estoques ideais por tipo sanguíneo de todos os hemocentros. Depois que é avaliada a rede como um todo, é verificado o estoque ideal por tipo sanguíneo de cada hemocentro. Se algum hemocentro estiver com o estoque de algum tipo sanguíneo abaixo do ideal é verificada a possibilidade de

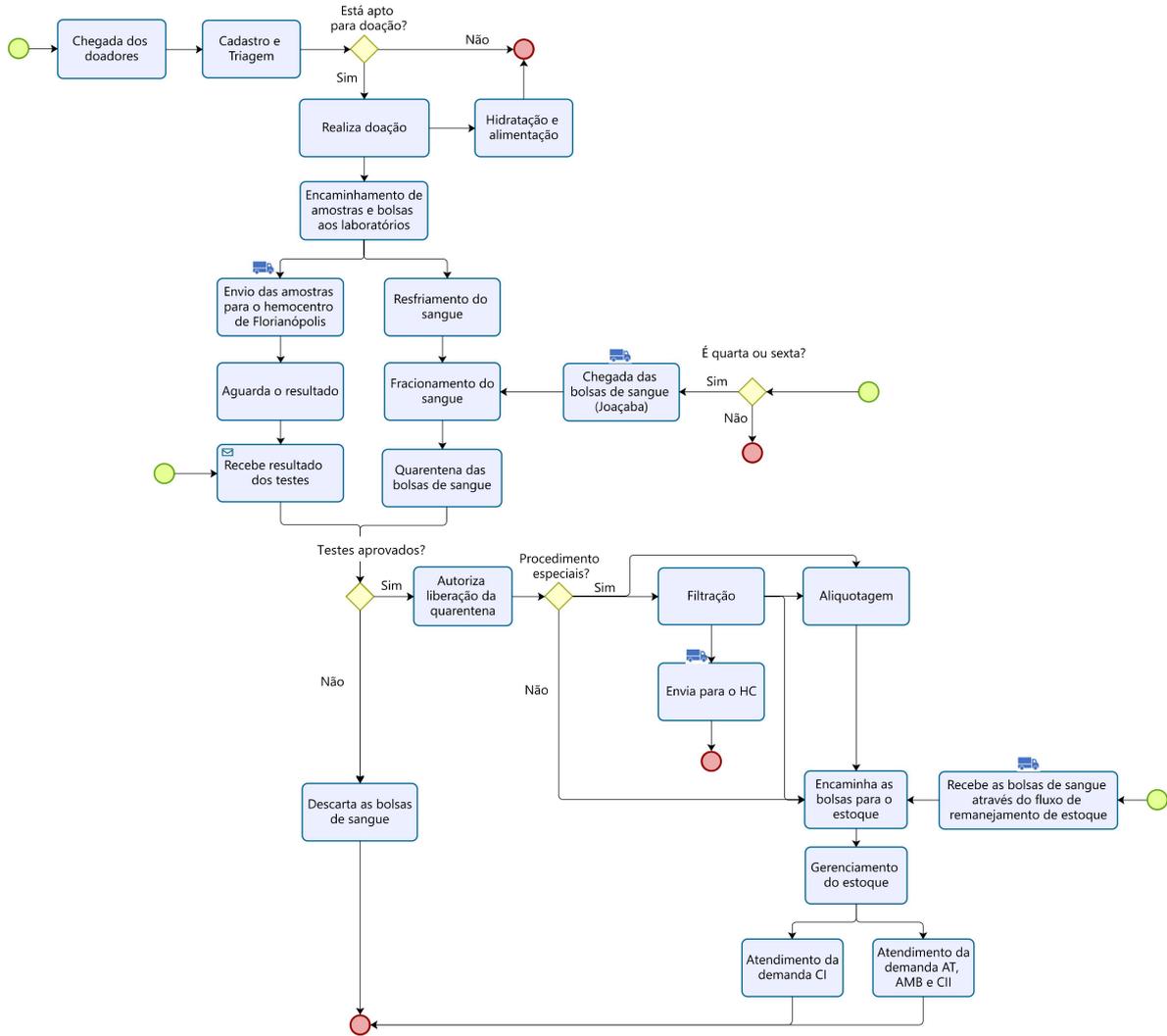


Figura 3.5 – Fluxograma do hemocentro regional de Chapecó

Fonte: Elaborado pelo autor.

remanejamento do estoque com um outro hemocentro que estiver com um estoque superior daquele tipo sanguíneo, garantindo desta forma que as demandas sejam atendidas e que o estoque da rede esteja equilibrado. O fluxograma desse processo pode ser visto na Figura 3.8.

O processo de abastecimento das bolsas de sangue filtradas e irradiadas ocorre similarmente ao remanejamento do estoque. Porém, é avaliado apenas o estoque ideal em cada hemocentro e ao invés de convocar os doadores pra aumentar o estoque, é solicitado o envio das bolsas de sangue filtradas e irradiadas ao hemocentro coordenador (Figura 3.9). Neste caso, é avaliado o estoque ideal das bolsas de sangue filtradas e irradiadas de cada hemocentro por tipo sanguíneo. Esse estoque também é calculado a partir do consumo médio de 7 dias de cada tipo sanguíneo em cada hemocentro.

De modo geral, os remanejamentos podem ocorrer entre quaisquer homocentros da rede conforme mostra o mapa do fluxo de remanejamento da Figura 3.10. Entretanto, a viabilidade do

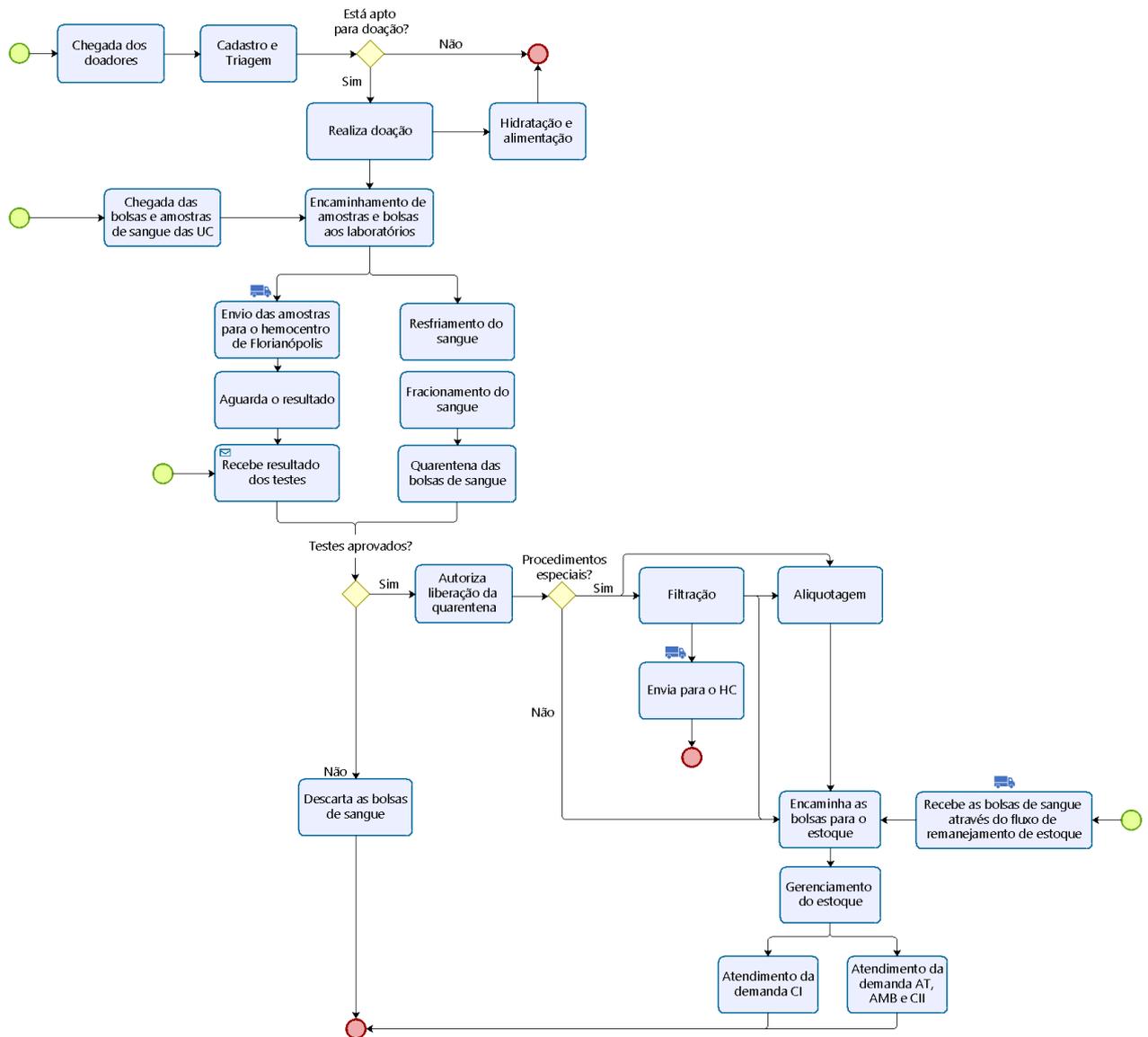


Figura 3.6 – Fluxograma dos hemocentros regionais de Joinville e Criciúma

Fonte: Elaborado pelo autor.

remanejamento é baseada nos custos de transportes, dificuldades logísticas e qualidade no envio das bolsas de sangue.

O transporte dessas bolsas de sangue é realizado pela mesma empresa terceirizada que realiza o transporte das amostras para o hemocentro coordenador. Além dessa empresa terceirizada, a HEMOSC também envia suas bolsas de sangue através de linhas de ônibus. Contudo, neste tipo de transporte alguns parâmetros de qualidade não podem ser bem controlados, principalmente em relação a temperatura de armazenamento. Outro fator dificultador no envio das bolsas de sangue através das linhas de ônibus é em relação ao deslocamento por parte de um funcionário da HEMOSC para realizar o envio e a retirada dessas bolsas. Além disso, o horário de algumas linhas de ônibus também não são muito apropriadas considerando o horário de funcionamento do HEMOSC. No entanto, o envio dessas bolsas através das linhas de ônibus é

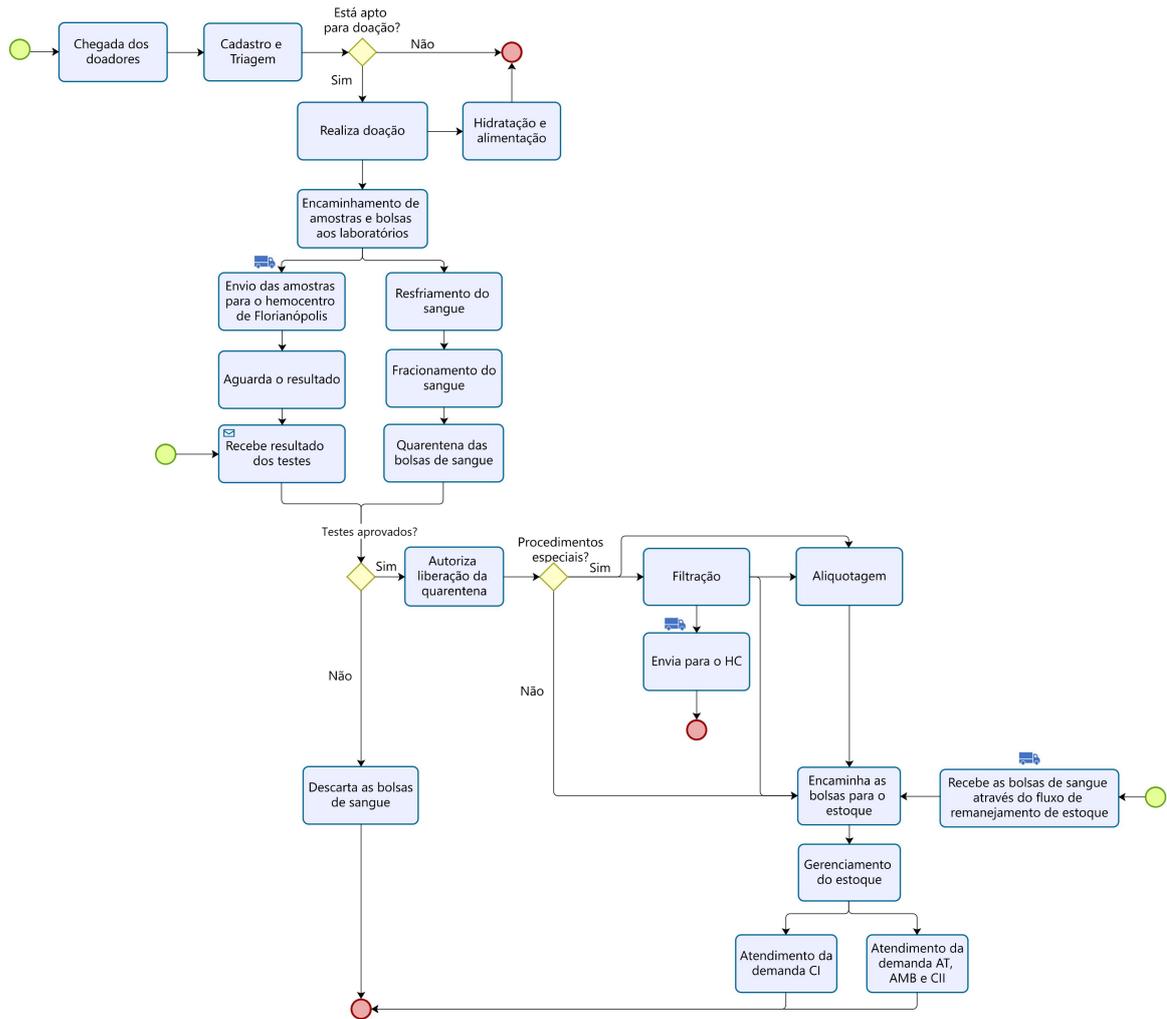


Figura 3.7 – Fluxograma dos hemocentros regionais de Lages e Blumenau

Fonte: Elaborado pelo autor.

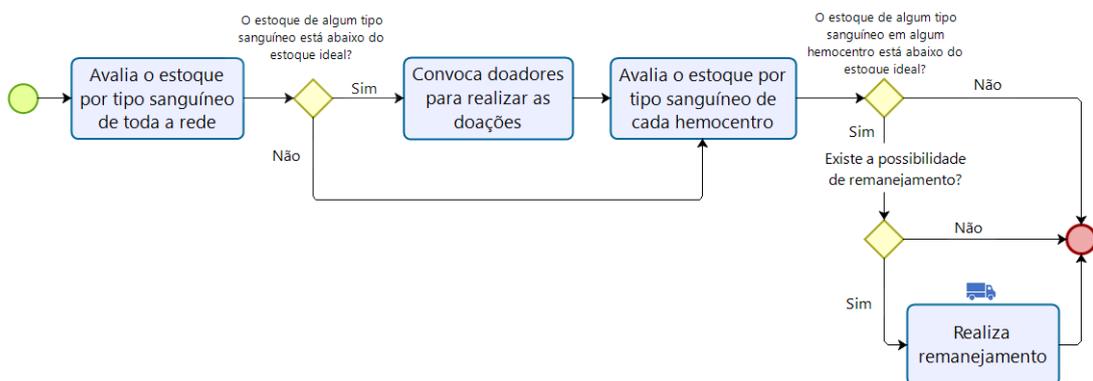


Figura 3.8 – Fluxograma do processo de remanejamento do estoque

Fonte: Elaborado pelo autor.

necessária, pois nem sempre a empresa terceirizada consegue atender todo o fluxo de envio da rede. Entretanto, em 2020, durante a pandemia do Corona vírus, todo o transporte foi realizado integralmente pela empresa terceirizada em função do não funcionamento das linhas de ônibus

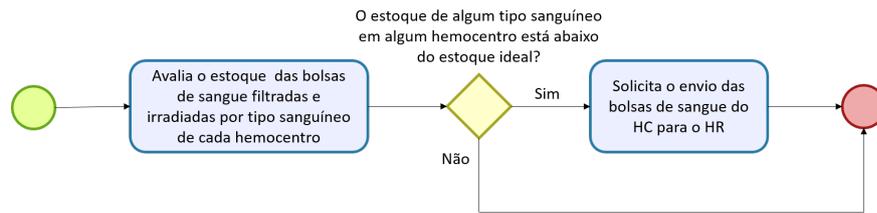


Figura 3.9 – Fluxo de remanejamento das bolsas filtradas e irradiadas

Fonte: Elaborado pelo autor.

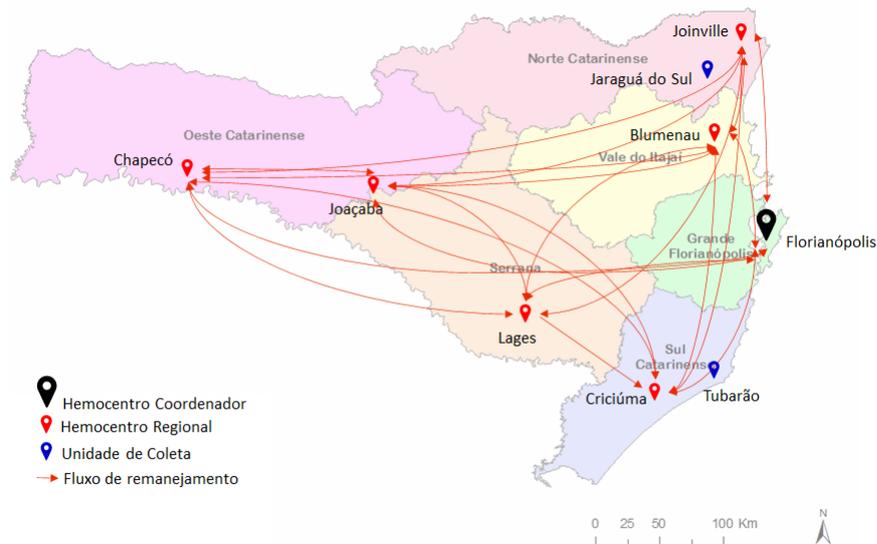


Figura 3.10 – Fluxo de remanejamento do estoque de toda a rede

Fonte: Elaborado pelo autor.

regulares.

3.2 Levantamento de Dados

Os dados utilizados neste trabalho foram coletados de relatórios do Sistema Informatizado da HEMOSC, documentos institucionais, entrevistas e questionários. O acesso aos relatórios e documentos foi viabilizado por meio eletrônico pela profissional responsável pela Divisão de Produção, a qual foi designada pela instituição para realizar o acompanhamento da pesquisa. As entrevistas foram realizadas com o objetivo de entender o funcionamento da hemorede e o seu gerenciamento. Nas entrevistas foram obtidas informações em relação ao estoque ideal de cada tipo sanguíneo, as regras de distribuição das bolsas de sangue, funcionamento da rede, dentre outras informações. Além das entrevistas, também foram utilizados questionários semiestruturados para coletar as informações sobre o sistema.

Os dados disponibilizados incluem os dados de coletas e transfusões sanguíneas que ocorreram entre os anos de 2011 e 2020, além de outras informações relativas ao gerenciamento e operação da rede.

No que se refere aos dados de coletas de sangue, cada registro é composto por: data de coleta, ABO do doador, RH do doador, hemocentro responsável e município de coleta. As coletas realizadas nas unidades de coleta estão consolidadas com as coletas realizadas nos hemocentros vinculados. Ao todo estes dados consideram 1.240.759 registros de coletas que foram realizadas entre 2011 e 2020 nos sete hemocentros da rede.

A maior parte das bolsas de CH coletadas nos últimos anos foram referentes ao tipo sanguíneo O^+ e A^+ , representando uma oferta de 39,66% e 32,30%, respectivamente. Em contrapartida os tipos sanguíneos com menores ofertas são os AB^- (0,57%) e B^- (1,44%). O tipo sanguíneo inconclusivos refere-se as bolsas de sangue que não puderam ser identificados o fator Rh e as bolsas de sangue que não possuem o registro do sistema ABO e fator Rh na base de dados. A Figura 3.11 mostra a distribuição das bolsas de CH por tipo sanguíneo.

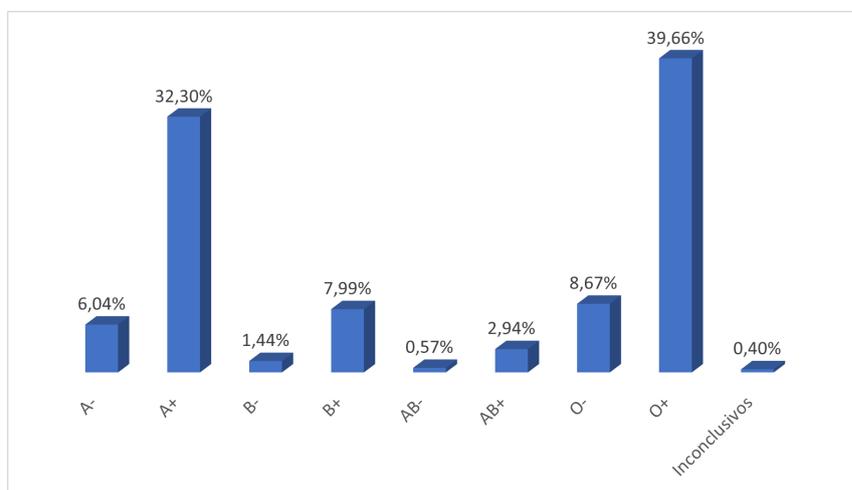


Figura 3.11 – Oferta por tipo sanguíneo das bolsas de CH coletadas

Fonte: Elaborado pelo autor.

A quantidade de coletas realizadas em cada ano, bem como a média relativa entre os anos de 2011 e 2020 estão descritas na Figura 3.12. Para verificar a homogeneidade da quantidade de coletas realizadas por ano, foi realizada a análise de variância (ANOVA) onde foi verificado para um nível de 95% de confiança que há diferença significativa entre a quantidade de coleta realizadas ao longo desses períodos. Esse mesmo teste foi realizado para verificar a homogeneidade do comportamento mensal das coletas nos últimos dez anos (Figura 3.13), onde foi constatado para um nível de 5% de significância ($\alpha = 0,05$) que o comportamento mensal das coletas não pode ser considerado homogêneo ao longo do ano. Por fim, foi realizado o teste ANOVA para verificar a homogeneidade das coletas com relação aos dias da semana, onde foi verificado para um nível de 95% de confiança que há diferença significativa entre a quantidade de coletas realizadas em cada dia da semana (Figura 3.14). Todas as análises estatísticas apresentadas nesse trabalho foram realizadas com o auxílio do software Minitab 17.0.

Em relação às transfusões sanguíneas, cada registro de transfusão é composto pelos seguintes dados: data de transfusão, data de coleta da bolsa transfundida, ABO da bolsa, Rh da bolsa,

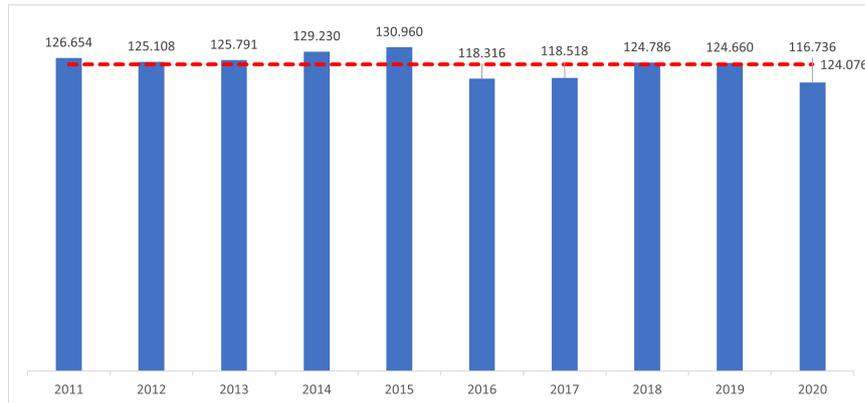


Figura 3.12 – Quantidade de coletas realizadas por ano

Fonte: Elaborado pelo autor.

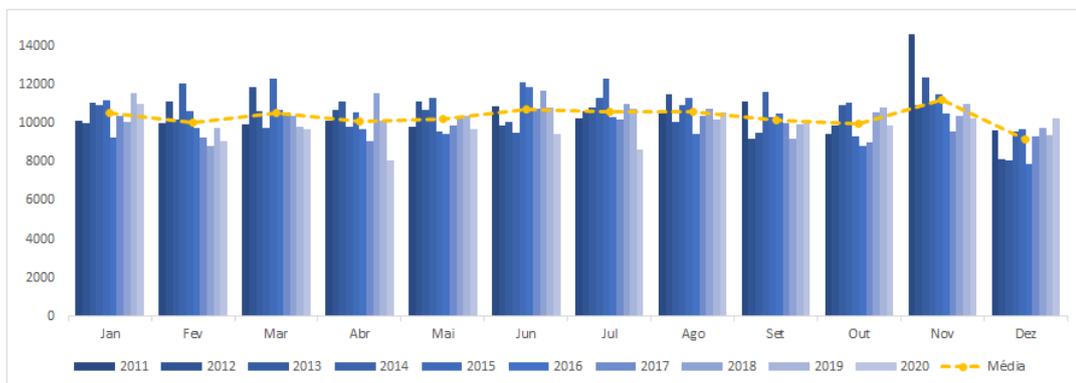


Figura 3.13 – Quantidade de coletas realizadas por mês

Fonte: Elaborado pelo autor.

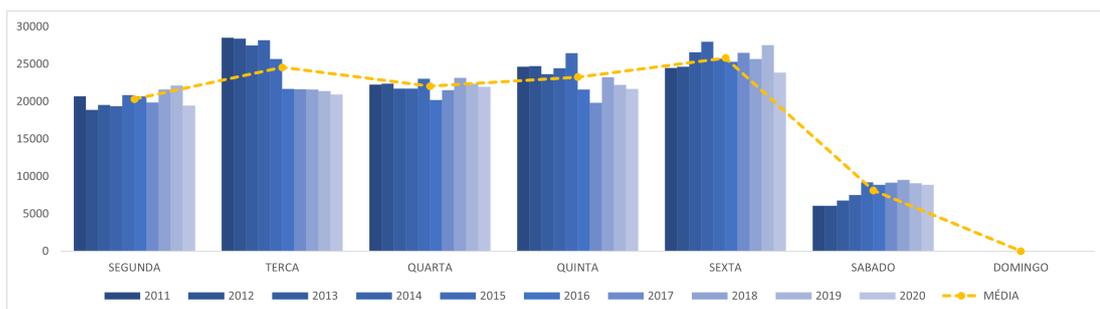


Figura 3.14 – Quantidade de coletas realizadas por dia da semana

Fonte: Elaborado pelo autor.

ABO do paciente, Rh do paciente, local de transfusão, município de transfusão, tipo de atendimento (agência transfusional, ambulatório, hospitais conveniados) e validade da bolsa de sangue. Os dados referentes aos pacientes somente estão disponíveis para as agências transfusionais e ambulatórios, pois para os outros clientes essa informação não é gerida pela HEMOSC.

Ao todo, estes dados incluem 1.054.353 registros entre os anos de 2011 e 2020, sendo compostos por 246 unidades de saúde (hospitais, ambulatórios, fundações, associações, prontos-socorros e clínicas) que estão localizadas em 149 municípios distintos e 8 tipos sanguíneos

referentes aos quatro tipos ABO e aos dois tipos de Rh. Destes registros, 915 pertencem a unidades de saúdes localizadas fora do estado de Santa Catarina, enquanto o restante, 1.053.438, pertencem as unidades de saúde localizadas dentro do estado de Santa Catarina. Como o objetivo deste trabalho é realizar uma análise da rede sanguínea de SC, serão utilizados apenas os dados referentes as unidades de saúdes localizados em SC.

As Figuras 3.15 e 3.16 apresentam a quantidade de transfusões realizadas em cada ano e ao longo dos meses entre 2011 e 2020, respectivamente. Para avaliar a distribuição da quantidade de transfusões nesses períodos, foram realizados testes de hipóteses (ANOVA) para avaliar a homogeneidade da quantidade de transfusões realizadas ao longo dos anos e meses. Esses testes constataram que para um nível de confiança de 95% que não há distinção significativa entre as quantidades de transfusões ao longo desses períodos.

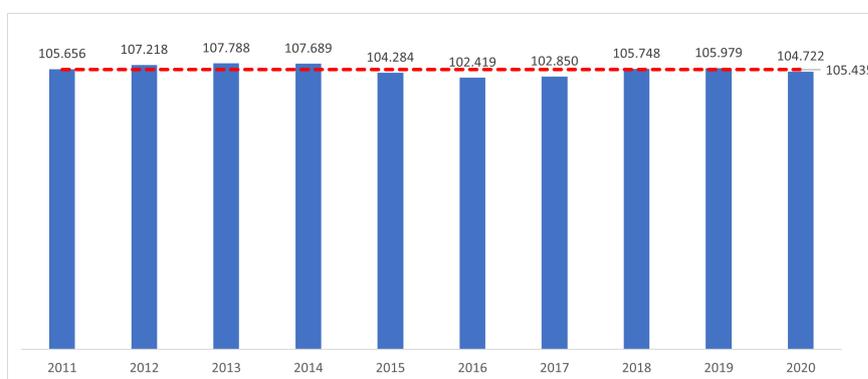


Figura 3.15 – Quantidade de transfusões realizadas por ano

Fonte: Elaborado pelo autor.

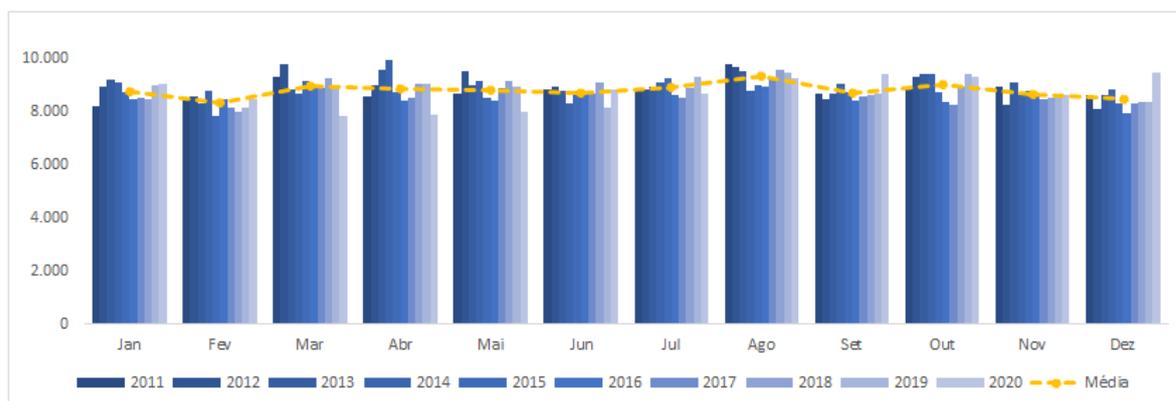


Figura 3.16 – Quantidade de transfusões realizadas por mês

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação ao tipo sanguíneo das bolsas de CH transfundidas, percebe-se que os tipos sanguíneos que apresentaram maiores demandas por transfusões são os tipos O^+ (42,97%) e o A^+ (31,77%). Por outro lado, os tipos sanguíneos com menor demanda, são os AB^- (0,28%), AB^+ (1,33%) e B^- (1,34%) (Figura 3.17).

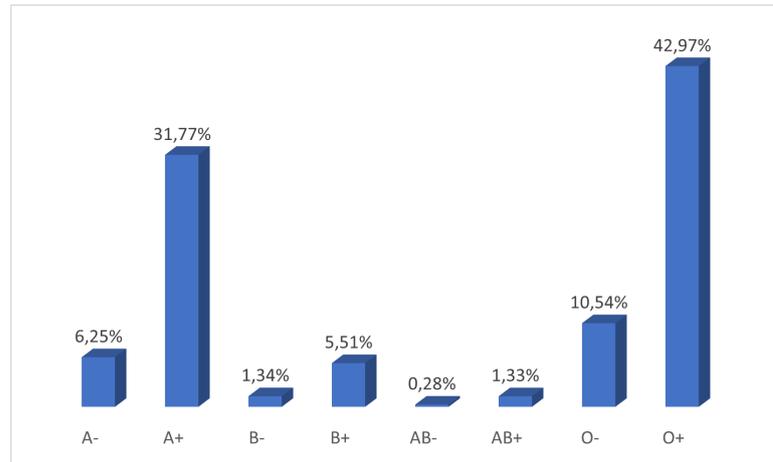


Figura 3.17 – Demanda por tipo sanguíneo das bolsas de CH transfundidas

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir da oferta e demanda de cada tipo sanguíneo, é obtida a diferença percentual entre a quantidade de bolsas coletadas e quantidade de bolsas transfundidas, por tipo sanguíneo (Figura 3.18). Percebe-se que dos oito tipos sanguíneos, apenas três apresentam uma demanda maior que a oferta. Nesses casos, a HEMOSC avalia a possibilidade de substituição de um tipo sanguíneo por outro compatível. No entanto, caso isso não seja possível, a HEMOSC avalia a possibilidade de redução da quantidade bolsas para envio ou avalia a possibilidade da unidade de saúde aguardar a liberação de novas bolsas ou o remanejamento de outro hemocentro.

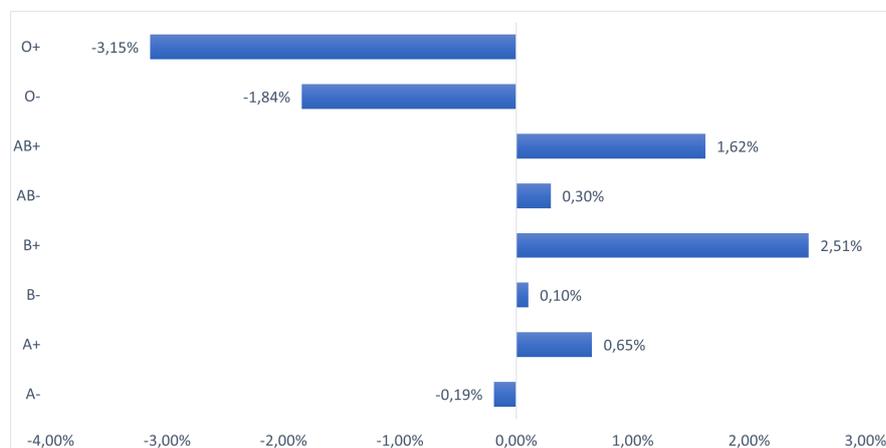


Figura 3.18 – Diferença percentual entre oferta e demanda

Fonte: Elaborado pelo autor.

Além disso, pode-se perceber que tanto nas transfusões quanto nas coletas os tipos sanguíneos O^+ e A^+ são os que apresentam a maior proporção. Isso pode ser explicado pois esses dois tipos sanguíneos são os mais comuns na população brasileira. O tipo sanguíneo O^+ está presente em 36% da população brasileira, enquanto o tipo sanguíneo A^+ está presente em 34% (HEMOAM, 2020).

Conforme mencionado nas seções anteriores, a HEMOSC realiza o atendimento da

demanda de ambulatórios, agências transfusionais e hospitais conveniados Tipo I e Tipo II. Cada cliente possui uma proporção de atendimento que pode ser vista na Figura 3.19. A maior parte dos atendimentos são feitos para os hospitais conveniados Tipo I, representando 69,91% dos atendimentos. O atendimento às agências transfusionais representa o segundo maior atendimento da rede, com 18,58%. O atendimento "sem convênio" refere-se a alguns hospitais que se encontram com seus convênios cancelados, impossibilitando assim a recuperação do tipo de convênio dos anos anteriores.

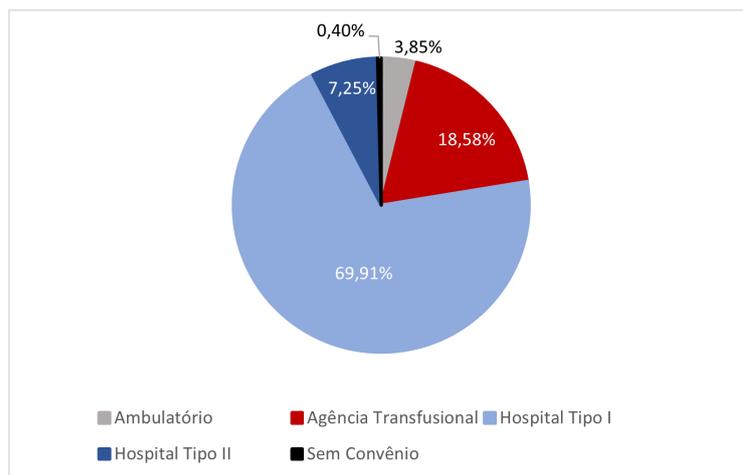


Figura 3.19 – Proporção por tipo de atendimento prestado

Fonte: Elaborado pelo autor.

O remanejamento do estoque para as bolsas de CH é realizado considerando o estoque ideal de cada hemocentro. O cálculo desse estoque é feito a partir da média móvel do consumo de 7 dias. No entanto, de maneira a contemplar consumos ocasionais acima da média um acréscimo de 5% nesse cálculo é realizado para todos hemocentros, exceto o hemocentro de Joaçaba que recebe um acréscimo de 10%. O hemocentro de Joaçaba recebe esse tratamento especial pois como não realiza o fracionamento das suas bolsas de sangue ele depende exclusivamente da reposição através do remanejamento, logo, é necessário um estoque maior para atender alguma mudança na demanda. A Tabela 3.1 apresenta o estoque ideal de CH em cada hemocentro.

O remanejamento das bolsas de CH filtradas e irradiadas também considera o estoque ideal em cada hemocentro. O cálculo desse estoque ideal é realizado da mesma forma mencionada anteriormente, considerando o consumo médio de 7 dias e o acréscimo de 5% para todos os hemocentros, exceto o hemocentro de Joaçaba que recebe um acréscimo de 10%. A Tabela 3.2 apresenta o estoque ideal das bolsas de CH filtradas e irradiadas por hemocentro.

O percentual de desperdício representa a quantidade de bolsas de sangue que são descartadas devido ao vencimento. Este percentual é um excelente indicador para avaliar a gestão do estoque, pois um percentual alto indica que muitas bolsas de sangue são descartadas por não serem utilizadas dentro do prazo de validade. Para o HEMOSC, é aceitável uma taxa de até 5% de desperdício, já que é inevitável que bolsas de sangue sejam descartadas por causa do seu tempo

Tabela 3.1 – Estoque ideal de bolsas de CH por hemocentro

	BNU	CCO	CUA	FLN	JBA	JVE	LGS	TOTAL
A -	23	11	15	20	8	20	7	104
A +	91	49	70	112	35	110	30	497
AB -	2	2	2	2	2	2	2	14
AB +	4	3	3	6	3	7	3	29
B -	6	3	5	5	3	6	3	31
B +	18	11	12	20	6	20	8	95
O -	34	23	30	35	14	40	10	186
O +	105	75	100	130	60	155	45	670
TOTAL	283	177	237	330	131	360	108	1626

Fonte: HEMOSC (2020).

Tabela 3.2 – Estoque ideal de bolsas de CH filtradas e irradiadas por hemocentro

	BNU	CCO	CUA	FLN	JBA	JVE	LGS
A -	5	3	5	7	4	5	2
A +	28	9	15	42	12	24	4
AB -	0	0	1	1	0	0	0
AB +	2	0	2	2	1	2	0
B -	1	1	2	3	2	2	1
B +	4	3	4	7	4	4	2
O -	7	4	7	13	4	6	2
O +	34	10	23	58	14	27	7
TOTAL	81	30	59	133	41	70	18

Fonte: HEMOSC (2020).

de vida útil. No entanto, apenas três hemocentros atingiram o percentual desejado nos últimos dez anos. O hemocentro de Joaçaba é o que possui o maior índice de desperdício, contudo, houve uma redução significativa após a centralização da sua produção no hemocentro de Chapecó. A Tabela 3.3 apresenta o percentual de desperdício em cada hemocentro.

A média percentual de bolsas descartadas por não serem aprovadas nos testes é de 2,65%, porém, cada hemocentro possui seu percentual de descartes, conforme é apresentado na Tabela 3.4.

Tabela 3.3 – Percentual de bolsas de CH descartadas devido a validade - 2011 a 2020

Hemocentro	Desperdício
FLN	4,99%
BNU	2,04%
LGS	7,78%
JVE	3,66%
CUA	7,89%
JBA	8,10%
CCO	4,72%

Fonte: HEMOSC (2020).

Tabela 3.4 – Percentual de bolsas não aprovadas nos testes - 2011 a 2020

Hemocentro	Descarte
FLN	2,24%
BNU	2,46%
LGS	2,01%
JVE	2,38%
CUA	2,17%
JBA	2,87%
CCO	4,41%

Fonte: HEMOSC (2020).

4 Modelagem

Inicialmente, nesse capítulo, é apresentado um resumo dos modelos conceituais propostos, as premissas que foram adotadas e uma descrição das entidades, conjuntos, variáveis de decisão e parâmetros utilizados no modelo. Além disso, é apresentado o funcionamento detalhado de cada parte do modelo conceitual, bem como os dados utilizados.

4.1 Modelo Conceitual

O modelo conceitual proposto é dividido em cinco módulos que estão integrados entre si, como mostra a Figura 4.1. O primeiro módulo refere-se a inicialização do estoque por tipo sanguíneo em cada hemocentro. O segundo inclui a chegada das bolsas no sistema (Coleta), o fracionamento das mesmas (Produção) e a inserção dessas novas bolsas no estoque. O terceiro representa o atendimento da demanda, ou seja, a chegada da ordem de pedido das unidades de saúde ao hemocentro. O quarto módulo representa o remanejamento do estoque realizado entre os hemocentros de acordo com o estoque de segurança estabelecido por tipo sanguíneo em cada hemocentro. Por fim, o quinto e último módulo representa o gerenciamento do estoque que é realizado a partir da verificação da validade das bolsas de sangue que estão armazenadas. A descrição detalhada de cada um desses módulos será apresentada nas próximas seções.



Figura 4.1 – Etapas do modelo conceitual

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o desenvolvimento do modelo conceitual, algumas premissas serão consideradas:

- O sistema é iniciado com o estoque na metade da sua capacidade máxima de armazenamento para cada tipo sanguíneo em cada hemocentro;
- A validade de uma bolsa de concentrado de hemácia é de 42 dias;
- As bolsas de sangue coletadas chegam sempre às 8:30 hs de segunda a sexta-feira e esporadicamente aos sábados. Optou-se por concentrar a chegada das coletas das bolsas neste horário, pois de acordo com os dados obtidos a menor unidade de tempo é em dia, ou seja, não foram disponibilizadas as informações relativas ao horário da coleta. Em relação às coletas realizadas, foram utilizados dados da série histórica para calcular a porcentagem dos dias em que ocorreram coletas para cada dia da semana;
- A produção funciona de segunda a sexta-feira e nos sábados que acontece coleta, de acordo com os horários de produção em cada hemocentro mostrados na Tabela 4.1;

Tabela 4.1 – Horário de produção por hemocentro

Hemocentro	Horário de funcionamento
FLN	07:00 às 20:00
BNU	07:00 às 21:00
LGS	07:00 às 19:00
JVE	06:00 às 20:00
CUA	07:00 às 20:00
JBA	Não há produção
CCO	07:00 às 20:00

Fonte: Elaborado pelo autor.

- O atendimento da demanda é realizado diariamente, uma única vez, às 12:00 hs;
- A necessidade de remanejamento do estoque é avaliada todos os dias às 13:00 hs
- O gerenciamento do estoque é realizado diariamente, uma única vez, às 00:00 h;

Vale ressaltar que as premissas utilizadas são adotadas para fins de modelagem, mas não há perdas de qualidade nos resultados finais. As entidades, conjuntos, variáveis de decisão e parâmetros do modelo proposto estão descritos nas Tabelas 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5, respectivamente.

4.1.1 Inicialização do estoque

O módulo de inicialização do estoque consiste em inicializar o estoque para cada tipo sanguíneo em cada hemocentro uma única vez no momento em que se inicia a simulação. Isso

Tabela 4.2 – Entidades utilizadas no modelo

Entidades	Descrição
$E_{ini,hemo}$	: inicializa o estoque para cada hemocentro.
$E_{val,hemo}$	: verifica a validade da bolsa de sangue para cada hemocentro.
$E_{col,s,hemo}$	: representa a chegada das bolsas do tipo sanguíneo s , referente ao hemocentro $hemo$ para realização da produção, teste e incremento dessas bolsas no estoque de cada hemocentro.
$E_{dem,hemo}$	: verifica se há demanda do determinado tipo sanguíneo em cada hemocentro.
$E_{rem,hemo}$	: verifica se é necessário o remanejamento de estoque entre os hemocentros.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 4.3 – Conjuntos utilizados no modelo

Conjuntos	Descrição
I	: representam os dias até o vencimento das bolsas de sangue ($i = 1..I$).
S	: representam os tipos sanguíneos com $s = 1..8$, ordenados como AB^+ , AB^- , A^+ , A^- , B^+ , B^- , O^+ , O^- , respectivamente.
Hemo	: representam os hemocentros com $hemo = 1..7$, ordenados como FLN, BNU, LGS, JVE, CUA, JBA, CCO, respectivamente.
D	: representam os dias da semana com $d = 1..7$, ordenados como domingo, segunda, terça, quarta, quinta, sexta, sábado, respectivamente.
TipoAtd	: representam os dois tipos de atendimento da demanda: hospitais Tipo I (TipoAtd = 1) e hospitais Tipo II, ambulatorios e agência transfusional (TipoAtd = 2).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 4.4 – Variáveis utilizadas no modelo

Variável	Descrição	Unidade
$Perdas_{s,hemo}$	: quantidade total de bolsas em estoque descartadas devido a data de vencimento por tipo sanguíneo s em cada hemocentro $hemo$.	(bolsas)
$NDR_{s,hemo}$	: número de dias em que não houve atendimento da demanda por tipo sanguíneo s em cada hemocentro $hemo$.	(dias)
$Rupturas_{s,hemo}$	: quantidade de bolsas não atendidas por tipo sanguíneo s em cada hemocentro $hemo$.	(bolsas)
$NDSREM_{s,hemo}$	: número de dias em que houve quantidade de bolsas solicitadas em remanejamento e não atendidas por tipo sanguíneo s em cada hemocentro $hemo$.	(dias)
$RemMedDia_{hemo}$	: Remanejamento médio diário por hemocentro.	(bolsas)
$AgeMed_{hemo}$	: Vida útil das bolsas que foram atendidas no hemocentro $hemo$.	(dias)
$QNAR_{s,hemo}$	: quantidade de bolsas solicitadas em remanejamento e não atendidas por tipo sanguíneo s em cada hemocentro $hemo$.	(bolsas)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 4.5 – Parâmetros utilizados no modelo

Parâmetro	Descrição	Unidade
$DistDem_{s,hemo}$	: distribuição de probabilidade da demanda do tipo sanguíneo s para cada hemocentro $hemo$.	-
$DistOfers_{s,d,hemo}$	: distribuição de probabilidade da oferta do tipo sanguíneo s referente ao dia d para cada hemocentro $hemo$.	-
$Sorteio_{hemo}$	: armazena a distribuição discreta para o tempo de vida útil de cada tipo sanguíneo s de cada hemocentro $hemo$.	-
$DistVal_{s,hemo}$	: distribuição discreta para o tempo de vida útil de cada tipo sanguíneo s para cada hemocentro $hemo$.	-
$ProbOfers_{s,d,hemo}$	: probabilidade de oferta do tipo sanguíneo s no dia d para cada hemocentro $hemo$.	-
$ProbDem_{s,d,hemo}$	: probabilidade de demanda do tipo sanguíneo s no dia d para cada hemocentro $hemo$.	-
$PerOfers_{s,d,hemo}$	: percentual de dias sem oferta do tipo sanguíneo s no dia d para cada hemocentro $hemo$.	-
$PerDem_{s,hemo}$	: percentual de dias sem demanda para o tipo sanguíneo s para cada hemocentro $hemo$.	-
$Imax$	: tempo máximo de vida útil de uma bolsa de sangue (42 dias).	(dias)
$Emax_{s,hemo}$	: tamanho máximo do estoque por tipo sanguíneo s em cada hemocentro $hemo$.	(bolsas)
$Est_{i,s,hemo}$	: estoque por data de validade i e tipo sanguíneo s em cada hemocentro $hemo$.	(bolsas)
$EstDisp_{s,hemo}$	: estoque disponível para o tipo sanguíneo s em cada hemocentro $hemo$.	(bolsas)
$Oferta_{s,d,hemo}$	: oferta do tipo sanguíneo s no dia d em cada hemocentro $hemo$.	(bolsas)
$Dem_{s,hemo}$	: demanda do tipo sanguíneo s em cada hemocentro $hemo$.	(bolsas)
$Dem(TipoAtd)_{s,hemo}$	: demanda do tipo sanguíneo s para cada tipo de atendimento da demanda $TipoAtd$ para cada hemocentro $hemo$.	(bolsas)
$DemAux(TipoAtd)_{s,hemo}$	: demanda auxiliar do tipo sanguíneo s para cada tipo de atendimento da demanda $TipoAtd$ para cada hemocentro $hemo$.	(bolsas)
$ProbAtd1_{hemo}$	: probabilidade de atendimento da demanda para os hospitais conveniados Tipo I referente ao hemocentro $hemo$.	-
$ProbAtd2_{hemo}$	: probabilidade de atendimento da demanda para os hospitais conveniados Tipo II referente ao hemocentro $hemo$.	-
$COMP_{s,j,hemo}$	: parâmetro binário que verifica a compatibilidade sanguínea entre o tipo sanguíneo s e j em cada hemocentro $hemo$.	-

Fonte: Elaborado pelo autor.

é uma forma de garantir que a modelagem represente o comportamento real do estoque da hemorrede, uma vez que o sistema real já possui estoque armazenados para serem consumidos.

Nesse módulo, para representar a validade do estoque por tipo sanguíneo de cada hemocentro foi utilizada a Tabela 4.6 desenvolvida por Magalhães (2018). Nessa tabela, as colunas representam os tipos sanguíneos, enquanto que as linhas representam a vida útil de cada um dos tipos sanguíneos. Por exemplo, a primeira linha ($i=0$) corresponde ao estoque de bolsas $Est_{0,s}$, por tipo sanguíneo s , cuja validade expira no dia corrente. Ao final de cada coluna, na última linha está representado o estoque total de cada tipo sanguíneo.

Tabela 4.6 – Representação da validade do estoque por tipo sanguíneo

Vida útil (i)	Quantidade de bolsas de sangue por tipo sanguíneo (s)							
	$(AB^+)_1$	$(AB^-)_2$	$(A^+)_3$	$(A^-)_4$	$(B^+)_5$	$(B^-)_6$	$(O^+)_7$	$(O^-)_8$
0	$Est_{0,1}$	$Est_{0,2}$	$Est_{0,3}$	$Est_{0,4}$	$Est_{0,5}$	$Est_{0,6}$	$Est_{0,7}$	$Est_{0,8}$
1	$Est_{1,1}$	$Est_{1,2}$	$Est_{1,3}$	$Est_{1,4}$	$Est_{1,5}$	$Est_{1,6}$	$Est_{1,7}$	$Est_{1,8}$
2	$Est_{2,1}$	$Est_{2,2}$	$Est_{2,3}$	$Est_{2,4}$	$Est_{2,5}$	$Est_{2,6}$	$Est_{2,7}$	$Est_{2,8}$
3	$Est_{3,1}$	$Est_{3,2}$	$Est_{3,3}$	$Est_{3,4}$	$Est_{3,5}$	$Est_{3,6}$	$Est_{3,7}$	$Est_{3,8}$
...
Imax	$Est_{i,1}$	$Est_{i,2}$	$Est_{i,3}$	$Est_{i,4}$	$Est_{i,5}$	$Est_{i,6}$	$Est_{i,7}$	$Est_{i,8}$
Total	$\sum Est_{i,1}$	$\sum Est_{i,2}$	$\sum Est_{i,3}$	$\sum Est_{i,4}$	$\sum Est_{i,5}$	$\sum Est_{i,6}$	$\sum Est_{i,7}$	$\sum Est_{i,8}$

Fonte: Magalhães (2018).

A capacidade máxima de armazenamento por tipo sanguíneo em cada hemocentro foi calculada a partir da capacidade máxima de armazenamento total do hemocentro e da proporção por tipo sanguíneo das bolsas coletadas, uma vez que a HEMOSC não possui a informação da capacidade máxima de armazenamento por tipo sanguíneo.

A proporção das bolsas coletadas nos hemocentros está representada na Figura 4.2 e a capacidade máxima de armazenamento dessas bolsas, bem como o estoque máximo de armazenamento de cada tipo sanguíneo ($Emax_s$) por hemocentro estão representados na Tabela 4.7.

A partir do dimensionamento do estoque máximo de cada tipo sanguíneo em cada hemocentro, o processo de inicialização do estoque acontece de acordo com o Algoritmo 1.

Inicialmente para cada hemocentro é gerada a entidade $E_{ini,hemo}$ que será utilizada para realizar o abastecimento do estoque. Feito isso, o estoque por data de validade, por tipo sanguíneo, por hemocentro ($Est_{i,s,hemo}$) é zerado e o estoque disponível de cada tipo sanguíneo, por hemocentro ($EstDisp_{s,hemo}$) é inicializado com a metade do valor do estoque máximo ($Emax_{s,hemo}$) de forma a garantir a similaridade com o sistema real (linha 9). Em seguida, é sorteada a data de validade, utilizando uma distribuição discreta que descreve o tempo de vida útil das bolsas de sangue ($DistVal_{s,hemo}$) obtidas dos registros apresentados. Com essa data de validade estabelecida, cada bolsa é incrementada em estoque considerando as respectivas datas de validade. Com isso, a Tabela 4.6 é completamente preenchida com a quantidade de bolsas por tipo sanguíneo em cada linha para cada hemocentro.

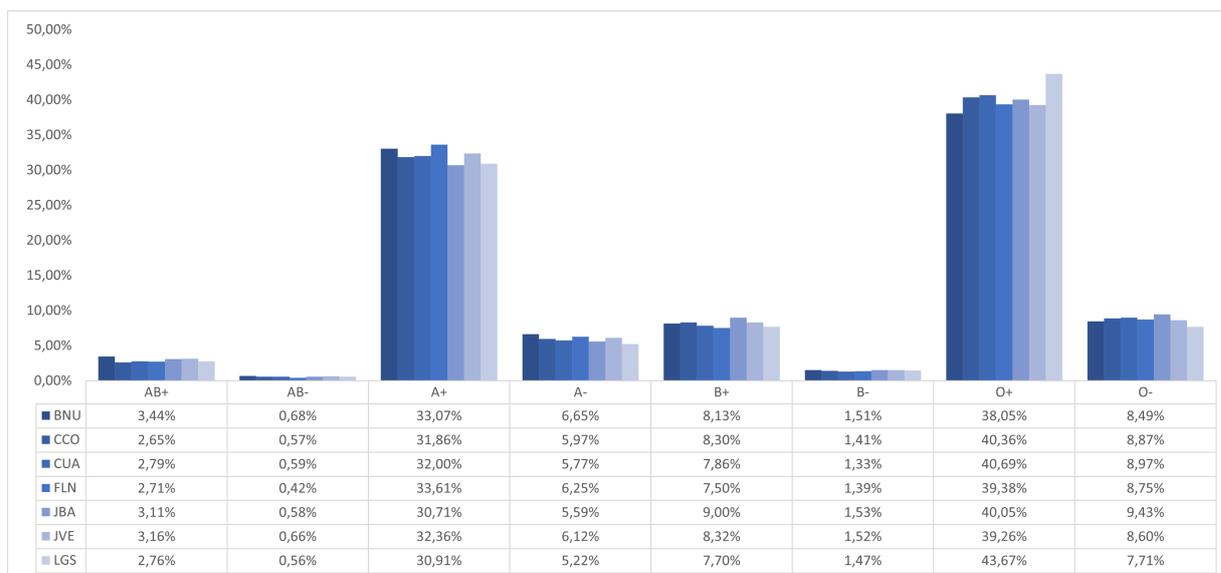


Figura 4.2 – Proporção por tipo sanguíneo das bolsas coletadas em cada hemocentro

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 4.7 – Estoque máximo (E_{max}) e capacidade máxima de armazenamento por tipo sanguíneo por hemocentro

	AB ⁺	AB ⁻	A ⁺	A ⁻	B ⁺	B ⁻	O ⁺	O ⁻	Capacidade Máxima de Armazenamento
FLN	39	6	484	90	108	20	567	126	1.440
BNU	45	9	428	86	105	20	493	110	1.296
LGS	25	5	282	48	70	13	398	71	912
JVE	46	10	472	89	122	22	573	126	1.460
CUA	38	8	434	78	107	18	552	121	1.356
JBA	27	5	269	49	79	13	351	83	876
CCO	23	5	275	52	72	12	348	77	864

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.2 Coleta, produção e estoque

Após inicializar o estoque, tem-se o processo de chegada e processamento das bolsas de sangue coletadas e a atualização dessas bolsas de sangue no estoque. Esse processo está representado na Figura 4.3 e a sua modelagem detalhada pode ser vista nos Algoritmos 2 e 3.

De acordo com os dados disponibilizados pela HEMOSC, percebe-se que cada dia da semana apresenta um comportamento diferente com relação a quantidade de coletas para cada tipo sanguíneo. Além disso, percebe-se também que não necessariamente todos os dias chegam bolsas de sangue de todos os tipos sanguíneos. Dessa forma, para representar a chegada das bolsas de sangue ao hemocentro é calculada a porcentagem de dias que não houve oferta para cada tipo sanguíneo s referente a cada dia da semana d em cada hemocentro $hemo$ ($PerOfers,d,hemo$).

Algoritmo 1: Módulo de inicialização do estoque

```

1 for  $hemo \in \{1, \dots, Hemo\}$  do
2   Gera entidade  $E_{ini,hemo}$ ;
3   for  $s \in \{1, \dots, S\}$  do
4     for  $i \in \{1, \dots, I_{max}\}$  do
5        $Est_{i,s,hemo} \leftarrow 0$ ;
6     end
7   end
8   for  $s \in \{1, \dots, S\}$  do
9      $EstDisp_{s,hemo} \leftarrow \frac{Emax_{s,hemo}}{2}$ ;
10  end
11  for  $s \in \{1, \dots, S\}$  do
12    for  $j \in \{1, \dots, Emax_{s,hemo}\}$  do
13       $Sorteio_{,hemo} \leftarrow DistVal_{s,hemo}$  ;
14       $Est_{sorteio,s,hemo} \leftarrow Est_{sorteio,s,hemo} + 1$ ;
15    end
16  end
17 end

```

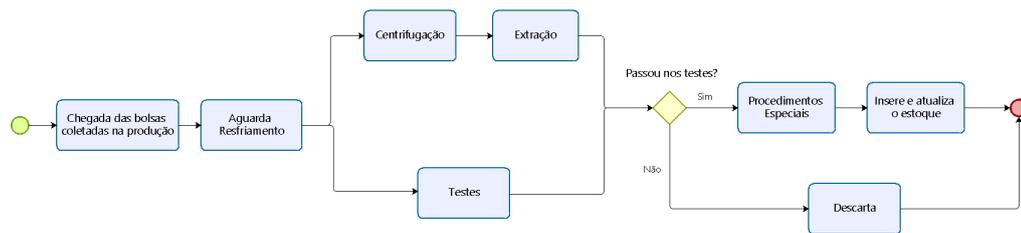


Figura 4.3 – Processo de coleta, produção e atualizadas do estoque das bolsas coletadas

Fonte: Elaborado pelo autor.

Feito isso, sorteia-se diariamente para cada hemocentro se existirá ou não oferta para cada tipo sanguíneo s no dia de semana d utilizando o atributo $ProbOffer_{s,d,hemo}$ a partir de uma distribuição uniforme entre 0 e 1 (linha 4). Quando essa probabilidade for superior ao valor do percentual de dias sem ofertas ($PerOffer_{s,d,hemo}$) haverá oferta naquele dia, para o tipo sanguíneo s no hemocentro $hemo$ (linha 6). Caso haja oferta, a quantidade de bolsas ofertadas em cada hemocentro, para o tipo sanguíneo s , referente ao dia d será estimada a partir de uma distribuição de probabilidade ($DistOffer_{s,d,hemo}$) obtida a partir dos dados disponibilizados pela HEMOSC.

Após a chegada das bolsas coletadas à produção, acontece o resfriamento necessário dessas bolsas, representado por uma distribuição uniforme que varia entre 1 e 2 horas. Essa distribuição foi utilizada uma vez que não há dados reais sobre o tempo de resfriamento e nem um comportamento específico que determine um tempo fixo dessa etapa. Posteriormente, as bolsas de sangue são encaminhadas para a produção que consiste nas etapas de centrifugação e extração. Para a realização da centrifugação é necessário a utilização do recurso centrífuga. A quantidade de centrífugas disponíveis em cada hemocentro é mostrada na Tabela 4.8. O tempo de

Algoritmo 2: Chegada da oferta por tipo sanguíneo em cada hemocentro

```

1 for  $hemo \in \{1, \dots, Hemo\}$  do
2   Gera entidade  $E_{col,hemo}$ ;
3   For  $hemo \in \{1, \dots, Hemo\}$  for  $d \in \{2, \dots, 7\}$  do
4      $ProbOfers_{s,d,hemo} \leftarrow UNIF(0, 1)$ ;
5      $PerOfers_{s,d,hemo} \leftarrow$  percentual de dias sem oferta do tipo sanguíneo  $s$  no dia  $d$ 
      para cada hemocentro  $hemo$ ;
6     if ( $ProbOfers_{s,d,hemo} > PerOfers_{s,d,hemo}$ ) then
7        $Oferta_{s,d,hemo} \leftarrow DistOfers_{s,d,hemo}$ ;
8     end
9   end
10 end

```

processamento das centrífugas variam entre as bolsas duplas e triplas, uma vez que a diferença entre elas é que a capacidade de armazenamento das bolsas triplas é maior do que a das bolsas duplas. Dessa forma, o tempo de processamento das centrífugas é de 15 minutos para as bolsas de sangue duplas e 25 minutos para as bolsas de sangue triplas, e este processamento acontece normalmente em lotes de 12 bolsas e ao final do dia é permitido o processamento de lote de tamanho inferior. Cada hemocentro utiliza um percentual de bolsas duplas e triplas o qual pode ser visualizado na Tabela 4.9.

Após a centrifugação, as bolsas de sangue são enviadas para a etapa de extração para que sejam retirados os hemocomponentes desejados. Esse processo demora 45 segundos para as bolsas de sangue dupla e 3,2 minutos para as bolsas de sangue triplas e, em ambos os casos, o processamento é realizado em uma bolsa por vez. A quantidade de extratores disponíveis em cada hemocentro pode ser vista na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 – Quantidade de centrífugas e extratores por hemocentro

Hemocentro	Quantidade de Centrífugas	Quantidade de Extratores
FLN	3	4
BNU	2	2
LGS	2	2
JVE	2	3
CUA	2	3
JBA	0	0
CCO	2	3

Fonte: Elaborado pelo autor.

Todas as etapas do processamento das bolsas de sangue são realizadas no mesmo hemocentro onde ocorreu a coleta, com exceção do hemocentro localizado em Joaçaba e dos postos

Tabela 4.9 – Percentual de bolsas duplas e triplas por hemocentro

Hemocentro	% Dupla	% Tripla
FLN	15%	85%
BNU	17%	83%
LGS	31%	69%
JVE	37%	63%
CUA	20%	80%
JBA	Não há produção	Não há produção
CCO	18%	82%

Fonte: Elaborado pelo autor.

de coleta vinculados aos hemocentros de Joinville e Criciúma localizados em Jaraguá do Sul e Tubarão, respectivamente.

Paralelamente a esse processo, as amostras coletadas são enviadas para os testes no Hemocentro Coordenador em Florianópolis. Nesse hemocentro, são realizados todos os testes de imunohematologia, hemoglobina S, sorologia e NAT do estado de Santa Catarina. O teste de imunohematologia é processado em lotes de até 156 amostras de sangue, com tempo de processamento que varia de 2,5 horas ao utilizar a capacidade máxima de processamento do equipamento e 1 hora para lotes menores que 62 amostras. No caso de tamanhos de amostras entre esses dois limites, o tempo de processamento é proporcional a quantidade de amostras testadas.

Já o teste de hemoglobina S é processado em lotes de 60 amostras com um tempo de processamento de 54 minutos, sendo que para quantidades diferentes ao lote estabelecido o tempo de processamento é proporcional a quantidade de amostras testadas. De acordo com os dados disponibilizados pela HEMOSC, o teste de hemoglobina S é realizado em apenas 41,15% das amostras, ou seja, nem todas as amostras passam por esse procedimento de teste.

Diferentemente dos outros testes, o teste de sorologia utiliza um equipamento de alimentação contínua, ou seja, ao liberar uma amostra é possível colocar outra amostra no lugar, enquanto o equipamento está funcionando. A capacidade de processamento do equipamento é de no mínimo uma amostra e no máximo 588 amostras, com tempo de processamento de 45 minutos por amostra. No entanto, como esse equipamento apresenta a característica de abastecimento contínuo, o tempo necessário para o processamento da capacidade máxima do equipamento é de 8,2 horas, já que o intervalo médio entre a saída de resultados de amostras é de 50 segundos.

Por fim, o teste NAT é processado em lotes que variam entre 92 e 552 amostras, sendo processadas em quatro etapas. A primeira etapa possui um tempo máximo de processamento de 2 horas para o lote de tamanho máximo, podendo chegar a no mínimo 1,5 horas para lotes de 92 amostras. Já a segunda etapa possui um tempo de processamento de 2,5 horas independente da

quantidade de amostras. A terceira etapa utiliza um tempo de processamento de 1 hora enquanto a quarta etapa utiliza um tempo de processamento de 2,5 horas. Essas duas últimas etapas realizadas em paralelo. Após o processamento das quatro etapas do teste NAT é necessário aguardar cerca de 10 minutos para que o laudo do resultado fique pronto e assim seja possível seguir com o fluxo de processamento.

Enquanto os testes são realizados as bolsas de sangue ficam armazenadas no hemocentro onde foram processadas em suas respectivas temperaturas. Após a realização dos testes, são obtidos os resultados referente a cada bolsa de sangue. Assim, é verificado para cada bolsa se ela deverá ser descartada, devido a não aprovação em algum teste, ou, se deverá ser encaminhada para o estoque. O percentual de não aprovação nos testes em cada hemocentro é apresentado na Tabela 3.4.

Para cada hemocentro, algumas das bolsas aprovadas em todos os testes passam ainda por procedimentos especiais, com o objetivo de aumentar a segurança transfusional para o paciente. O primeiro procedimento especial é a filtração. Esse procedimento é realizado em 20% das bolsas e tem uma duração de 30 minutos. Feita a filtração, cerca de 10% das bolsas filtradas passam pelo procedimento de irradiação que tem duração de 15 minutos. Por último, o procedimento de aliquotagem é realizado em apenas 7% das bolsas que foram filtradas e irradiadas, com um tempo de processamento de 5 minutos.

Cada hemocentro possui uma quantidade de equipamentos referente a cada um dos procedimentos especiais, sendo que apenas o hemocentro de Florianópolis possui o equipamento necessário para o processamento do procedimento de irradiação, conforme pode se visto na Tabela 4.10. O estoque de segurança dos produtos irradiados não será considerado nesse estudo devido a dificuldade na obtenção dos dados que permitam a representação do sistema de gestão do estoque. Entretanto, é necessário que cada hemocentro mantenha estoque de bolsas irradiadas, especialmente em função da centralização da irradiação no hemocentro de Florianópolis. Dessa forma, o estoque de bolsas que passaram por procedimentos de irradiação, bem como, de aliquotagem não foram avaliados, uma vez que a aliquotagem é processada apenas com as bolsas já irradiadas. Contudo, vale destacar que apenas 2% das bolsas passam por esses procedimentos.

Após passar por todo o fluxo de processamento sanguíneo, as bolsas aprovadas em todos os testes são inseridas no estoque, conforme é representado no Algoritmo 3. Inicialmente, para cada hemocentro e para cada tipo sanguíneo é atribuído o dia corrente em que cada bolsa de sangue foi coletada ($DiaInicio_{s,hemo}$). Após passar por todo o processamento sanguíneo, é atribuído um novo dia corrente ($DiaFim_{s,hemo}$). Feito isso, faz-se a diferença entre o dia do fim do processamento e o dia da coleta para calcular em que posição a bolsa deve ser inserida no estoque considerando o tempo máximo de vida útil de uma bolsa de sangue (I_{max}) menos o tempo que permaneceu em processo (linhas 7 ou 13). Por fim, as bolsas são introduzidas no estoque (linhas 8 - 9 ou 14 - 15) conforme mencionado anteriormente.

Tabela 4.10 – Quantidade de equipamentos utilizados em procedimentos especiais por hemocentro

Hemocentro	Filtração	Irradiação	Aliquotagem
FLN	2	1	2
BNU	1	0	1
LGS	1	0	1
JVE	1	0	1
CUA	1	0	1
JBA	Não produz	Não produz	Não produz
CCO	1	0	1

Algoritmo 3: Inserção das bolsas no estoque

```

1 for  $hemo \in \{1, \dots, Hemo\}$  do
2   for  $s \in \{1, \dots, S\}$  do
3      $DiaInicio_{s,hemo} \leftarrow dia(1..7)$ 
4      $DiaFim_{s,hemo} \leftarrow dia(1..7)$ 
5     if  $((DiaFim_{s,hemo} - DiaInicio_{s,hemo}) \geq 0)$  then
6        $DiasEmProcesso_{s,hemo} \leftarrow DiaFim_{s,hemo} - DiaInicio_{s,hemo};$ 
7        $linha \leftarrow Imax - DiasEmProcesso_{s,hemo};$ 
8        $Est_{linha,s,hemo} \leftarrow Est_{linha,s,hemo} + 1;$ 
9        $EstDisp_{s,hemo} \leftarrow EstDisp_{s,hemo} + 1$ 
10    end
11    else
12       $DiasEmProcesso_{s,hemo} \leftarrow (7 - DiaInicio_{s,hemo}) + DiaFim_{s,hemo};$ 
13       $linha \leftarrow Imax - DiasEmProcesso_{s,hemo};$ 
14       $Est_{linha,s,hemo} \leftarrow Est_{linha,s,hemo} + 1;$ 
15       $EstDisp_{s,hemo} \leftarrow EstDisp_{s,hemo} + 1$ 
16    end
17  end
18 end

```

4.1.3 Atendimento da demanda

O módulo de atendimento da demanda considera a retirada das bolsas de sangue do estoque para que ocorra o atendimento da demanda. Esse processo é iniciado todos os dias, às 12 horas, em cada hemocentro, com a chegada da ordem de pedidos, por tipo sanguíneo, das unidades de saúde. Conforme mencionado nas seções anteriores, a HEMOSC realiza o atendimento da demanda de duas maneiras diferentes. A primeira considera o atendimento da demanda para os hospitais conveniados Tipo I, no qual, é fornecido apenas a quantidade de bolsas disponíveis sem considerar a possibilidade de substituição de uma bolsa em falta por uma outra compatível. A segunda considera o atendimento da demanda para os hospitais conveniados Tipo

II, ambulatórios e agências transfusionais. Neste caso, é possível substituir uma bolsa de um tipo sanguíneo indisponível por outra compatível. O processo de atendimento da demanda para as duas situações é mostrado nas Figuras 4.4 e 4.5.

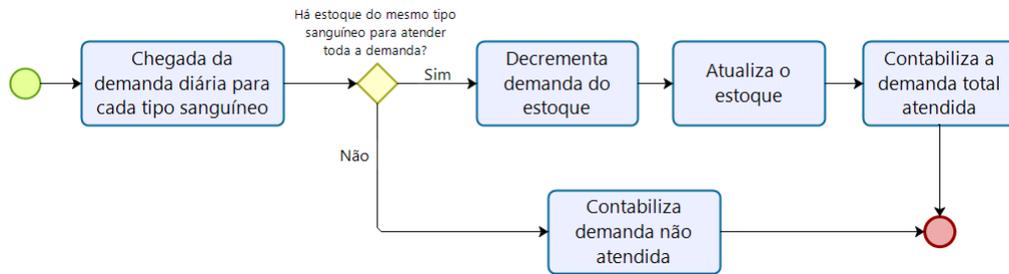


Figura 4.4 – Atendimento da demanda dos hospitais conveniados Tipo I

Fonte: Elaborado pelo autor.

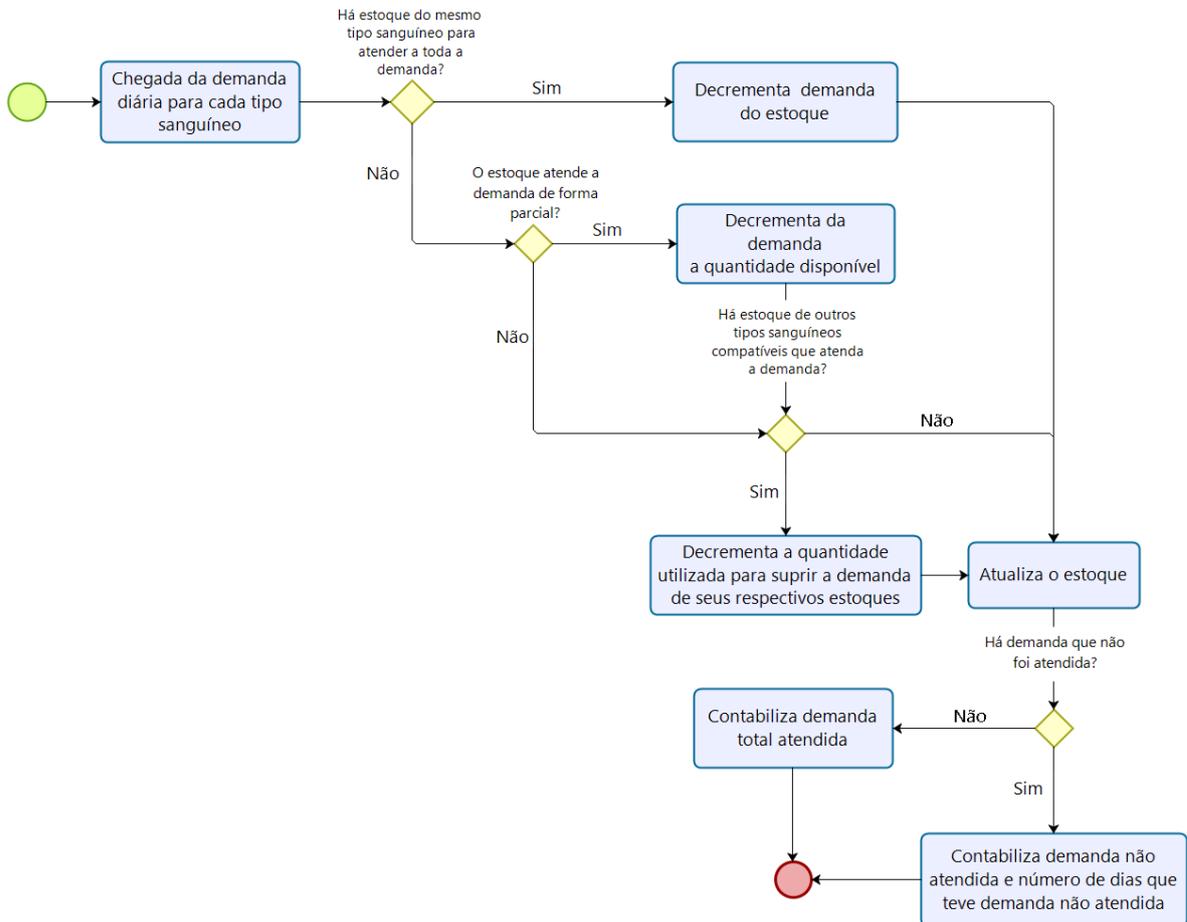


Figura 4.5 – Atendimento da demanda para os hospitais conveniados Tipo II, agências transfusionais e ambulatórios

Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com os dados disponibilizados, percebe-se que não há demanda para todos os tipos sanguíneos todos os dias. Dessa forma, é calculado inicialmente para cada hemocentro

o percentual de dias que não houve demanda para cada tipo sanguíneo ($PerDem_{s,hemo}$). Feito isso, sorteia-se se existirá ou não demanda para cada tipo sanguíneo s utilizando o atributo $ProbDem_{s,hemo}$ a partir de uma distribuição de uniforme entre 0 e 1. Em seguida, para os dias que existir demanda, a quantidade de bolsas demandada para cada hemocentro é estimada a partir de uma distribuição de probabilidade ($DistDem_{s,hemo}$) obtida a partir dos dados disponibilizados pela HEMOSC. Esse processo está descrito no Algoritmo 4.

Algoritmo 4: Chegada da demanda por tipo sanguíneo

```

1 Gera entidade  $E_{Dem,hemo}$ ;
2 for  $s \in \{1, \dots, S\}$  do
3    $ProbDem_{s,hemo} \leftarrow UNIF(0, 1)$ ;
4    $PerDem_{s,hemo} \leftarrow$  percentual de dias sem demanda do tipo sanguíneo  $s$ ;
5   if ( $ProbDem_{s,hemo} > PerDem_{s,hemo}$ ) then
6      $Dem_{s,hemo} \leftarrow DistDem(s),hemo$ ;
7      $Dem(1)_{s,hemo} \leftarrow INT(ProbAtd1_{hemo} * Dem_{s,hemo})$ ;
8      $Dem(2)_{s,hemo} \leftarrow INT(ProbAtd2_{hemo} * Dem_{s,hemo})$ ;
9      $DemAux(1)_{s,hemo} \leftarrow Dem(1)_{s,hemo}$ ;
10     $DemAux(2)_{s,hemo} \leftarrow Dem(2)_{s,hemo}$ ;
11  end
12 end

```

Depois de atribuída a demanda total para cada tipo sanguíneo e para cada hemocentro ($Dem_{s,hemo}$) é determinada a quantidade que será atendida por tipo de atendimento. Assim, baseado nos dados de transfusão sanguínea, percebe-se que cada hemocentro apresenta uma probabilidade de atendimento da demanda diferente de acordo com o tipo de convênio existente, conforme pode ser visto na Tabela 4.11. Portanto, de acordo com essa proporção é determinado, para cada tipo sanguíneo, a demanda para cada tipo de atendimento (linhas 7-8). As variáveis auxiliares ($DemAux(1)_{s,hemo}$ e $DemAux(2)_{s,hemo}$) são utilizadas para armazenar os valores de $Dem(1)_{s,hemo}$ e $Dem(2)_{s,hemo}$.

Tabela 4.11 – Porcentagem de atendimento da demanda Tipo I e Tipo II por hemocentro

Hemocentro	Demanda Tipo I	Demanda Tipo II
FLN	4,31%	95,69%
BNU	80,80%	19,20%
LGS	100,00%	0,00%
JVE	65,20%	34,80%
CUA	95,74%	4,26%
JBA	82,18%	17,82%
CCO	19,07%	80,93%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Independente do tipo de atendimento realizado, é verificado inicialmente a possibilidade de atendimento da demanda através das bolsas de mesmo tipo sanguíneo. Esse processo é representado pelo Algoritmo 5.

Para cada hemocentro, para cada tipo sanguíneo s e para cada tipo de atendimento da demanda ($TipoAtd$), é analisada a possibilidade de atendimento total (linhas 4 - 9) ou parcial (10 - 17) de bolsas com o mesmo tipo sanguíneo e é realizada a atualização do estoque. Esse processo é feito enquanto houver demanda a ser atendida e estoque disponível considerando todas as datas de validade.

Algoritmo 5: Atendimento da demanda utilizando o mesmo tipo sanguíneo

```

1 for  $hemo \in \{1, \dots, Hemo\}$  do
2   for  $s \in \{1, \dots, S\}$  do
3     for  $TipoAtd \in \{1, 2\}$  do
4       while
5          $(DemAux(TipoAtd)_{s,hemo} > 0)$  and  $(DemAux(TipoAtd)_{s,hemo} \leq$ 
6            $EstDisp_{s,hemo})$  and  $(j \leq Imax)$  do
7           if  $(Est_{j,s,hemo} \geq DemAux(TipoAtd)_{s,hemo})$  then
8              $Est_{j,s,hemo} \leftarrow Est_{j,s,hemo} - DemAux(TipoAtd)_{s,hemo};$ 
9              $EstDisp_{s,hemo} \leftarrow EstDisp_{s,hemo} - DemAux(TipoAtd)_{s,hemo};$ 
10             $DemAux(TipoAtd)_{s,hemo} \leftarrow 0$ 
11          end
12          else if
13             $(Est_{j,s,hemo} < DemAux(TipoAtd)_{s,hemo})$  and  $(Est_{j,s,hemo} > 0)$ 
14            then
15               $EstDisp_{s,hemo} \leftarrow EstDisp_{s,hemo} - Est_{j,s,hemo};$ 
16               $DemAux(TipoAtd)_{s,hemo} \leftarrow$ 
17                 $DemAux(TipoAtd)_{s,hemo} - Est_{j,s,hemo};$ 
18               $Est_{j,s,hemo} \leftarrow 0;$ 
19              else if  $(Est_{j,s,hemo} = 0)$  then
20                 $j \leftarrow j + 1;$ 
21              end
22            end
23          end
24        end
25      end
26    end
27  end

```

Se ainda houver demanda a ser atendida, é analisada a possibilidade de atendimento a partir de outro tipo sanguíneo compatível (Algoritmo 6). No entanto, essa verificação não é realizada para os atendimentos Tipo I, pois não é realizada a substituição de uma bolsa em falta por outra compatível nesse caso. Assim, quando a demanda for Tipo I, é realizada a contabilização do estoque não atendido ($Rupturas_{s,hemo}$) e da quantidade de dias em que não houve atendimento da demanda ($NDR_{s,hemo}$). Em contrapartida, se ainda houver demanda para os atendimentos Tipo II, é verificado a possibilidade de atendimento a partir de outros tipos sanguíneos compatíveis (linhas

8-32). Caso haja estoque do tipo sanguíneo compatível, é realizado o atendimento total (linhas 12-17) ou parcial (linhas 18-25). Esse procedimento é realizado até que seja feita a verificação de todos os tipos sanguíneos compatíveis em todas as datas de validade e enquanto houver demanda a ser atendida. Por fim, caso ainda houver demanda a ser atendida, é contabilizada a quantidade de bolsas não atendidas (*Rupturas_s*) e incrementa-se os dias que não houve atendimento da demanda na variável *NDR_s* (linhas 27-30).

Algoritmo 6: Atendimento da demanda utilizando tipos sanguíneos compatíveis e contabilização da demanda não atendida

```

1 for  $s \in \{1, \dots, S\}$  do
2   for  $TipoAtd \in \{1, 2\}$  do
3     if ( $DemAux_s > 0$ ) then
4       if ( $TipoAtd = 1$ ) then
5          $Rupturas_s = Rupturas_s + DemAux(TipoAtd)_s$ ;
6          $NDR_s = NDR_s + 1$ ;
7       end
8       else if ( $TipoAtd = 2$ ) then
9         for ( $aux = 1 \in \{1, \dots, S\}$ ) do
10          if ( $COMP_{s,aux} = 1$ ) and ( $aux \neq s$ ) then
11             $j = 1$ ;
12            while ( $DemAux(TipoAtd)_s > 0$ ) and ( $j \leq$ 
13               $Imax$ ) and ( $EstDisp_{aux} > 0$ ) do
14              if ( $Est_{j,aux} \geq DemAux(TipoAtd)_s$ ) then
15                 $Est_{j,aux} \leftarrow Est_{j,aux} - DemAux(TipoAtd)_s$ ;
16                 $EstDisp_{aux} \leftarrow EstDisp_{aux} - DemAux(TipoAtd)_s$ ;
17                 $DemAux(TipoAtd)_s \leftarrow 0$ ;
18              end
19              else if
20                ( $Est_{j,aux} < DemAux(TipoAtd)_s$  and ( $Est_{j,aux} > 0$ )
21                then
22                 $DemAux(TipoAtd)_s \leftarrow$ 
23                   $DemAux(TipoAtd)_s - Est_{j,aux}$ ;
24                 $EstDisp_{aux} \leftarrow EstDisp_{aux} - Est_{j,aux}$ ;
25                 $Est_{j,aux} \leftarrow 0$ ;
26                else if ( $Est_{j,aux} = 0$ ) then
27                   $j = j + 1$ ;
28                end
29              end
30            end
31          end
32        end
33      end
34    end
35  end
36 end

```

4.1.4 Remanejamento do estoque entre os hemocentros

No módulo de remanejamento do estoque é realizada a verificação da necessidade de transferência de bolsas de sangue entre os hemocentros da rede. Nessa verificação, o estoque de cada tipo sanguíneo em cada hemocentro é comparado com o estoque de segurança estabelecido (Tabela 3.1). O procedimento de remanejamento do estoque está representado na Figura 4.6 e a sua modelagem detalhada pode ser vista nos Algoritmos 7 e 8.

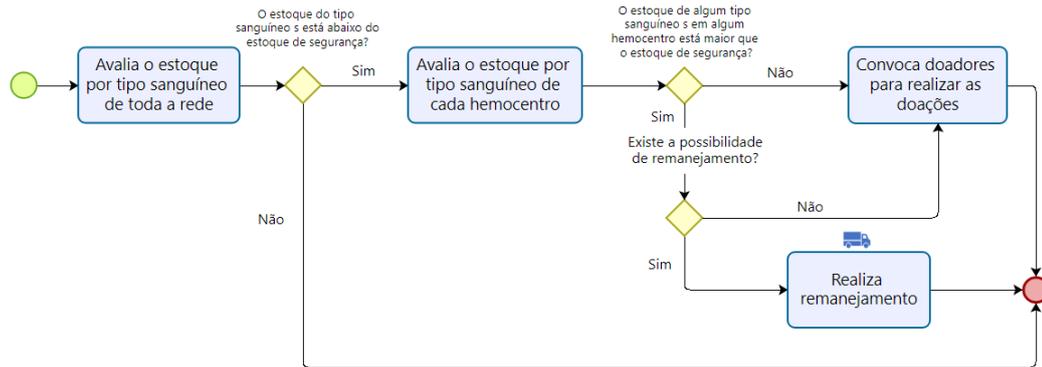


Figura 4.6 – Processo de remanejamento do estoque

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao iniciar o processo de remanejamento do estoque para cada hemocentro é gerada a entidade $E_{Rem,hemo}$ que é utilizada para verificar a necessidade de transferência das bolsas sanguíneas entre os hemocentros. Feito isso, são avaliados os tempos de deslocamento entre os hemocentros (Tabela 4.12) para a criação de uma lista ordenada com os índices dos hemocentros mais próximos, variando de 1 a 7, para cada hemocentro.

Tabela 4.12 – Tempo de deslocamento entre os hemocentros (horas)

	FLN	BNU	LGS	JVE	CUA	JBA	CCO
FLN	∞	3	6	7,5	4,5	11	15
BNU	3	∞	8	9	7	7	10,5
LGS	6	8	∞	16	8,5	4,5	8
JVE	7,5	9	16	∞	8,5	11	14
CUA	4,5	7	8,5	8,5	∞	9	14
JBA	11	7	4,5	11	9	∞	3,5
CCO	15	10,5	8	14	14	3,5	∞

Posteriormente, para cada tipo sanguíneo é calculada a quantidade necessária de bolsas do tipo sanguíneo s que precisam ser abastecidas ao hemocentro $hemo$ (linha 4). A variável auxiliar $AUX Rem_{s,hemo}$ é utilizada para armazenar a quantidade remanejada por tipo sanguíneo s do hemocentro $hemo$ ($QtdRem_{s,hemo}$). Em seguida, é verificado para cada hemocentro a

possibilidade de atendimento da quantidade de remanejamento total do solicitante (linhas 12 - 35). Nesse caso, compara-se a quantidade solicitada para remanejamento ($QtdRem_{s,hemo}$) com o estoque de segurança desse hemocentro (linha 12), sabendo que não há remanejamento de estoque entre o mesmo hemocentro.

Caso o estoque seja superior, é verificado se o estoque com data de validade j ($Est_{s,j,x}$) possui estoque acima da quantidade solicitada para remanejamento. Se sim, é realizado o atendimento dessa quantidade (linhas 14 - 20). Caso contrário, é realizado o atendimento parcial em cada estoque com data de validade j , até que a variável $AUXRem_{s,hemo}$ seja completamente atendida, ou até que tenha sido verificado todas as datas de validades disponíveis (linhas 21 - 31). Caso a diferença entre o estoque disponível e o estoque de segurança seja inferior a quantidade solicitada para remanejamento, é verificado sucessivamente para os próximos hemocentros da lista $HemoMaisProx_{hemo}[i]$ se algum deles consegue realizar o atendimento total. No entanto, caso nenhum hemocentro consiga atender totalmente a quantidade solicitada será realizado o atendimento parcial pelo hemocentro mais próximo, conforme descrito no Algoritmo 8.

O Algoritmo 8 descreve o atendimento parcial das bolsas sanguíneas s , seguindo a mesma lógica anterior. Porém, é permitido, caso seja necessário, que mais de um hemocentro forneça a quantidade de bolsas solicitadas. Vale ressaltar, que a verificação é feita seguindo a ordem dos hemocentros mais próximos ($HemoMaisProx_{hemo}[i]$). O máximo permitido pra remanejamento será a diferença entre o estoque disponível e o estoque de segurança ($EstDisp_{s,hemo} - EstSeg_{shemo}$) (linha 6), uma vez que não é permitido que o hemocentro doador das bolsas permaneça com o estoque disponível inferior ao estoque de segurança devido a solicitações de remanejamento feito por outro hemocentro. Além disso, ao final do algoritmo é contabilizado a quantidade de bolsas do tipo sanguíneo s que não foram atendidas no remanejamento para o hemocentro $hemo$ através da variável $QNA_{s,hemo}$ e a quantidade de dias em que não houve remanejamento atendido para o tipo sanguíneo s para o hemocentro $hemo$ ($NDSREM_{s,hemo}$) (linhas 35 e 36).

Algoritmo 7: Remanejamento do estoque entre os hemocentros - Atendimento total

```

1 for  $hemo \in \{1, \dots, Hemo\}$  do
2   Gera entidade  $E_{Rem,hemo}$ ;
3    $j = 1$ 
4   for  $s \in \{1, \dots, S\}$  do
5      $QtdRem_{s,hemo} \leftarrow EstSeg_{s,hemo} - EstDisp_{s,hemo}$ 
6      $AUXRem_{s,hemo} \leftarrow QtdRem_{s,hemo}$ 
7     for  $i \in \{1, \dots, Hemo\}$  do
8        $x \leftarrow HemoMaisProx_{hemo}[i]$ 
9       if ( $HemoMaisProx_{hemo}[i] = hemo$ ) then
10        | não faz remanejamento para o próprio hemocentro
11      end
12      else
13        if ( $EstDisp_{s,x} - EstSeg_{s,x} > QtdRem_{s,hemo}$ ) then
14          while ( $AUXRem_{s,hemo} > 0$  and  $j \leq Imax$ ) do
15            if ( $Est_{j,s,x} \geq AUXRem_{s,hemo}$ ) then
16               $Est_{j,s,x} = Est_{j,s,x} - AUXRem_{s,hemo}$ 
17               $EstDisp_{s,x} = EstDisp_{s,x} - AUXRem_{s,hemo}$ 
18               $Est_{j,s,hemo} = Est_{j,s,hemo} + AUXRem_{s,hemo}$ 
19               $EstDisp_{s,hemo} = EstDisp_{s,hemo} + AUXRem_{s,hemo}$ 
20               $AUXRem_{s,hemo} = 0$ 
21            end
22            else if ( $Est_{j,s,x} < AUXRem_{s,hemo}$  and  $Est_{j,s,x} > 0$ ) then
23               $Est_{j,s,x} = 0$ 
24               $EstDisp_{s,x} = EstDisp_{s,x} - Est_{j,s,x}$ 
25               $Est_{j,s,hemo} = Est_{j,s,hemo} + Est_{j,s,x}$ 
26               $EstDisp_{s,hemo} = EstDisp_{s,hemo} + Est_{j,s,x}$ 
27               $AUXRem_{s,hemo} = AUXRem_{s,hemo} - Est_{j,s,x}$ 
28               $j = j + 1$ 
29            end
30            else if ( $Est_{j,s,x} = 0$ ) then
31              |  $j = j + 1$ 
32            end
33          end
34           $RemParcial_{s,hemo} = 0$ 
35           $i = 7$ 
36        end
37         $RemParcial_{s,hemo} = 1$ 
38      end
39    end
40  end

```

Algoritmo 8: Remanejamento do estoque entre os hemocentros - Atendimento parcial pelo hemocentro mais próximo

```

1 j = 1
2  $QtdRem_{s,hemo} \leftarrow EstSeg_{s,hemo} - EstDisp_{s,hemo}$ 
3  $AUXRem_{hemo} \leftarrow QtdRem_{s,hemo}$ 
   for  $s \in \{1, \dots, Hemo\}$  do
4    $x \leftarrow HemoMaisProx_{hemo}[i]$ 
5   if  $((EstDisp_{s,x} - EstSeg_{s,x}) > 0)$  then
6      $retira_x = EstDisp_{s,x} - EstSeg_{s,x}$ 
7      $AUXretira_x = retira_x$ 
8     while  $(AUXretira_x > 0 \text{ and } j \leq Imax)$  do
9       if  $(Est_{j,s,x} \geq AUXretira_x)$  then
10         $Est_{j,s,x} = Est_{j,s,x} - AUXretira_x$ 
11         $EstDisp_{s,x} = EstDisp_{s,x} - AUXretira_x$ 
12         $Est_{j,s,hemo} = Est_{j,s,hemo} + AUXretira_x$ 
13         $EstDisp_{s,hemo} = EstDisp_{s,hemo} + AUXretira_x$ 
14         $AUXRem_{hemo} = AUXRem - AUXretira_x$ 
15         $AUXretira_x = 0$ 
16      end
17      else if  $(Est_{j,s,x} \leq retira_x \text{ and } Est_{j,s,x} > 0)$  then
18         $retira_x = retira_x - Est_{j,s,x}$ 
19         $EstDisp_{s,x} = EstDisp_{s,x} - Est_{j,s,x}$ 
20         $Est_{j,s,hemo} = Est_{j,s,hemo} + Est_{j,s,x}$ 
21         $EstDisp_{s,hemo} = EstDisp_{s,hemo} + Est_{j,s,x}$ 
22         $Est_{j,s,x} = 0$ 
23         $j = j + 1$ 
24      end
25      else if  $(Est_{j,s,x} = 0)$  then
26         $j = j + 1$ 
27      end
28    end
29  end
30  if  $AUXRem_{hemo} = 0$  then
31     $i = 8$ 
32  end
33 end
34 if  $AUXRem_{hemo} > 0$  then
35    $QNAR_{s,hemo} = QNAR_{s,hemo} + AUXRem_{hemo}$ 
36    $NDSREM_{s,hemo} = NDSREM_{s,hemo} + 1$ 
37 end

```

4.1.5 Gerenciamento do estoque

Após realizar o remanejamento do estoque, o módulo de gerenciamento do estoque é iniciado. Nesse módulo é verificado para cada hemocentro a data de validade de cada bolsa e contabilizadas as perdas das bolsas que tiveram sua data de validade expirada.

O processo de verificação das validades das bolsas sanguíneas é realizado diariamente às 00:00 h. Esse processo de retirada das bolsas do estoque por expiração (Figura 4.7) foi desenvolvido por Magalhães (2018).

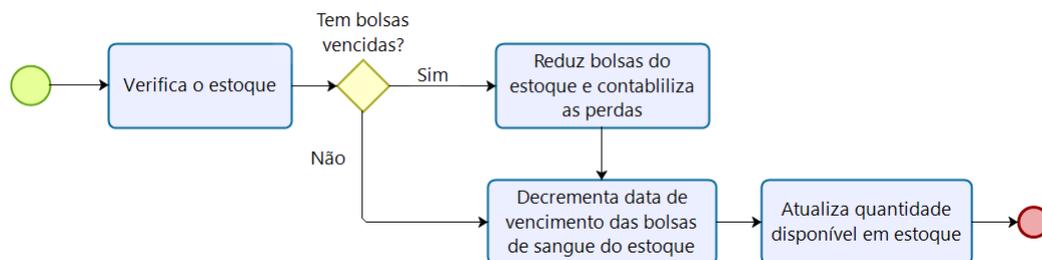


Figura 4.7 – Processo de gerenciamento do estoque

Fonte: Magalhães (2018).

O procedimento de gerenciamento do estoque é descrito pelo Algoritmo 9. Ao iniciar o processo de gerenciamento do estoque em cada hemocentro, é gerada a entidade $Eval_{hemo}$ que realiza a verificação das datas de validades das bolsas de sangue. A partir disso, é avaliado para cada tipo sanguíneo as bolsas que vencem no dia corrente em cada hemocentro ($Est_{0,s}$), ou seja, as que se encontram na primeira linha da Tabela 4.6. Feito isso, é contabilizado na variável ($Perdas_s$) o total de bolsas descartadas devido a expiração da data de validade para cada tipo sanguíneo s em cada hemocentro e , em seguida, é realizado o descarte dessas bolsas do estoque. Após o descarte dessas bolsas, decrementa-se a data de validade em um dia, a partir da transferência das bolsas de cada linha ($i + 1$) para a linha imediatamente superior (i). Por último, é realizado o descarte das bolsas que se encontram na última linha, em função da data de validade.

4.2 Implementação Computacional

Concluída a etapa de construção do modelo conceitual e das coletas dos dados, faz-se necessário prosseguir para a etapa de implementação computacional, conforme pode ser visto na Figura 2.5. Todo o modelo computacional foi implementado no *software* de simulação Arena.

Após a implementação computacional do modelo, é necessário iniciar o processo de verificação e validação, sendo essa uma das etapas mais importante de um projeto de simulação. Nessa fase, são identificados e corrigidos os erros do modelo com o objetivo de tornar o modelo computacional o mais próximo do sistema real estudado.

Algoritmo 9: Gerenciamento do estoque

```

1 Gera entidade  $E_{val}$ ;
2 for  $s \in \{1, \dots, S\}$  do
3   |  $Perdas_s \leftarrow Perdas_s + Est_{0,s}$ ;
4   |  $Est_{0,s} \leftarrow 0$ ;
5 end
6 for  $i \in \{1, \dots, I_{max}\}$  do
7   | for  $s \in \{1, \dots, S\}$  do
8     |  $Est_{i,s} \leftarrow Est_{i+1,s}$ ;
9   | end
10 end
11 for  $s \in \{1, \dots, S\}$  do
12 |  $Est_{I_{max},s} \leftarrow 0$ ;
13 end

```

Sendo assim, logo após a implementação foi realizada a verificação do modelo. Devido a extensão do modelo proposto, houve a necessidade de utilizar a verificação modular de forma a reduzir as possibilidades de erros bem como facilitar as correções dos mesmos durante a implementação. Dessa forma, inicialmente foi implementado o módulo de Inicialização do Estoque onde foi verificado se os estoques estavam inicializando dentro da capacidade de armazenamento por tipo sanguíneo e obedecendo a quantidade proposta.

Feito isso, foi implementado o módulo de Coleta, Produção e Estoque para representar a chegada diária das coletas de cada tipo sanguíneo, a produção, testes e entrada dessas bolsas de sangue em estoque. Nesse módulo, foram verificadas as quantidades de coletas realizadas bem como o comportamento das filas na etapa de produção e testes. Além disso, foi utilizado o *debugger* de forma a facilitar a visualização dos eventos, bem como os valores das variáveis e possíveis erros existentes.

O terceiro módulo implementado foi o de Atendimento da Demanda, onde foi verificado se os tipos de atendimentos e os consumos das bolsas por tipo sanguíneo seguiam a mesma lógica e proporções do sistema real. No módulo de Gerenciamento do Estoque, foi verificado se as manipulações dos estoques frente as datas de validades seguiam a regra proposta e se o descarte e a quantificação das bolsas vencidas estavam sendo realizado.

Tendo todos esses módulos verificados, fez-se necessário a replicação desses módulos para todos os sete hemocentros existentes, para que assim, fosse possível a implementação do módulo de Remanejamento de Estoque entre os hemocentros, responsável por representar a movimentação dos estoques entre os hemocentros. Nesse módulo, foi verificado o nível de estoque em cada hemocentro e os remanejamentos realizados entre os hemocentros.

Após a verificação de todos os módulos foi realizada a validação do modelo. A técnica utilizada para a validação foi a "*face a face*", onde um profissional qualificado sobre o processo estudado avalia todo o fluxo elaborado. Durante toda a construção do modelo houve o auxílio

de um profissional da HEMOSC, que também validou o modelo garantindo que a lógica implementada corresponde ao funcionamento do sistema real. Além disso, o teste *t-pareado* foi utilizado para realizar a validação operacional do modelo onde foi verificado se a média dos resultados reais obtidos através dos dados históricos de dez anos são estatisticamente equivalentes aos resultados obtidos pela simulação.

A primeira validação operacional realizada no modelo foi com relação a quantidade de coletas realizadas, onde foi utilizado o teste *t-pareado* para comparar as dez amostras reais com as quarentas replicações realizadas pelo modelo. As replicações foram agrupadas em quatro grupo de dez dados com o objetivo de garantir a equivalência com a quantidade de dados reais, como mostrado na Tabela 4.13. Feito isso, foi calculado o *p-valor* de cada grupo e foi possível concluir que, para um nível de 95% de confiança, não há diferença significativa entre a média dos resultados reais e a média dos resultados simulados, uma vez que os *p-valores* foram superiores a 0,05.

Tabela 4.13 – Validação operacional – Coletas totais da rede

Dados reais	SIMUL 1 Rep: 1 a 10	SIMUL 2 Rep: 11 a 20	SIMUL 3 Rep: 21 a 30	SIMUL 4 Rep: 31 a 40
126.654	120.248	120.941	121.526	121.223
125.108	121.112	120.201	120.572	122.062
125.791	120.317	120.631	120.352	120.511
129.230	121.539	120.840	120.747	121.086
130.960	120.588	120.106	120.501	120.506
118.316	122.079	121.879	121.037	121.110
118.518	121.328	120.353	121.332	120.990
124.786	120.903	121.033	121.700	121.133
124.660	120.735	120.983	120.784	119.825
116.736	121.514	121.746	120.535	121.428
P-valor	0,09364	0,08006	0,06895	0,07937

Fonte: Elaborado pelo autor.

Outra validação operacional realizada foi a avaliação do total de demandas atendidas por ano, onde foi verificado se os dados reais e os dados simulados são estatisticamente equivalentes. A lógica utilizada para realizar essa comparação foi a mesma utilizada anteriormente. Dessa forma, é utilizado o teste *t-pareado* comparando-se as dez amostras reais com as quarentas replicações agrupadas de dez em dez garantindo a equivalência com a quantidade de dados reais. Assim, foi calculado o *p-valor* de cada grupo onde foi possível concluir que, para um nível de 95% de confiança, não há diferença significativa entre a média dos resultados reais e a média dos resultados simulados, uma vez que os *p-valores* foram superiores a 0,05 (Tabela 4.14). Portanto,

pode-se concluir pela validação do modelo implementado.

Tabela 4.14 – Validação operacional – Demandas totais da rede

Dados reais	SIMUL 1 Rep: 1 a 10	SIMUL 2 Rep: 11 a 20	SIMUL 3 Rep: 21 a 30	SIMUL 4 Rep: 31 a 40
105.656	107.214	107.788	106.769	107.169
107.218	108.425	106.918	106.510	106.025
107.788	107.388	107.268	105.297	108.537
107.689	106.490	107.300	108.673	106.319
104.284	104.649	104.810	107.868	105.997
102.419	105.195	108.722	108.060	105.789
102.850	106.626	107.126	104.587	106.318
105.748	106.626	106.283	106.889	108.838
105.979	105.883	105.607	107.504	106.440
104.722	106.077	107.995	107.190	105.195
P-valor	0,05702	0,06914	0,06018	0,05313

Fonte: Elaborado pelo autor.

5 Experimentos computacionais e análise dos resultados

Neste capítulo são apresentados os principais experimentos computacionais realizados da simulação, bem como todas as análises das variáveis de desempenho, taxa de ocupação dos estoque. Além disso, serão avaliados os cenários de aumento de demanda e centralização da produção.

5.1 Planejamento de Experimentos

Após a etapa de verificação e validação do modelo computacional, a etapa de experimentação computacional pode ser realizada. Segundo Chwif e Medina (2015), os experimentos computacionais podem ser desenvolvidos utilizando linguagem de programação, linguagem de simulação ou simulador. Neste trabalho será utilizado o *software* Arena para a realização dos experimentos necessários.

O processo de experimentação computacional consiste em entradas aleatórias, onde cada replicação ou experimento também irá fornecer saídas aleatórias (CHWIF; MEDINA, 2015). Portanto, realizar apenas uma replicação não é suficiente para obter conclusões utilizando o modelo. Dessa forma, faz-se necessário definir o número de replicações ideal a partir de níveis de confiança estatística e precisão desejáveis para as medidas de desempenho analisadas.

Segundo Chwif e Medina (2015), o número de replicações ideal pode ser calculado a partir da Equação 5.1.

$$n^* = \left[n \left(\frac{h}{h^*} \right)^2 \right] \quad (5.1)$$

onde:

n^* : número de replicações para uma precisão de h^* para uma medida de desempenho.

n : número de replicações iniciais.

h^* : precisão desejada.

h : precisão inicial.

Inicialmente, foram realizadas dez replicações e avaliada a medida de desempenho, percentual de perdas da hemorrede, conforme pode ser visto na Tabela 5.1. Feito isso, foi calculado a precisão da amostra através da Equação 5.2, obtendo o valor 0,75%. Considerando um nível de confiança de 5% com uma precisão de $\pm 2,5\%$ da média ($h^* = 0,30\%$) fez-se

necessário utilizar a Equação 5.1 para calcular o número de replicações ideal, uma vez que a precisão da amostra foi superior a desejada, obtendo o valor de 64 replicações.

$$h = t_{n-1;\alpha/2} \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (5.2)$$

onde:

h : metade do tamanho do intervalo, denominada precisão amostral.

$t_{n-1;\alpha/2}$: percentil da distribuição t de Student com n-1 graus de liberdade.

s : desvio padrão da amostra.

n : número de replicações iniciais.

Tabela 5.1 – Análise das saídas dos dados para dez replicações iniciais

Nº Replicações	% Perdas		
1	12,82%	Média	11,96%
2	12,18%		
3	13,14%	Desvio padrão	1,05%
4	11,69%		
5	11,05%	t9,0.025	2,262
6	11,86%		
7	12,19%	h*	0,30%
8	12,17%		
9	12,98%		
10	9,56%		

Fonte: Elaborado pelo autor.

O comportamento das médias acumuladas das perdas totais por replicação pode ser visto na Figura 5.1 em conjunto com o seu valor médio.

Além da definição da quantidade de replicações necessárias, é utilizada uma abordagem de eliminação dos valores obtidos dentro do período de *warm up* (tempo de aquecimento) do sistema. Nesse sentido, considerou-se um período de aquecimento de 365 dias.

5.2 Cenário inicial

O cenário inicial utilizado na simulação considerou todas as premissas adotadas no Capítulo 4, bem como o número de replicações definidas na Seção 5.1. Dessa forma, ao avaliar o cenário inicial tem-se como objetivo verificar o comportamento das variáveis de desempenho

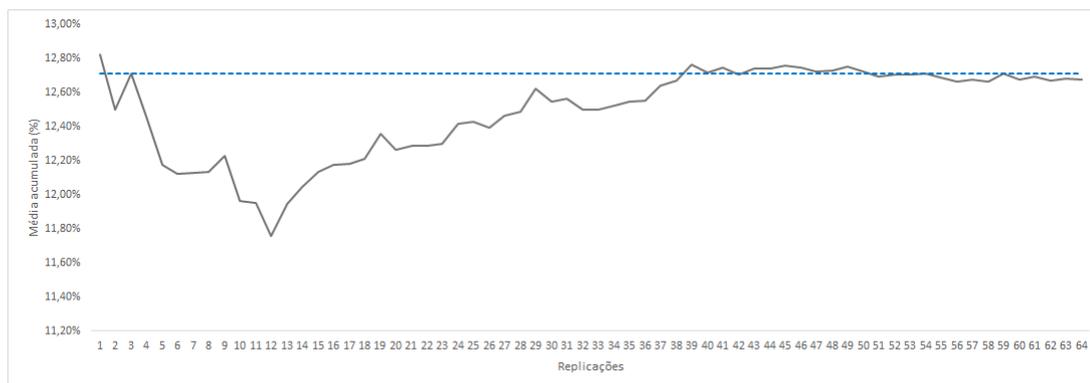


Figura 5.1 – Média acumulada das perdas totais por replicação.

Fonte: Elaborado pelo autor.

que estão descritas na Tabela 4.4. Além dessas variáveis, também são analisados as taxas de utilizações dos equipamentos e o percentual de utilização dos estoques de cada hemocentro.

Após a realização das 64 replicações, percebe-se que a média ponderada da hemorrede (percentual de perdas de cada hemocentro em relação ao volume de coleta por hemocentro) é de 12,75%. Comparando-se esse valor com a média ponderada do percentual de perdas de 2011 a 2020 (5,08%) (Tabela 3.3), é nítida a diferença entre os dois valores. Contudo, essa diferença pode ser explicada devido as premissas que foram utilizadas para modelagem do problema, uma vez que algumas das regras utilizadas pela hemorrede não possuem uma sistemática bem definida para todos os casos, pois a maioria das regras foram baseadas na experiência dos envolvidos e no histórico de ocorrência.

Ao verificar o comportamento por hemocentro, os hemocentros de Chapecó (CCO) e Joinville (JVE) apresentam as maiores taxas de perda (Tabela 5.2). Os hemocentros de Chapecó e Joinville são as últimas escolhas para o envio das bolsas em função das suas distâncias em relação aos outros hemocentros, ou seja, aparentemente suas localizações geográficas influenciam a taxa de perda desses hemocentros.

Percebe-se também que existe uma variação da proporção de perda por tipo sanguíneo, sendo os tipos sanguíneos AB^- e AB^+ os responsáveis pelas maiores proporções (Figura 5.2). Quando avalia-se as proporções por tipo sanguíneo da população brasileira e do total de transfusões da hemorrede (Figura 5.3), percebe-se que esses dois tipos sanguíneos são encontrados numa menor parcela da população e, conseqüentemente, uma menor demanda de transfusão. Além disso, devido a questão de compatibilidade sanguínea, esses dois tipos também não podem ser usados na maioria dos casos demandados. Por fim, avaliando o comportamento das perdas por tipo sanguíneo e por hemocentro (Figura 5.4), percebe-se que o tipo sanguíneo O^- apresenta uma baixa perda por vencimento em todos os hemocentros. O tipo O^- pode ser utilizado em todas as transfusões (doador universal) e é especialmente útil em situações em que não se conhece o tipo sanguíneo do receptor.

Tabela 5.2 – Percentual de perdas por hemocentro

HEMOCENTRO	% PERDAS
BNU	8,26%
CCO	28,72%
CUA	3,42%
FLN	7,89%
JBA	4,39%
JVE	23,43%
LGS	12,64%

Fonte: Elaborado pelo autor.

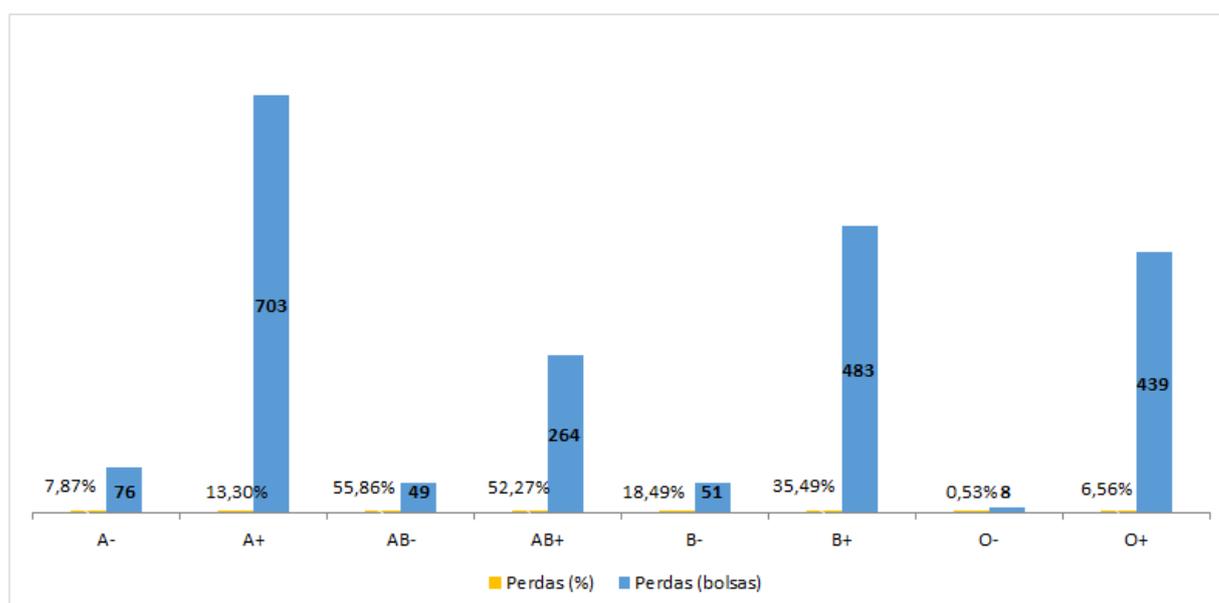


Figura 5.2 – Perdas por tipo sanguíneo.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Outra medida de desempenho importante é o percentual de ruptura da hemorrede. O valor obtido com a média ponderada em relação ao volume de demanda por hemocentro é de 1,18%. Como não há um valor de ruptura da hemorrede disponível dos últimos anos, é levado em consideração o percentual aceitável de não atendimento da demanda utilizado pelo sistema para comparação (10%). Desso modo, verifica-se que o resultado obtido é inferior ao valor tolerável. Essa diferença pode ser explicada pela regra de verificação exaustiva em todos os hemocentros que foi utilizada na modelagem. Essa regra foi utilizada por não existir uma regra sistemática aplicada em todos os casos de remanejamento do estoque.

Avaliando essa medida de desempenho por hemocentro (Tabela 5.3), percebe-se que o hemocentro de Joaçaba apresenta uma maior taxa de não atendimento da demanda, que pode ser explicado por não acontecer nesse hemocentro o processamento das suas bolsas. Essas bolsas

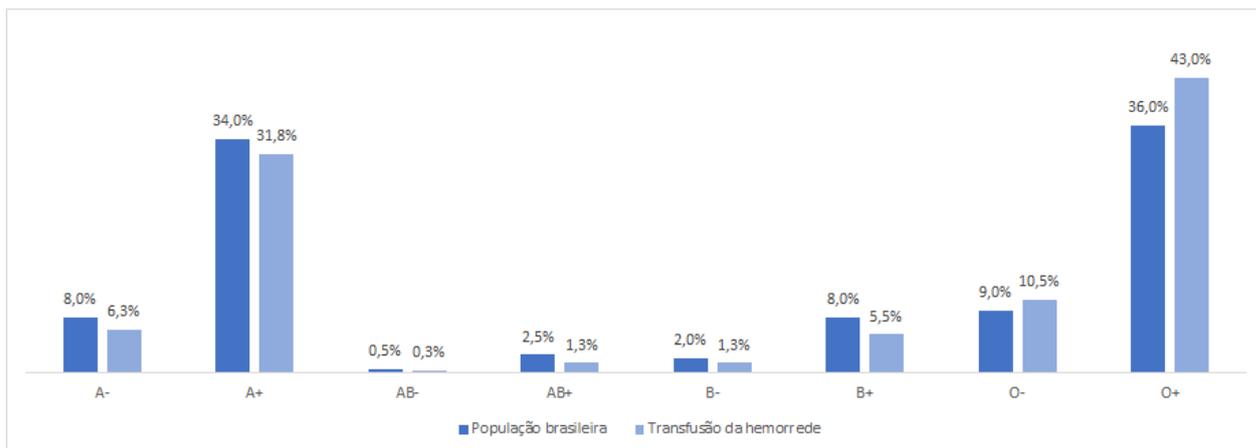


Figura 5.3 – Proporção por tipo sanguíneo da população brasileira x transfusões da hemorrede.

Fonte: Elaborado pelo autor.

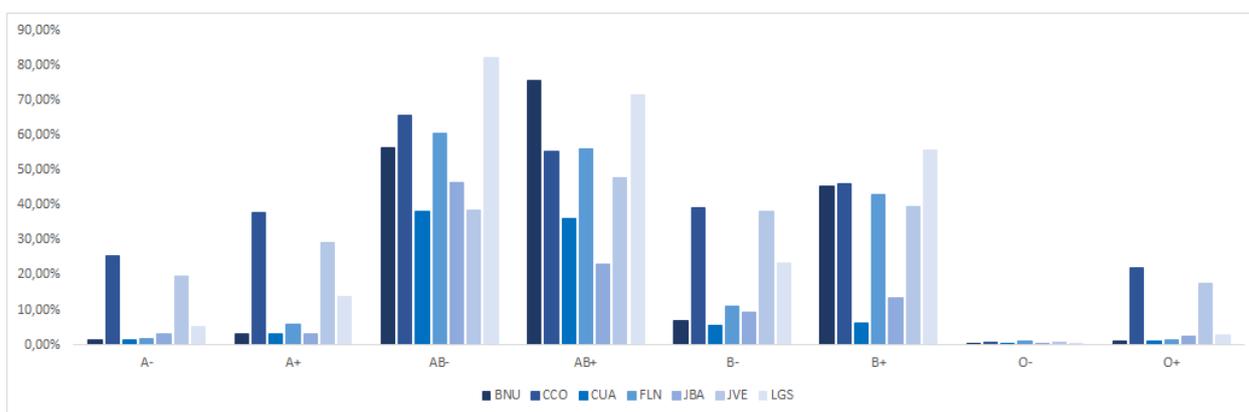


Figura 5.4 – Perdas por tipo sanguíneo e hemocentro.

Fonte: Elaborado pelo autor.

são enviadas para processamento no hemocentro de Chapecó apenas duas vezes por semana.

Avaliando o percentual de perdas por tipo sanguíneo, percebe-se que os tipos sanguíneos A^+ e O^+ apresentam um valor superior de ruptura quando comparado com os outros tipos sanguíneos (Figura 5.5).

Ao comparar a quantidade de dias que não houve o atendimento da demanda por tipo sanguíneo, percebe-se que a frequência de ocorrência em todos os hemocentros é baixa, exceto no hemocentro de Joaçaba (Figura 5.6). Nesse caso, o O^- , A^- e A^+ são os que apresentam a maior quantidade de dias sem atendimento da demanda.

A quantidade de bolsas solicitadas em remanejamento e não atendidas (QNAR) é uma medida de desempenho importante para análise. Avaliando a hemorrede como um todo, percebe-se que apenas 5,32% das bolsas solicitadas para remanejamento não foram atendidas (Tabela 5.4). Porém, quando é analisado o comportamento por hemocentro esse valor varia de 1,06% a 34,52%, sendo o hemocentro de Criciúma o representante do maior valor absoluto de não atendimento das bolsas solicitadas para remanejamento, obtendo em média 5,7 bolsas não atendidas por dia.

Tabela 5.3 – Percentual de ruptura por hemocentro

HEMOCENTRO	% RUPTURA
BNU	0,13%
CCO	0,02%
CUA	0,64%
FLN	0,17%
JBA	15,48%
JVE	0,01%
LGS	0,01%

Fonte: Elaborado pelo autor.

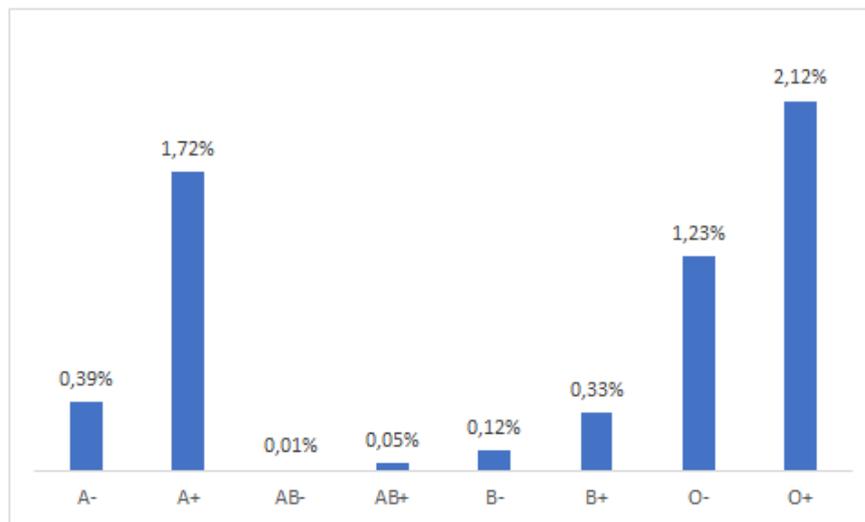


Figura 5.5 – Ruptura por tipo sanguíneo.

Fonte: Elaborado pelo autor.

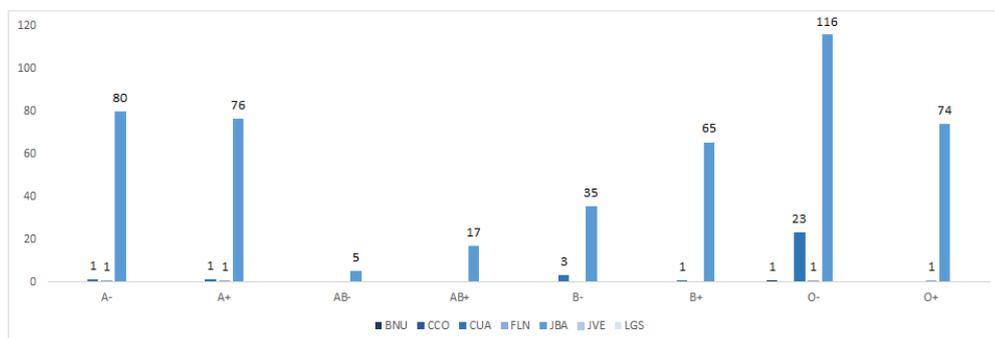


Figura 5.6 – Número de dias sem atendimento da demanda por tipo sanguíneo e hemocentro.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A quantidade não atendida por tipo sanguíneo e hemocentro demonstra que a maior dificuldade de atendimento, para todos os hemocentros, é o tipo sanguíneo O^- , conforme pode ser visto na Figura 5.7. O tipo sanguíneo O^- não possui nenhum outro tipo sanguíneo compatível para

Tabela 5.4 – Quantidade não atendida pelo remanejamento

HEMOCENTRO	QNAR por ano	Remanejamento total por ano	% QNAR	QNAR por dia
FLN	191	1.963	9,71%	0,5
BNU	338	1.620	20,88%	0,9
LGS	42	218	19,21%	0,1
JVE	211	788	26,76%	0,6
CUA	2.071	17.548	11,80%	5,7
JBA	460	43.227	1,06%	1,3
CCO	199	575	34,52%	0,5
Total	3.511	65.939	5,32%	9,6

Fonte: Elaborado pelo autor.

transfusão, assim, avaliando a rede como um todo esse fato acaba interferindo na disponibilidade de atendimento das demandas.

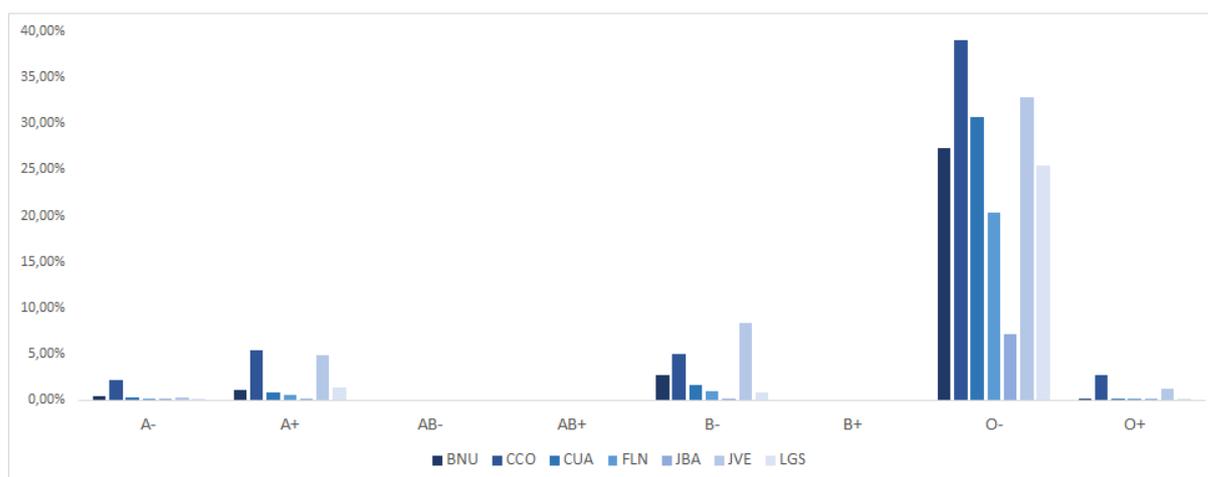


Figura 5.7 – Quantidade não atendida pelo remanejamento por tipo sanguíneo e hemocentro.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Das bolsas que foram atendidas, em média, as bolsas foram utilizadas faltando três dias para o término da sua vida útil (descarte). Esse comportamento por tipo sanguíneo e hemocentro pode ser visualizado na Figura 5.8. Percebe-se que os tipos sanguíneos que apresentam menor tempo de permanência em estoque são o A^+ e O^+ . Esses dois tipos sanguíneos são os mais comuns na população brasileira e conseqüentemente possuem uma maior movimentação de entrada e saída gerando um menor tempo de permanência das bolsas em estoque.

A ocupação do estoque por hemocentro apresentam maior taxa de ocupação nos hemocentros de Florianópolis, Blumenau e Joinville (Tabela 5.5). Esses mesmos hemocentros são os responsáveis também pelas maiores demandas de transfusão de toda a rede.

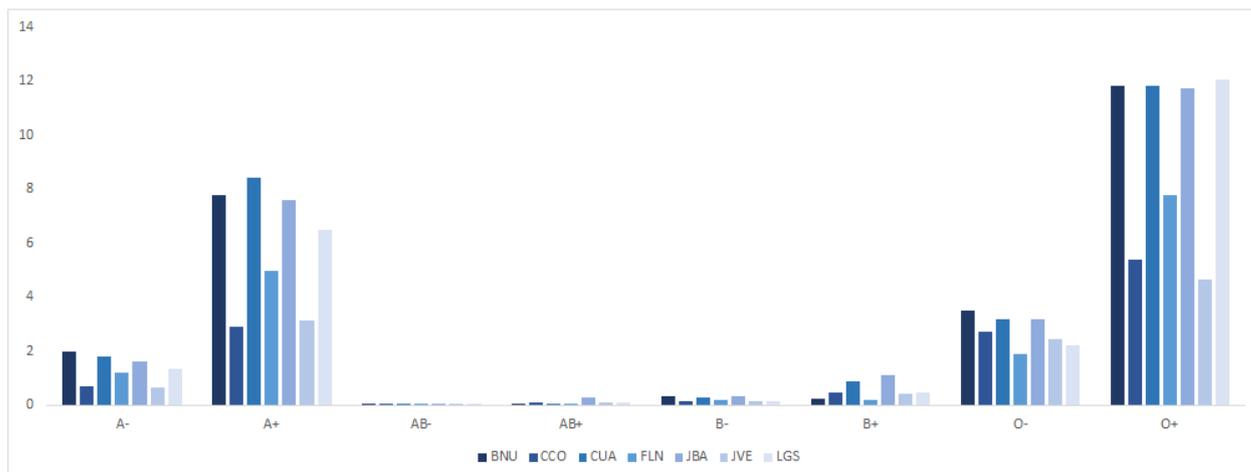


Figura 5.8 – Vida útil restante das bolsas de sangue atendida por tipo sanguíneo e hemocentro (dias).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 5.5 – Taxa de ocupação do estoque por hemocentro

HEMOCENTRO	TAXA DE OCUPAÇÃO DO ESTOQUE
BNU	15,35%
CCO	10,68%
CUA	13,88%
FLN	20,12%
JBA	6,55%
JVE	15,03%
LGS	4,87%

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.3 Cenários considerando aumento de demanda

Conforme mencionado anteriormente, há uma perspectiva de escassez sanguínea nas próximas décadas em função do aumento de idosos (acima de 60 anos) e uma diminuição da população jovem. Essa alteração da pirâmide etária propiciará uma maior necessidade de consumo de sangue, já que a maioria das transfusões são realizadas em pessoas com idade superior a 60 anos.

Ao comparar as projeções da população doadora e idosa de Santa Catarina (Figura 5.9), percebe-se uma tendência de crescimento da população idosa e da população doadora, mesmo que em menor escala, e uma inversão do crescimento da população doadora entre 2050 e 2060. Com isso, a partir desses cenários de aumento de demanda e desproporcional crescimento da oferta que acontecerá nas próximas décadas, torna-se importante a avaliação de como a hemorrede de

Santa Catarina irá se comportar. Dessa forma, nessa sessão serão avaliados cenários considerando os anos 2030, 2040, 2050 e 2060. Vale destacar que 2060 é a projeção mais tardia disponibilizada pelo IBGE (2018).

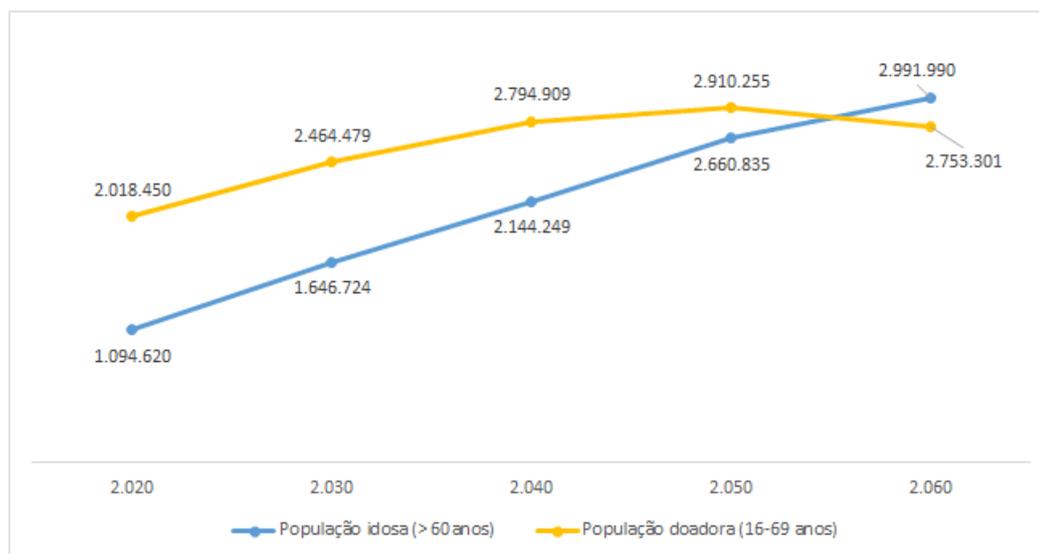


Figura 5.9 – Projeção da população idosa e população doadora de Santa Catarina.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Avaliando os cenários de aumento de demanda em relação ao cenário inicial, percebe-se que haverá uma redução significativa das perdas em toda a hemorrede passando de 12,75% em 2020 para 0,66% em 2060 (Tabela 5.6). Essa redução do total de perdas em relação ao cenário inicial pode ser explicada pelo aumento da demanda ter sido proporcionalmente superior ao aumento da oferta. Portanto, haverá um maior consumo das bolsas em estoque uma vez que a rotatividade das bolsas será maior.

Tabela 5.6 – Percentual de perdas por hemocentro nos cenários de aumento de demanda

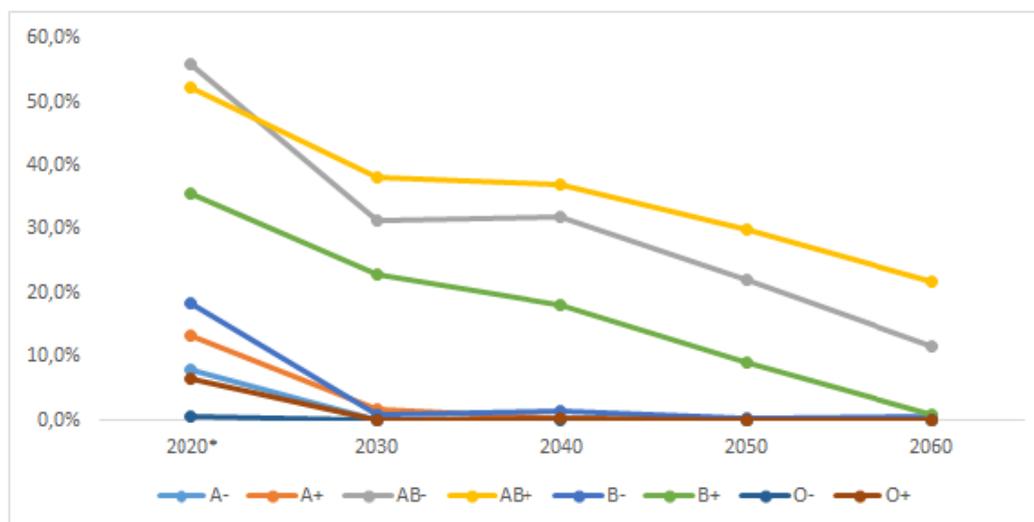
	2020*	2030	2040	2050	2060
BNU	8,26%	4,49%	3,86%	2,26%	1,35%
CCO	28,72%	6,94%	4,01%	2,94%	0,83%
CUA	3,42%	1,20%	0,92%	0,40%	0,19%
FLN	7,89%	2,84%	1,95%	0,89%	0,44%
JBA	4,39%	1,34%	1,02%	0,65%	0,49%
JVE	23,43%	4,14%	2,97%	1,95%	0,48%
LGS	12,64%	4,31%	3,96%	2,55%	1,07%
Média	12,75%	3,60%	2,63%	1,59%	0,66%

* Baseado nos dados extraídos de 2011 a 2020

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 5.10 mostra o comportamento das perdas por tipo sanguíneo ao longo do tempo.

Percebe-se que no ano de 2030 ocorre a maior redução percentual que pode estar associada ao maior aumento de demanda (50,44%) do horizonte analisado. Já a Tabela 5.7 apresenta as perdas em valores absolutos das bolsas por tipo sanguíneo ao longo dos anos. Percebe-se que os tipos sanguíneos A^+ , B^+ e O^+ que apresentavam os maiores valores absolutos de perdas no cenário inicial, apresentaram uma redução significativa nos próximos anos. Já outros tipos sanguíneos como o O^- e B^- que já possuíam baixa perda no cenário inicial, alcançaram valores ainda menores nos anos seguintes. Por outro lado, o tipo sanguíneo AB^+ apresentou uma redução mais discreta que os outros tipos sanguíneos existentes, provavelmente em função desse tipo não poder ser utilizado no atendimento de outros tipos sanguíneos.



* Baseado nos dados extraídos de 2011 a 2020

Figura 5.10 – Perdas por tipo sanguíneo no cenário de aumento de demanda.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação a medida de desempenho, percentual de ruptura, percebe-se que há um aumento de 1,18% do cenário inicial para 20,23% para o cenário de 2060 (Tabela 5.8). Além disso, o maior aumento ocorre entre os anos de 2050 e 2060, justamente quando ocorrerá um aumento da demanda superior a oferta (inversão). No entanto, ao verificar o comportamento por hemocentro percebe-se que os hemocentros Joaçaba e Criciúma são os mais impactados no sistema, uma vez que suas taxas são superiores a 50% enquanto outros hemocentros apresentam taxas menores. Esses valores significam que mais da metade das solicitações de transfusões não serão atendidas nessa região.

Avaliando o percentual de rupturas por tipo sanguíneo, percebe-se um aumento gradual até o ano de 2040 e, logo depois, um aumento maior até o ano de 2060 (Figura 5.11). Esse aumento desproporcional entre os anos pode estar associado aos dados de entrada serem iguais ao cenário inicial, com exceção da demanda. Vale destacar que para avaliar cenários de aumento de demanda seria necessário uma reavaliação dos dados de entrada obtidos diretamente do sistema, uma vez que esse sistema reavaliaria suas entradas ao perceber essas mudanças na demanda. Os

Tabela 5.7 – Perdas em valor absoluto de bolsas por tipo sanguíneo no cenário de aumento de demanda.

	2020*	2030	2040	2050	2060
A-	76	1	2	1	1
A+	703	98	15	0	9
AB-	49	26	30	20	10
AB+	264	230	248	204	134
B-	51	2	4	1	1
B+	483	379	318	156	14
O-	8	2	1	1	0
O+	439	4	10	0	6
Total	2073	741	629	383	175

* Baseado nos dados extraídos de 2011 a 2020

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 5.8 – Percentual de ruptura por hemocentro nos cenários de aumento de demanda

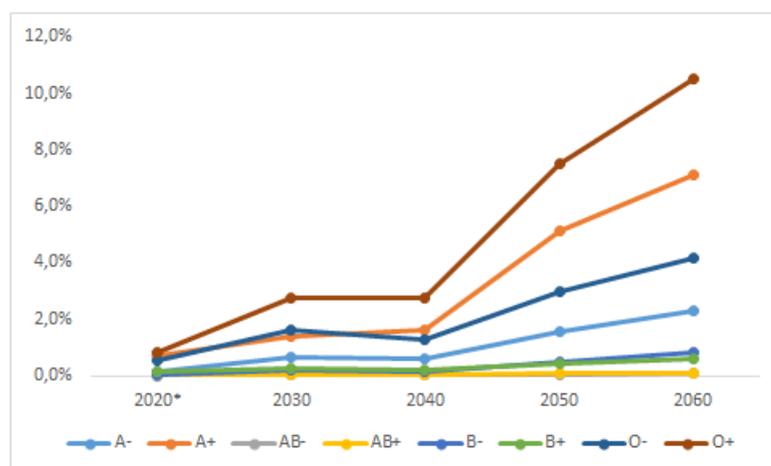
	2020 *	2030	2040	2050	2060
BNU	0,13%	0,82%	1,99%	6,21%	14,46%
CCO	0,02%	0,18%	0,80%	3,32%	9,72%
CUA	0,64%	12,11%	28,24%	49,54%	66,76%
FLN	0,17%	0,20%	0,22%	0,40%	2,33%
JBA	15,48%	34,97%	49,60%	64,51%	76,92%
JVE	0,01%	0,04%	0,10%	1,02%	5,48%
LGS	0,01%	0,36%	1,09%	3,04%	6,35%
Média	1,18%	4,25%	7,81%	13,19%	20,23%

* Baseado nos dados extraídos de 2011 a 2020

Fonte: Elaborado pelo autor.

dados de entrada a serem reavaliados são o estoque de segurança (Tabela 3.1 e 3.2) e a quantidade de equipamentos por hemocentro.

Já em relação a medida de desempenho QNAR (quantidade de bolsas solicitadas em remanejamento e não atendidas) é perceptível um aumento considerável do percentual, passando de 5,32% do cenário inicial para uma média de 45,61% em 2060 (Tabela 5.9). Ao avaliar o valor absoluto de não atendimento por dia, percebe-se que o comportamento em relação às décadas é exponencial ($y = 9 + 292^x$) (Figura 5.12). Quando avalia-se o comportamento por hemocentro, percebe-se que o hemocentro de Criciúma e Joaçaba foram os que apresentaram os maiores crescimentos ao longo do tempo (Figura 5.13).



* Baseado nos dados extraídos de 2011 a 2020

Figura 5.11 – Ruptura por tipo sanguíneo no cenário de aumento de demanda.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 5.9 – Percentual da quantidade não atendida pelo remanejamento nos cenários de aumento de demanda

HEMOCENTRO	% QNAR				
	2020*	2030	2040	2050	2060
FLN	9,71%	24,35%	32,49%	41,88%	47,00%
BNU	20,88%	33,87%	37,80%	44,04%	47,95%
LGS	19,21%	34,07%	38,64%	44,59%	47,67%
JVE	26,76%	38,92%	41,86%	46,39%	48,83%
CUA	11,80%	30,89%	37,19%	43,73%	47,89%
JBA	1,06%	7,29%	12,65%	21,08%	30,88%
CCO	34,52%	43,79%	45,85%	48,32%	49,46%
Média	5,32%	23,17%	31,36%	39,93%	45,61%

* Baseado nos dados extraídos de 2011 a 2020

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quando avalia-se o comportamento da vida útil restante das bolsas de sangue por tipo sanguíneo percebe-se que não haverá diferenças entre o cenário inicial e os cenários de aumento de demanda, conforme pode ser visto na Tabela 5.10.

Em relação a ocupação dos estoques percebe-se um aumento em relação ao cenário inicial até o ano de 2050 e uma queda logo depois, com comportamento bem similar a projeção da população doadora de Santa Catarina (Figura 5.14). Quando compara-se os percentuais por ano do aumento de demanda da população doadora com o aumento do percentual de ocupação do estoque, percebe-se através do teste estatístico ANOVA que não existe diferença significativa entre os dados, mostrando dessa forma que eles possuem uma correlação.

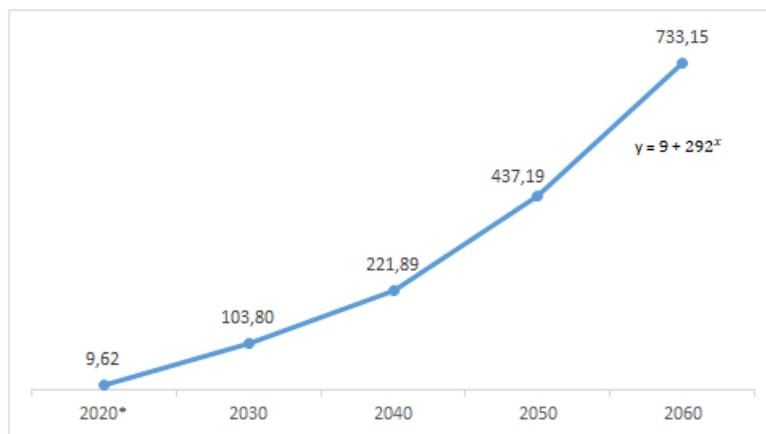
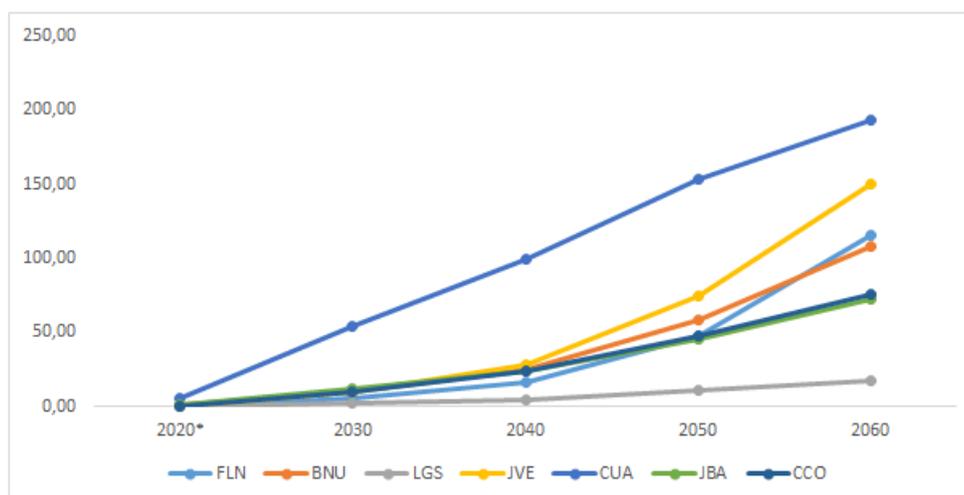


Figura 5.12 – Quantidade de bolsas solicitadas e não atendidas em remanejamento por dia nos cenários de aumento de demanda.

* Baseado nos dados extraídos de 2011 a 2020

Fonte: Elaborado pelo autor.



* Baseado nos dados extraídos de 2011 a 2020

Figura 5.13 – Quantidade de bolsas solicitadas e não atendidas em remanejamento por dia e hemocentro nos cenários de aumento de demanda.

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.4 Cenários de centralização da produção

Em uma rede de suprimento sanguínea o principal objetivo é garantir que todos os pacientes sejam atendidos no tempo estabelecido. Porém, esse atendimento deve ser realizado observando custos e desperdícios. Para que isso ocorra, faz-se necessário avaliar diferentes configurações de cenários que possam impactar a rede, como: questões geográficas, políticas de estoque, custos, quantidade de equipamentos, etc. Osorio et al. (2018) analisaram cadeias de suprimento sanguínea em países desenvolvidos e verificaram que esses países centralizaram as suas redes como forma de garantir melhores níveis de atendimento, redução de custos e desperdícios.

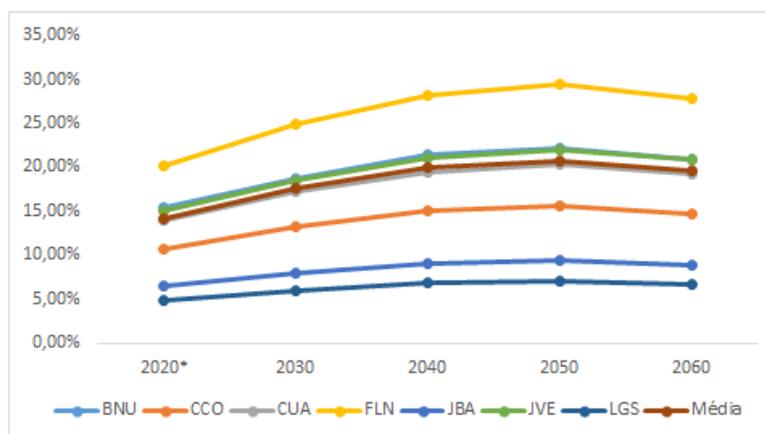
Nesse sentido, foram realizadas análises de cenários com diferentes configuração de

Tabela 5.10 – Vida útil restante das bolsas de sangue atendida por tipo sanguíneo nos cenários de aumento de demanda (dias).

	2020*	2030	2040	2050	2060
A-	1	2	3	2	2
A+	6	9	8	10	10
AB-	0	0	0	0	0
AB+	0	0	0	0	0
B-	0	0	1	0	0
B+	1	1	1	1	2
O-	3	3	4	3	3
O+	9	13	9	14	13
Média	3	4	3	4	4

* Baseado nos dados extraídos de a 2020

Fonte: Elaborado pelo autor.



* Baseado nos dados extraídos de 2011 a 2020

Figura 5.14 – Taxas de ocupação do estoque nos cenários de aumento de demanda.

Fonte: Elaborado pelo autor.

centralização da produção de hemocomponentes para a rede de suprimentos do HEMOSC. A hemorrede em análise já realiza todos os testes das amostras de forma centralizada em Florianópolis e cenários de alteração da localização de realização dos testes não serão avaliados nesse trabalho. Assim, nessa sessão serão avaliados cenários de centralização da produção parcial e total com o objetivo de avaliar os impactos no sistema.

Nesses cenários de centralização da produção, as coletas e os estoques são mantidos nos seus respectivos hemocentros de origem, sendo apenas a produção realizada em um outro hemocentro, ou seja, logo após a produção todas as bolsas retornam ao seus hemocentros de origem tanto nos cenários de centralização parcial quanto total. Os equipamentos de centrifugação e extração utilizados nesses cenários permanecem os mesmos utilizados nos hemocentros em

que acontecerá a produção (Tabela 4.8), ou seja, os equipamentos dos hemocentros que não realizarão a produção não serão considerados nesses cenários.

O cenário descentralizado representa a configuração atual do sistema descrita no Capítulo 4 e os resultados apresentados na Seção 5.2. No primeiro cenário de centralização parcial, a produção acontece nas cidades de Florianópolis, Joinville e Chapecó. Nessas cidades, são processadas as bolsas coletadas nelas mesmas e as encaminhadas de outros hemocentros. Em Florianópolis, são processadas as bolsas provenientes de Lages e Criciúma; em Joinville as bolsas oriundas de Blumenau; e em Chapecó as bolsas de Joaçaba. Já no segundo cenário de centralização parcial, toda a produção de Criciúma, Blumenau, Joinville e Lages acontecem na cidade de Florianópolis enquanto a produção de Joaçaba ocorre em Chapecó. Por fim, no centralização total, toda a produção de Criciúma, Blumenau, Joinville, Joaçaba, Chapecó e Lages acontecem na cidade de Florianópolis. A Figura 5.15 (a, b, c, d) mostra esquematicamente a distribuição desses quatro cenários.

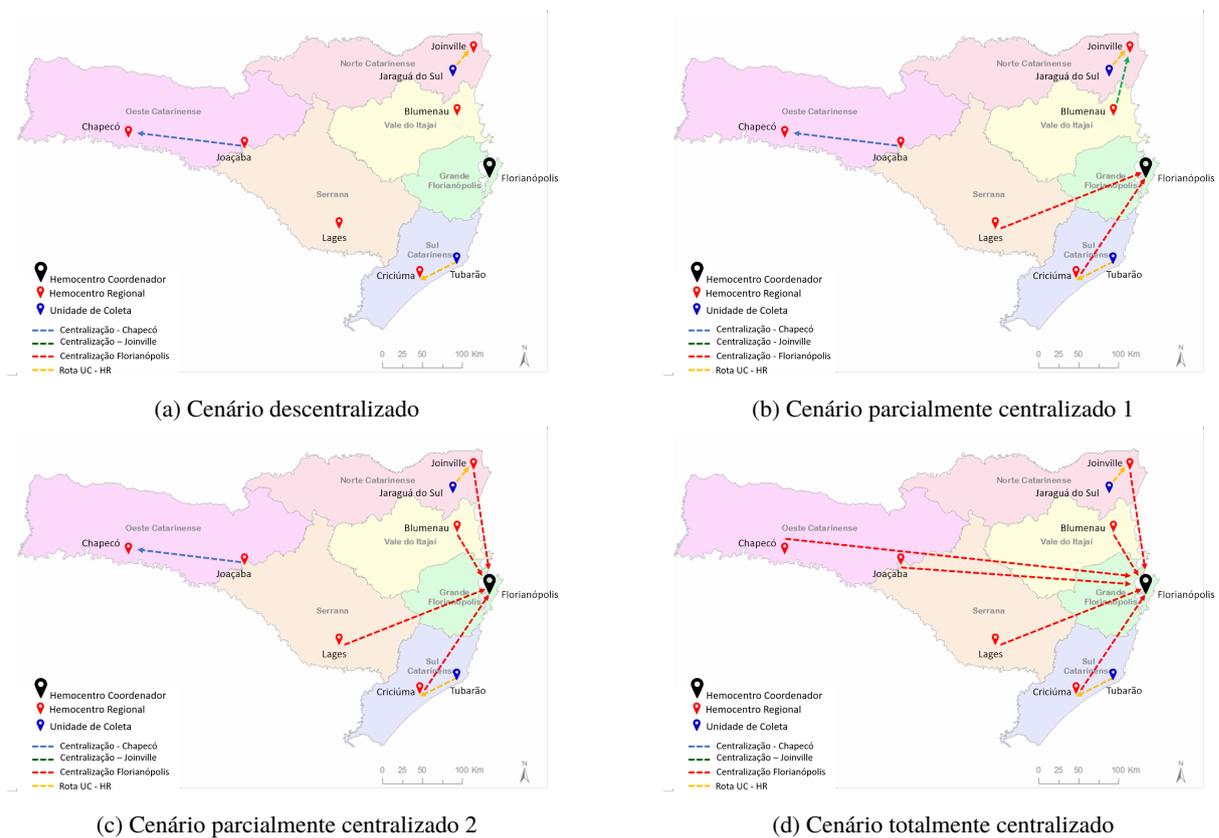


Figura 5.15 – Cenários de centralização da produção

A partir desses cenários, percebe-se que a centralização não aparenta ser um fator determinante nas perdas (Tabela 5.11), rupturas (Tabela 5.12) e taxa de ocupação do estoque (Tabela 5.13), uma vez que não houve diferença significativa entre os cenários avaliados. Essa pequena variação pode ser associada a manutenção e gestão dos estoques em cada hemocentro e atendimento da demanda permanecer da mesma forma que no cenário inicial.

Tabela 5.11 – Percentual de perdas por hemocentro nos cenários de centralização de produção

	Descentralizado	Parcialmente centralizado 1	Parcialmente centralizado 2	Centralizado
FLN	7,89%	7,67%	7,76%	7,55%
BNU	8,26%	8,09%	8,17%	8,26%
LGS	12,64%	12,41%	11,92%	11,50%
JVE	23,43%	23,53%	23,65%	23,17%
CUA	3,42%	3,41%	3,46%	3,55%
JBA	4,39%	4,41%	4,30%	4,44%
CCO	28,72%	28,91%	28,81%	28,95%
Média	12,75%	12,69%	12,70%	12,59%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 5.12 – Percentual de ruptura por hemocentro nos cenários de centralização da produção

	Descentralizado	Parcialmente centralizado 1	Parcialmente centralizado 2	Centralizado
FLN	0,17%	0,22%	0,20%	0,23%
BNU	0,13%	0,12%	0,07%	0,09%
LGS	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%
JVE	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%
CUA	0,64%	0,67%	0,67%	0,68%
JBA	15,48%	15,69%	15,73%	15,84%
CCO	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%
Média	1,18%	1,20%	1,19%	1,21%

Fonte: Elaborado pelo autor.

O tempo de vida útil de uma bolsa de sangue consiste no prazo de validade que essa bolsa pode ser utilizada sem apresentar alterações das suas características e riscos pra o paciente. Dessa forma, ao avaliar o tempo de vida útil restante das bolsas de sangue atendidas por tipo sanguíneo nos cenários de centralização da produção, percebe-se que houve redução desse tempo quando ocorre a centralização, tanto parcial quanto total (Tabela 5.14). Essa redução pode ser explicada pelo tempo gasto para envio e retorno das bolsas que tiveram sua produção centralizada em outro hemocentro.

Tabela 5.13 – Taxa de ocupação do estoque por hemocentro

	Descentralizado	Parcialmente centralizado 1	Parcialmente centralizado 2	Centralizado
FLN	20,12%	20,45%	20,37%	20,33%
BNU	15,35%	15,42%	15,42%	15,43%
LGS	4,87%	4,97%	4,97%	5,00%
JVE	15,03%	15,31%	15,20%	15,32%
CUA	13,88%	14,08%	14,10%	14,07%
JBA	6,55%	6,65%	6,63%	6,59%
CCO	10,68%	10,86%	10,85%	10,92%
Média	14,20%	14,41%	14,55%	14,39%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 5.14 – Vida útil restante das bolsas de sangue atendida por tipo sanguíneo nos cenários de centralização da produção (dias).

	Descentralizado	Parcialmente centralizado 1	Parcialmente centralizado 2	Centralizado
A-	1,34	1,10	0,40	0,40
A+	5,90	5,40	4,40	3,30
AB-	0,03	0,03	0,03	0,03
AB+	0,10	0,10	0,10	0,10
B-	0,23	0,23	0,23	0,23
B+	0,54	1,00	0,00	0,00
O-	2,74	2,40	2,40	2,20
O+	9,45	8,40	8,10	8,10
Média	2,5	2,3	2,0	1,8

Fonte: Elaborado pelo autor.

6 Conclusões

O sangue é um produto perecível de grande relevância para a sociedade, uma vez que é utilizados em casos de cirurgias, traumatismo, câncer, partos e diversos outros procedimentos que necessitam repor grandes perdas sanguíneas. As mudanças demográficas previstas para as próximas décadas também sugerem aumento da preocupação com a cadeia de suprimento sanguínea, já que haverá considerável aumento do consumo sanguíneo em detrimento de aumento desproporcional de oferta. Assim, avaliar redes de suprimento faz-se importante como forma de prever os possíveis impactos que poderão ocorrer de forma a antecipá-los.

Atualmente, pesquisas analisando cadeias de suprimento de sangue brasileiras são pouco exploradas na literatura justificando a realização de um estudo de caso em um cenário brasileiro. Portanto, esse trabalho realiza uma análise de uma cadeia de suprimento sanguínea, mais precisamente a hemorrede de Santa Catarina. Essa é responsável pelo atendimento de 98,2% de toda a rede hemoterápica do estado, ou seja, as conclusões alcançadas para essa hemorrede podem ser extrapoladas para todo o estado de Santa Catarina.

Para a realização do estudo foi utilizado dados de 2011 a 2020 que foram devidamente tratados e analisados para que depois fossem utilizados nos modelos de simulação para representação do comportamento real da rede de suprimentos. Além disso, foi necessário obter através de entrevistas e questionários informações a respeito do gerenciamento e operação da rede.

Para representar toda a rede de suprimento da HEMOSC, foi utilizada a simulação a eventos discretos para modelar a chegada das coletas, o processamento e testes das bolsas sanguíneas e o atendimento da demanda de concentrado de hemácias em cada um dos hemocentros. Os modelos elaborados foram validados através de comparações com dados históricos, *debugger* e técnicas "*face a face*".

Inicialmente, os modelos de simulação foram utilizados para representar o comportamento atual da hemorrede utilizando dados de 2011 a 2020. Os resultados desses cenários mostram que os hemocentros de Chapecó e Joinville foram os que apresentaram maiores perdas de bolsas devido a data de vencimento. Além disso, observou-se que os tipos sanguíneos que mais desperdiçam são os A^+ e B^+ por serem os que apresentam menor proporção na população brasileira, enquanto o que apresentam menor taxa de desperdício é o tipo sanguíneo O^- em função desse tipo ser um doador universal. Outra variável de desempenho avaliada, a taxa de ruptura, apresentou percentual baixo sugerindo que, atualmente, isso não é um problema para hemorrede.

Com o aumento da demanda sanguínea prevista para as próximas décadas, faz-se necessário a avaliação de cenários de aumento de demanda na HEMOSC. Para isso, foram considerados dados de projeções do IBGE (2018) para a geração dos cenários década a década. Ao avaliar esses cenários de aumento de demanda, percebeu-se que as taxas de ruptura aumentam conside-

ravelmente, principalmente entre os anos de 2050 e 2060 (onde ocorre inversão do crescimento da população doadora) confirmando a preocupação com a escassez sanguínea, principalmente com os hemocentros de Criciúma e Joaçaba que apresentaram as maiores taxas devido às suas localizações geográficas. Já o percentual de perdas diminuiu ao longo das décadas, uma vez que houve um aumento de demanda proporcionalmente superior ao aumento da oferta tornando o consumo das bolsas maior. Além disso, as taxas de ocupação de estoque apresentaram um comportamento similar as projeções de aumento da população doadora de Santa Catarina. Por fim, os resultados mostraram também que a quantidade de bolsas solicitadas em remanejamento e não atendidas cresce exponencialmente ao longo do tempo, mostrando uma dificuldade de compartilhamento das bolsas sanguíneas na rede para as próximas décadas.

Já nos cenários de centralização da produção, percebeu-se que não houve grandes alterações nas variáveis de desempenho, sugerindo a viabilidade da centralização da produção uma vez que os níveis de desempenho anteriores foram mantidos. No entanto, ainda devem ser avaliados os custos logísticos que serão incluídos nesse novo sistema, a disponibilidade de transporte e políticas alternativas de gestão de estoques de hemocomponentes na rede.

A partir de todos os resultados anteriores, percebe-se que toda a hemorrede apresentará variações em seus indicadores de desempenho durante as próximas décadas, enquanto que os cenários de centralização da produção mostram-se promissores para a cadeia de suprimento sanguínea. Assim, esse estudo mostrou-se importante por evidenciar possíveis comportamentos futuros da hemorrede e como forma de prevenir e encontrar melhores alternativas para tornar a rede de suprimento sanguínea mais eficiente. Além disso, esse estudo abre portas para a realização de futuras pesquisas em rede de suprimento sanguínea brasileiras utilizando a pesquisa operacional para auxiliar as tomadas de decisão.

Para trabalhos futuros, sugere-se que seja utilizada a otimização via simulação para dimensionar a quantidade de recursos existente na rede. Sugere-se também que seja avaliado nos cenários de centralização da produção a opção do hemocentro centralizador realizar a gestão do estoque dos hemocentros que tiveram sua produção centralizada, de forma a identificar os impactos de desperdícios e rupturas na rede. Além disso, sugere-se avaliar o aumento de demanda considerando a centralização da produção com alterações das políticas de estoque. Pretende-se também avaliar a hemorrede considerando os custos logísticos, de produção e armazenamento como forma de auxiliar na tomada de decisão frente aos possíveis cenários existentes. Outra sugestão para trabalho futuros é a criação de uma metodologia de reavaliação de estoques de segurança que considere alteração da demanda. Por fim, sugere-se também a realização de estudos que avaliem o problema sob uma perspectiva de um problema de alocação e localização de forma a encontrar as localizações ideais dos hemocentros para coleta, produção e testes atribuídos aos hospitais existentes de maneira a minimizar os custos de todo o sistema.

Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. 2001. Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 151, de 21 de Agosto de 2001. Aprova o regulamento técnico sobre níveis de complexidade dos serviços de hemoterapia. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 21 agosto 2001. Seção 1, p. 29-31. Disponível em : <https://www.saude.mg.gov.br/index.php?option=com_gmg&controller=document&id=399>. Acesso em: 11 de junho 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. 2015. Relatório do universo de estabelecimentos cadastrados, segundo dados da Vigilância Sanitária. Brasília: Ministério da Saúde. Disponível em : <http://portal.anvisa.gov.br/documents/219201/219401/boletim_hemoterapia_brasil_1+282%29.pdf/7fb452a0-3607-4374-8f80-55760f13248a>. Acesso em: 11 de junho 2020.
- ALFONSO, E.; XIE, X.; AUGUSTO, V.; GARRAUD, O. Modeling and simulation of blood collection systems. *Health care management science*, Springer, v. 15, n. 1, p. 63–78, 2012.
- AMERICAN SOCIETY OF HEMATOLOGY. 2020. Disponível em: <<https://www.hematology.org/Patients/Basics/>>. Acesso em: 03 fevereiro 2020.
- ARANI, M.; CHAN, Y.; LIU, X.; MOMENITABAR, M. A lateral resupply blood supply chain network design under uncertainties. *Applied Mathematical Modelling*, Elsevier, v. 93, p. 165–187, 2021.
- ARVAN, M.; TAVAKKOLI-MOGHADDAM, R.; ABDOLLAHI, M. Designing a bi-objective and multi-product supply chain network for the supply of blood. *Uncertain Supply Chain Management*, v. 3, n. 1, p. 57–68, 2015.
- BANKS, J.; CARSON, J. S.; NELSON, B. L.; NICOL, D. M. Discrete-event system simulation. *Pearson Education*, 4ª Edição, 2005.
- BELIËN, J.; FORCÉ, H. Supply chain management of blood products: A literature review. *European Journal of Operational Research*, Elsevier, v. 217, n. 1, p. 1–16, 2012.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. Brasília: Gabinete do Ministro, 2017. Disponível em: <://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2018/marco/29/PRC-5-Portaria-de-Consolida—o-n—5-de-28-de-setembro-de-2017.pdf>.
- CHWIF, L.; MEDINA, A. C. Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria & aplicações. 4ª Edição, São Paulo: Elsevier Brasil, p. 320, 2015.
- DEHGHANI, M.; ABBASI, B.; OLIVEIRA, F. Proactive transshipment in the blood supply chain: a stochastic programming approach. *Omega*, Elsevier, v. 98, p. 102112, 2021.
- DHARMARAJA, S.; NARANG, S.; JAIN, V. A mathematical model for supply chain management of blood banks in India. *OPSEARCH*, Springer, p. 1–12, 2019.
- DIJK, N. V.; HAIJEMA, R.; WAL, J. V. D.; SIBINGA, C. S. Blood platelet production: a novel approach for practical optimization. *Transfusion*, Wiley Online Library, v. 49, n. 3, p. 411–420, 2009.

- DILLON, M.; OLIVEIRA, F.; ABBASI, B. A two-stage stochastic programming model for inventory management in the blood supply chain. *International Journal of Production Economics*, Elsevier, v. 187, p. 27–41, 2017.
- ENSAFIAN, H.; YAGHOUBI, S. Robust optimization model for integrated procurement, production and distribution in platelet supply chain. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Elsevier, v. 103, p. 32–55, 2017.
- FAHIMNIA, B.; JABBARZADEH, A.; GHAVAMIFAR, A.; BELL, M. Supply chain design for efficient and effective blood supply in disasters. *International Journal of Production Economics*, Elsevier, v. 183, p. 700–709, 2017.
- GLASGOW, S. M.; PERKINS, Z. B.; TAI, N. R.; BROHI, K.; VASILAKIS, C. Development of a discrete event simulation model for evaluating strategies of red blood cell provision following mass casualty events. *European Journal of Operational Research*, Elsevier, v. 270, n. 1, p. 362–374, 2018.
- GREGOR, P. J.; FORTHOFFER, R. N.; KAPADIA, A. S. An evaluation of inventory and transportation policies of a regional blood distribution system. *European Journal of Operational Research*, Elsevier, v. 10, n. 1, p. 106–113, 1982.
- GREINACHER, A.; FENDRICH, K.; HOFFMANN, W. Demographic changes: the impact for safe blood supply. *Transfusion Medicine and Hemotherapy*, Karger Publishers, v. 37, n. 3, p. 141–148, 2010.
- GREINACHER, A.; WEITMANN, K.; LEBSA, A.; ALPEN, U.; GLOGER, D.; STANGENBERG, W.; KIEFEL, V.; HOFFMANN, W. A population-based longitudinal study on the implications of demographics on future blood supply. *Transfusion*, Wiley Online Library, v. 56, n. 12, p. 2986–2994, 2016.
- GREINACHER, A.; WEITMANN, K.; SCHÖNBORN, L.; ALPEN, U.; GLOGER, D.; STANGENBERG, W.; STÜPMANN, K.; GREGER, N.; KIEFEL, V.; HOFFMANN, W. A population-based longitudinal study on the implication of demographic changes on blood donation and transfusion demand. *Blood advances*, American Society of Hematology Washington, DC, v. 1, n. 14, p. 867–874, 2017.
- HAIJEMA, R.; DIJK, N. van; WAL, J. van der; SIBINGA, C. S. Blood platelet production with breaks: optimization by sdp and simulation. *International Journal of Production Economics*, Elsevier, v. 121, n. 2, p. 464–473, 2009.
- HAMDAN, B.; DIABAT, A. A two-stage multi-echelon stochastic blood supply chain problem. *Computers & Operations Research*, Elsevier, v. 101, p. 130–143, 2019.
- HEMOAM - Fundação Hospitalar de Hematologia e Hemoterapia do Amazonas. 2020. Disponível em : <http://www.hemoam.am.gov.br/?secao=sobre_sangue>. Acesso em: 15 de julho 2020.
- HEMOSC - Centro de Hematologia e Hemoterapia de Santa Catarina. Hemocentro de Santa Catarina. 2020. Disponível em : <<https://www.hemosc.org.br/instituicao.html>>. Acesso em: 15 de Setembro 2020.

- HEMOSC - Centro de Hematologia e Hemoterapia de Santa Catarina. Hemocentro de Santa Catarina. Coordenadoria de Planejamento e Qualidade. Proposta do Plano Diretor de Hematologia e Hemoterapia do Estado de Santa Catarina 2016-2019. Santa Catarina: Planeja Sangue, 2019.
- HENDALIANPOUR, A. Mathematical modeling for integrating production-routing-inventory perishable goods: A case study of blood products in iranian hospitals. In: SPRINGER. *International Conference on Dynamics in Logistics*. [S.l.], 2018. p. 125–136.
- HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. *Introduction to operations research*. [S.l.]: McGraw-Hill Science, Engineering & Mathematics, 2010.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2018. Diretoria de Pesquisas. Coordenação de População e Indicadores Sociais. Gerência de Estudos e Análises da Dinâmica Demográfica. Projeção da população do Brasil e Unidades da Federação por sexo e idade para o período 2010-2060. Disponível em : <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9109-projecao-da-populacao.html?=&t=resultados>>. Acesso em: 17 de maio 2020.
- JABBARZADEH, A.; FAHIMNIA, B.; SEURING, S. Dynamic supply chain network design for the supply of blood in disasters: A robust model with real world application. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Elsevier, v. 70, p. 225–244, 2014.
- JAFARKHAN, F.; YAGHOUBI, S. An efficient solution method for the flexible and robust inventory-routing of red blood cells. *Computers & Industrial Engineering*, Elsevier, v. 117, p. 191–206, 2018.
- JENNINGS, J. B. Blood bank inventory control. *Management Science*, INFORMS, v. 19, n. 6, p. 637–645, 1973.
- KATSALIAKI, K.; BRAILSFORD, S. C. Using simulation to improve the blood supply chain. *Journal of the Operational Research Society*, Taylor & Francis, v. 58, n. 2, p. 219–227, 2007.
- KAYA, O.; OZKOK, D. A network design problem with location, inventory and routing decisions. In: *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference Companion*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 139–140.
- KAYA, O.; OZKOK, D. A blood bank network design problem with integrated facility location, inventory and routing decisions. *Networks and Spatial Economics*, Springer, v. 20, n. 3, p. 757–783, 2020.
- KENDALL, K. E.; LEE, S. M. Formulating blood rotation policies with multiple objectives. *Management Science*, INFORMS, v. 26, n. 11, p. 1145–1157, 1980.
- LANCET, T. *Blood supply and demand*. [S.l.]: Elsevier, 2005. 2151 p.
- LAU, E. H.; HE, X.-Q.; LEE, C.-K.; WU, J. T. Predicting future blood demand from thalassemia major patients in hong kong. *PloS one*, Public Library of Science, v. 8, n. 12, p. e81846, 2013.
- LAW, A. M. *Simulation modeling and analysis*. [S.l.]: McGraw-Hill New York, 2007. v. 4.
- LEE, L. H.; CHEW, E. P.; TENG, S.; CHEN, Y. Multi-objective simulation-based evolutionary algorithm for an aircraft spare parts allocation problem. *European Journal of Operational Research*, Elsevier, v. 189, n. 2, p. 476–491, 2008.

MAGALHÃES, V. S. Modelos de simulação para o apoio ao gerenciamento de estoque de hemocomponentes. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia da UFMG. Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, p. 88f, 2018.

MARTINS, T. S.; NÓBREGA, J. O. d. T. Segurança transfusional no Brasil: dos primórdios ao NAT. *Revista Brasileira de Análises Clínicas*, v. 50, n. 4, p. 321–6, 2018.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. *Guia para uso de hemocomponentes*. Brasília: Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Especializada e Temática., 2015. Disponível em: <https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/guia_uso_hemocomponentes_2ed.pdf>. Acesso em: 12 fevereiro 2020.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. *Manual de orientações para promoção da doação voluntária de sangue*. Brasília: Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Especializada e Temática., 2015. Disponível em: <https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual_orientacoes_promocao_doacao_voluntaria_sangue.pdf>. Acesso em: 12 fevereiro 2020.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. *Gestão de Hemocentros: relatos de práticas desenvolvidas no Brasil: IV Curso de Especialização em Gestão de Hemocentros : resumos das monografias finais*. Brasília: Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Especializada e Temática., 2016. Disponível em: <https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/gestao_hemocentros_relatos_praticas_brasil.pdf>. Acesso em: 27 fevereiro 2020.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. *Caderno de informação : sangue e hemoderivados : dados de 2016*. Brasília: Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Especializada e Temática., 2018. Disponível em: <https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/caderno_informacao_sangue_hemoderivados_2016.pdf>. Acesso em: 12 fevereiro 2020.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. 2019. Disponível em: <<https://www.saude.gov.br/noticias/agencia-saude/46049-salve-vidas-torne-se-doador-de-sangue-regular>>. Acesso em: 03 fevereiro 2020.

MONTEVECHI, J. A. B.; LEAL, F.; PINHO, A. F. de; COSTA, R. F.; OLIVEIRA, M. L. M. de; SILVA, A. L. F. Conceptual modeling in simulation projects by mean adapted idef: an application in a brazilian tech company. In: IEEE. *Proceedings of the 2010 winter simulation conference*. [S.l.], 2010. p. 1624–1635.

ÓLAFSSON, S.; KIM, J. Simulation optimization. In: IEEE. *Proceedings of the winter simulation conference*. [S.l.], 2002. v. 1, p. 79–84.

OLIVEIRA, C. D. L.; ALMEIDA-NETO, C. d.; LIU, E. J.; SABINO, E. C.; LEÃO, S. C.; LOUREIRO, P.; WRIGHT, D.; CUSTER, B.; GONÇALEZ, T. T.; CAPUANI, L. et al. Temporal distribution of blood donations in three brazilian blood centers and its repercussion on the blood supply. *Revista brasileira de hematologia e hemoterapia*, SciELO Brasil, v. 35, n. 4, p. 246–251, 2013.

OLIVEIRA, E. M. d.; REIS, I. A. What are the perspectives for blood donations and blood component transfusion worldwide? a systematic review of time series studies. *Sao Paulo Medical Journal*, SciELO Brasil, v. 138, n. 1, p. 54–59, 2020.

OR, I.; PIERSKALLA, W. P. A transportation location-allocation model for regional blood banking. *AIIE transactions*, Taylor & Francis, v. 11, n. 2, p. 86–95, 1979.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. 2015. United Nations - Department of Economic and Social Affairs, Population Division. The World Population Prospects: the 2015 revision, key findings and advance tables.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. 2019. United Nations - Department of Economic and Social Affairs - 2019 Revision of World Population Prospects. Disponível em : <<https://population.un.org/wpp/>>. Acesso em: 17 de maio 2020.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. 2019. World Health Organization - Blood safety and donation. Disponível em : <https://www.who.int/bloodsafety/global_database/GDBSFactSheet%20.pdf>. Acesso em: 15 de Abril 2020.

OSORIO, A. F.; BRAILSFORD, S. C.; SMITH, H. K. A structured review of quantitative models in the blood supply chain: a taxonomic framework for decision-making. *International Journal of Production Research*, Taylor & Francis, v. 53, n. 24, p. 7191–7212, 2015.

OSORIO, A. F.; BRAILSFORD, S. C.; SMITH, H. K. Whole blood or apheresis donations? a multi-objective stochastic optimization approach. *European Journal of Operational Research*, Elsevier, v. 266, n. 1, p. 193–204, 2018.

OSORIO, A. F.; BRAILSFORD, S. C.; SMITH, H. K.; FORERO-MATIZ, S. P.; CAMACHO-RODRÍGUEZ, B. A. Simulation-optimization model for production planning in the blood supply chain. *Health care management science*, Springer, v. 20, n. 4, p. 548–564, 2017.

OSORIO, A. F.; BRAILSFORD, S. C.; SMITH, H. K.; BLAKE, J. Designing the blood supply chain: how much, how and where? *Vox sanguinis*, Wiley Online Library, v. 113, n. 8, p. 760–769, 2018.

ÖZENER, O. Ö.; EKICI, A. Managing platelet supply through improved routing of blood collection vehicles. *Computers & Operations Research*, Elsevier, v. 98, p. 113–126, 2018.

PEREIRA, T. F. Gestão do conhecimento em projetos de simulação a eventos discretos. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, Minas Gerais, p. 136f, 2014.

PIERSKALLA, W. P. Supply chain management of blood banks. In: *Operations research and health care*. [S.l.]: Springer, 2005. p. 103–145.

PIRABÁN, A.; GUERRERO, W.; LABADIE, N. Survey on blood supply chain management: Models and methods. *Computers Operations Research*, Elsevier, v. 112, p. 104756, 2019. ISSN 0305-0548.

RAJENDRAN, S.; RAVINDRAN, A. R. Inventory management of platelets along blood supply chain to minimize wastage and shortage. *Computers & Industrial Engineering*, Elsevier, v. 130, p. 714–730, 2019.

REIS, C.; BARBOSA, L. M. d. L. H.; PIMENTEL, V. P. O desafio do envelhecimento populacional na perspectiva sistêmica da saúde. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2016.

RYTILÄ, J.; SPENS, K. Using simulation to increase efficiency in blood supply chains. *Management Research News*, Emerald Group Publishing Limited, v. 29, p. 801–819, 12 2006.

- SAMANI, M. R. G.; TORABI, S. A.; HOSSEINI-MOTLAGH, S.-M. Integrated blood supply chain planning for disaster relief. *International journal of disaster risk reduction*, Elsevier, v. 27, p. 168–188, 2018.
- SANTOS, R. S. B. dos; CAJUI, R. M. F.; SILVA, A. M. da. Simulação a eventos discretos aplicada à gestão de filas em uma loja de tecidos. *South American Development Society Journal*, v. 6, n. 17, p. 117, 2020.
- SAPOUNTZIS, C. Allocating blood to hospitals from a central blood bank. *European Journal of Operational Research*, Elsevier, v. 16, n. 2, p. 157–162, 1984.
- SILVERTHORN, D. U. *Fisiologia humana: uma abordagem integrada*. [S.l.]: Artmed editora, 2010.
- SOARES, H. L.; ARRUDA, E. F.; BAHIENSE, L.; GARTNER, D.; FILHO, L. A. Optimisation and control of the supply of blood bags in hemotherapeutic centres via markov decision process with discounted arrival rate. *Artificial Intelligence in Medicine*, Elsevier, p. 101791, 2020.
- VOLKEN, T.; BUSER, A.; CASTELLI, D.; FONTANA, S.; FREY, B. M.; RÜSGES-WOLTER, I.; SARRAJ, A.; SIGLE, J.; THIERBACH, J.; WEINGAND, T. et al. Red blood cell use in switzerland: trends and demographic challenges. *Blood transfusion*, SIMTI Servizi, v. 16, n. 1, p. 73, 2018.
- VRAT, P.; KHAN, A. Simulation of a blood-inventory-bank system in a hospital. *Socio-Economic Planning Sciences*, Elsevier, v. 10, n. 1, p. 7–15, 1976.
- YU, V.; ISWARI, T.; NORMASARI, N.; ASIH, A.; TING, H. Simulated annealing with restart strategy for the blood pickup routing problem. In: IOP PUBLISHING. *IOP conference series: Materials science and engineering*. [S.l.], 2018. v. 337, n. 1, p. 012007.
- YU, X.; WANG, Z.; SHEN, Y.; LIU, Z.; WANG, H.; ZHANG, S.; GAN, J.; XUE, F.; HAN, W.; SHI, X.; HU, Y.; WANG, L.; LI, N.; WU, P.; YANG, C.; JIANG, J. Population-based projections of blood supply and demand, China, 2017–2036. *Bulletin of the World Health Organization*, 2020. ISSN 15640604.
- ZUCOLOTO, M. L.; GONÇALEZ, T.; CUSTER, B.; MCFARLAND, W.; MARTINEZ, E. Z. Comparison of the demographic and social profile of blood donors and nondonors in Brazil. *Health & Social Care in the Community*, Wiley Online Library, v. 27, n. 2, p. 330–336, 2019.

Anexos

ANEXO A – Autorização HEMOSC

SECRETARIA DE ESTADO DA SAÚDE FUNDAÇÃO DE APOIO AO HEMOSC E CEPON – FAHEC HEMOCENTRO COORDENADOR – HEMOSC CENTRO DE ESTUDOS MÁRIO ROBERTO KAZNIAKOWSKI – CEMARK E-mail: cemark.fns@hemosc.org.br TELEFONE:(48) 3251-9752/32519826	
SOLICITAÇÃO PARA REALIZAÇÃO DE TRABALHO/PESQUISA CIENTÍFICA NO HEMOSC	HMR.05.00.01.01

IDENTIFICAÇÃO DO(S) PESQUISADOR(ES)

Nome (s): Miriam Luiza de Jesus Ribeiro

Telefones para contato: (31)98378-7399/ (31) 3444-1951 e-mail: miriamluiza.ribeiro@gmail.com

Nome do Curso e Instituição de Ensino: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção -
Universidade Federal de Minas Gerais

Orientador: Profa. Dra. Lasara Fabricia Rodrigues

Telefones para contato: (31) 98498-7559 e-mail: lasara@dep.ufmg.br

TRABALHO

Título: ANÁLISE DE UMA CADEIA DE SUPRIMENTO DE SANGUE NO BRASIL UTILIZANDO OTIMIZAÇÃO VIA SIMULAÇÃO

Eu MIRIAM LUIZA DE JESUS RIBEIRO comprometo-me com o sigilo dos dados, bem como assumo a responsabilidade pelos dados coletados e publicados. Comprometo-me com a entrega de uma cópia eletrônica em PDF dos resultados da pesquisa (TCC, monografia, artigo, dissertação, tese, ...) ao Cemark para ser disponibilizado no Site do Hemosc.

Estou ciente de que a coleta de dados somente poderá ocorrer após a aprovação da Comissão Científica do Hemosc e do Comitê de Ética em Pesquisa do Hemosc no caso da submissão do Projeto à Plataforma Brasil.

Assinatura do solicitante: *Miriam Luiza de Jesus Ribeiro*. Data: 01/10/2020

PARECER DA DIREÇÃO DO HEMOCENTRO REGIONAL DE:

() Autorizo () Não autorizo

Assinatura e carimbo: _____ Data: ____/____/____.

PARECER DA GERÊNCIA ADMINISTRATIVA DO HEMOCENTRO COORDENADOR:

(nos casos em que estiver previsto custeio institucional)

1 - Como Gerente Administrativo do Centro de Hematologia e Hemoterapia de Santa Catarina – HEMOSC, **autorizo** o custeio institucional para a realização do estudo.

2 - () Como Gerente Administrativo do Centro de Hematologia e Hemoterapia de Santa Catarina – HEMOSC, **não autorizo** o custeio institucional para a realização do estudo.

Maria Aparecida Neto da Cruz
Gerente de Contrato de Gestão
HEMOSC

PARECER FINAL DA DIREÇÃO DO HEMOCENTRO COORDENADOR:

1 - Como representante legal do Centro de Hematologia e Hemoterapia de Santa Catarina – HEMOSC, **autorizo** a realização do referido estudo para os devidos fins e efeitos legais.

2 - () Como representante legal do Centro de Hematologia e Hemoterapia de Santa Catarina – HEMOSC, **não autorizo** a realização do referido estudo para os devidos fins e efeitos legais.

Assinatura e carimbo: *Maria Daniela Périco Colombo*
Hematologia - Hemoterapia
CRM SC 7202 RQE3446 _____ Data: ____/____/____.