



PLANEJAMENTO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS DE SANGUE E HEMOCOMPONENTES

Aluno: Stefany Sartorato Oliveira - **RA:** 187168

Orientador: Prof. Dr. Cleber Damião Rocco

Processo: 124226/2019-1

Período: 01/08/2019 - 31/08/2020

1. Introdução

A cadeia de suprimentos do sangue é essencial para as instituições de saúde, uma vez que maneja um insumo primordial à manutenção de vidas humanas. Ademais é estratégica e complexa, dado que seu produto requer uma rigorosa regulamentação de segurança; pois possui grandes exigências em relação ao nível de serviço logístico. Como também é um recurso limitado, que está sujeito a um elevado nível de incerteza de oferta e demanda e depende de muitos agentes cooperantes para o bom funcionamento de sua cadeia de suprimentos.

O hemocentro é uma unidade de saúde que produz hemocomponentes a partir do sangue, que é a matéria-prima fundamental. Esta possui características que influenciam no tipo de produto final (hemocomponente) que será obtido. Sendo o sistema ABO, que define o tipo sanguíneo, e o fator Rh, atrelado a presença ou ausência de antígenos nas hemácias, os responsáveis por 98% das incompatibilidades¹. O processo produtivo envolve basicamente a sorologia, a qual ratifica a viabilidade do sangue coletado, e o fracionamento, do qual se obtém os hemocomponentes desejados: hemácias, leucócitos, plaquetas, plasma e crioprecipitado. Esses são estocados e distribuídos ou incinerados em caso de inviabilização. Cada um dos hemocomponentes possuem períodos de validade específico, que variam de cinco dias a até um ano, e são transfundidos em pacientes de acordo suas necessidades².

O sangue não é abundante nos estoques e sua obtenção depende única e exclusivamente da benevolência e prestatividade da população, dado que ainda não existem outros métodos substitutivos para sua obtenção³. Sendo assim, a captação deste recurso se torna de difícil previsibilidade e, de certa forma, culturalmente dependente. Por outro lado, os hemocomponentes enfrentam incerta previsibilidade de demanda, não aceitam entrega fora prazo e é imprescindível que suas condições e documentações estejam estritamente corretas para que sejam passíveis de serem aproveitados. Por fim, trata-se de um produto de elevado custo de produção e que experimenta elevadas taxas de descarte, considerando que os custos operacionais por hemocomponente e por método de coleta variam de R\$100,00 a R\$1750,00 segundo a base de referência para ressarcimento de serviços de hemoterapia do SUS⁴ e, ainda, que a taxa de descarte apontada no recém publicado Boletim Anual de Produção Hemoterápica corresponde à 33,26% das unidades de hemocomponentes produzidas, um valor elevado apesar de apresentar sinais de queda no decorrer dos anos segundo a mesma fonte⁵.

No Brasil, assim como em grande parte dos países da América Latina, vigora um caráter de descentralização muito forte dos hemocentros, de maneira que cada macrorregião e suas respectivas sub-regiões administra e gere sua própria cadeia de suprimentos de sangue⁶. Assim não há uma cooperação e um trabalho coordenado, principalmente quando se trata de seu planejamento estratégico e tático. Ademais, os recursos aproveitados para tal são extremamente restritos e sujeitos ao empirismo, obedecendo, preeminente, à experiência do gestor responsável.

¹ WILLIAMS, Willians J. et al. **Manual de Hematologia de Willians**. 6. ed. [s.l.]: Artmed, 2005.

² BRASÍLIA - DF. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde (Ed.). **Guia para uso dos Hemocomponentes**. 2015.

³ JABBARZADEH, Armin; BEHBAHANI, Zahra Mohammadian; PISHVAEE, Mir Saman. A robust optimisation model for sustainable blood supply chain network design under uncertainty. **International Journal Of Industrial And Systems Engineering**, [s.l.], v. 31, n. 3, p. 475-494, 10 abr. 2019.

⁴ BRASIL. Tribunal de Contas da União. Resolução nº 131. Relator: MINISTRO DE ESTADO DA SAÚDE JOSÉ AGENOR ÁLVARES DA SILVA. **Portaria Nº 1.469 de 10 de Julho de 2006**.: Normativos Hemoterapia. Brasília: Diário Oficial da União, 11 jul. 2006. p. 41-42. SEC-1.

⁵ BRASÍLIA. ANVISA. Ministério da Saúde. **7º Boletim Anual de Produção Hemoterápica**. 2018.

⁶ OSORIO, Andres F. et al. Designing the blood supply chain: how much, how and where?. **Vox Sanguinis**, [s.l.], v. 113, n. 8, p.760-769, 4 set. 2018.

Este trabalho considera e estuda a cadeia de suprimentos de sangue do Hemocentro da Universidade Estadual de Campinas e propõe um modelo de programação matemática para auxiliar o planejamento estratégico e a otimização logística, tática e financeira de sua coleta de sangue e hemocomponentes. O modelo considera a existência de uma potencial população doadora de sangue, de instalações propícias permanentes ou temporárias para a coleta e um hemocentro regional que gere o sangue coletado, processa e distribui aos locais de demanda. E, por sua vez, objetiva determinar o número e a localização das instalações de coleta de sangue, a quantidade de sangue a ser coletada em cada instalação e o número de equipes de funcionários requeridas para tal, assim como, o nível de estoque de sangue ao final de cada período, de maneira a minimizar o custo total da cadeia.

2. Modelagem

O modelo proposto nessa pesquisa visa dimensionar o planejamento tático-estratégico da coleta de sangue da região atendida em um horizonte de tempo predeterminado, minimizando componentes de custo e garantindo o atendimento da demanda. Para tanto, são consideradas as suposições:

- O comportamento da população doadora de sangue e da demanda por hemocomponentes nas unidades de saúde no horizonte de planejamento é estimado com base no cenário real e fornecido.
- A capacidade de processamento e armazenamento do Hemocentro é finita e conhecida.
- A capacidade de coleta e o custo de cada perfil de equipe são conhecidos.
- Os custos de estoque, coleta e transporte são conhecidos.

Em cada período, as seguintes decisões são propostas pelo modelo:

- As cidades em que deve haver coleta de sangue.
- A quantidade de bolsas de sangue de cada grupo sanguíneo a serem coletadas em cada visita.
- A quantidade de equipes de funcionários e o perfil das equipes que devem ser alocadas em cada visita.
- O nível dos estoques de hemocomponentes ao final de cada período.
- O custo total envolvido na gestão da cadeia de suprimento.

A seguinte notação é aplicada para desenvolvimento do modelo.

Índices e conjuntos

$t \in T$ – Horizonte temporal de planejamento em meses.

$c \in C$ – Cidades onde há coleta de sangue.

$h \in H$ – Localidades de processamento da coleta, hemocentros.

$p \in P$ – Produtos sanguíneos por tipagem segundo sistema ABO.

$s \in S$ – Subprodutos sanguíneos: hemocomponentes por grupo sanguíneo.

$e \in E$ – Equipes responsáveis pela coleta.

$age \in AGE$ – Idade dos subprodutos sanguíneos.

Parâmetros do modelo

$demanda_{sct}$ – Demanda do hemocomponente s , na cidade c , no período t .

$theta_sangue_s$ – Composição do sangue em termos dos hemocomponentes s .

$validade_s$ – Prazo de validade de cada hemocomponente s .

$oferta_{pct}$ – Oferta do produto p , na cidade c , no período t .

cap_proc_h – Capacidade de processamento do hemocentro h em unidades de bolsa.

cap_coleta_e – Capacidade de coleta de cada equipe e em unidades de bolsa.

$custo_equipe_e$ – Custo para alocação de cada equipe e .

$custo_coleta$ – Custo para coletar uma unidade de bolsa de sangue.

$custo_trans_coleta_c$ – Custo de transporte da coleta da cidade c independentemente da quantidade de bolsas.

$custo_estoque_s$ – Custo de estoque de uma unidade de bolsa do hemocomponente s .

Variáveis de decisão

$Q_{p,c,t}$ – Quantidade de bolsas do tipo p , coletadas na cidade c , no período t .

$F_{s,t}$ – Fração de bolsas de hemocomponente s processadas no período t .

$I_{s,h,t,age}$ – Quantidade de bolsas de hemocomponente s , estocadas no hemocentro h no período t e com idade de armazenamento age .

$D_{s,h,t,age}$ – Quantidade de bolsas de hemocomponente s , armazenadas no hemocentro h , a serem retiradas do estoque para atender a demanda do período t e que estão armazenadas há age períodos.

$Y_{e,c,t}$ – Quantidade de equipes e destinadas à visita na cidade c no período t (variável inteira).

$X_{c,t}$ – Variável binária, que assume valor 1 se há visita à cidade c no período t , 0 caso contrário.

Formulação matemática

Minimizar:

$$\begin{aligned} & \sum_{p \in P} \sum_{c \in C} \sum_{t \in T} Q_{pct} \cdot custo_coleta + \sum_{e \in E} \sum_{c \in C} \sum_{t \in T} Y_{ect} \cdot custo_equipe_e + \\ & \sum_{c \in C} \sum_{t \in T} X_{ct} \cdot custo_trans_coleta_c + \sum_{s \in S} \sum_{h \in H} \sum_{t \in T} \sum_{age \in AGE}^{age \rightarrow validade_s + 1} I_{s,h,t,age} \cdot custo_estoque_e \end{aligned} \quad (1)$$

Sujeito a:

$$Q_{p,c,t} \leq oferta_{p,c,t} \cdot X_{c,t} \quad \forall p \in P, c \in C, t \in T \mid t \neq t_f \quad (2)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{c \in C} Q_{p,c,t} \leq cap_proc_h \quad \forall k \in K, t \in T \mid t \neq t_f \quad (3)$$

$$\sum_{p \in P} Q_{p,c,t} \leq cap_coleta_e \cdot Y_{e,c,t} \quad \forall e \in E, c \in C, t \in T \mid t \neq t_f \quad (4)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{c \in C} Q_{p,c,t} \cdot theta_sangue_s = F_{s,t} \quad \forall s \in S, t \in T \mid t \neq t_f \quad (5)$$

$$\sum_{t \in T} X_{c,t} \geq 1 \quad \forall c \in C \quad (6)$$

$$X_{c,t} \leq \sum_{e \in E} Y_{e,c,t} \quad \forall c \in C, t \in T \mid t \neq t_f \quad (7)$$

$$I_{s,h,t,age} = F_{s,h} - \sum_{c \in C} demanda_{s,c,t} \quad \forall s \in S, h \in H, t = t_1, age = age_1 \quad (8)$$

$$I_{s,h,t+1,age_1} = \sum_{age \rightarrow validade_s + 1} D_{s,h,t,age} + F_{s,h} - \sum_{c \in C} demanda_{s,c,t} \quad \forall s \in S, h \in H, t \in T \mid t \neq t_f \quad (9)$$

$$I_{s,h,t+1,age+1} = I_{s,h,t,age} - D_{s,h,t,age} \quad \forall s \in S, h \in H, t \in T \mid t \neq t_f, age = 1, \dots, validade_s + 1 \quad (10)$$

$$D_{s,h,t,age} \leq I_{s,h,t,age} \quad \forall s \in S, h \in H, t \in T, age = 1, \dots, validade_s + 1 \quad (11)$$

$$I_{s,h,t,age} = 0 \quad \forall s \in S, h \in H, t \in T \mid t \neq t_f, age > validade_s + 1 \quad (12)$$

$$Q_{p,c,t} \geq 0 \quad \forall p \in P, c \in C, t \in T \quad (13)$$

$$F_{s,t} \geq 0 \quad \forall s \in S, t \in T \quad (14)$$

$$I_{s,h,t,age} \geq 0 \quad \forall s \in S, h \in H, t \in T, age \in AGE \quad (15)$$

$$D_{s,h,t,age} \geq 0 \quad \forall s \in S, h \in H, t \in T, age \in AGE \quad (16)$$

$$Y_{e,c,t} \geq 0, \text{ inteiro} \quad \forall e \in E, c \in C, t \in T \quad (17)$$

$$X_{c,t} \in \{1,0\} \quad \forall c \in C, t \in T \quad (18)$$

A função objetivo a ser minimizada é dada por (1) e representa o custo de coleta de todas as unidades de bolsa de sangue colhidas para atendimento da demanda, o custo de alocação das equipes de funcionários, o custo de transporte e todo o custo envolvido no estoque das bolsas de cada hemocomponente durante seus respectivos prazos de validade.

As restrições (2) e (3) indicam, respectivamente, que a quantidade de bolsas de sangue a serem coletadas em uma determinada cidade e em um determinado período deve ser menor ou, no mínimo, igual a oferta disponível e obrigatoriamente menor ou igual a capacidade de processamento dos hemocentros disponíveis. A restrição (4) determina a quantidade e o perfil das equipes de funcionários que devem ser alocadas para atender à coleta das bolsas de sangue. A restrição (5) representa a conversão de bolsas de sangue total em bolsas de hemocomponentes, estas que são de fato requisitadas pela demanda. A restrição (6) indica que deve haver ao menos uma visita a cada cidade durante o horizonte de planejamento, a fim de garantir a preservação da cultura de doação de sangue nas cidades. A restrição (7) atrela a ocorrência de uma visita a uma determinada cidade à alocação de uma equipe de funcionários para o atendimento dessa visita. Dessa forma, a visita à cidade só ocorre se há alguma equipe alocada e vice versa. A restrição (8) faz o controle de estoque para o primeiro período do horizonte de planejamento, cujo estoque com idade inicial representa tão somente a fração coletada no primeiro período menos a somatória das demandas de todas as cidades. A restrição (9)

retrata o balanceamento do estoque de bolsas de hemocomponentes, buscando garantir o atendimento da demanda e calcular a quantidade em estoque há um período. A restrição (10) trata da relação e balanceamento entre as quantidades em estoque no decorrer do horizonte de planejamento, as saídas de estoque para atendimento da demanda e o aumento da idade das bolsas de hemocomponentes estocadas. A restrição (11) indica que a quantidade de bolsas a serem retiradas do estoque para atender a demanda deve ser menor, ou no mínimo equivalente, à quantidade disponível em estoque. A restrição (12) indica que não deve ocorrer a estocagem de bolsas de hemocomponente fora do prazo de validade, portanto, o estoque é igual a zero quando a idade é igual à validade mais um período. Por fim, o domínio das variáveis é definido pelo grupo de restrições de (13) à (18).

3. Resultados

As previsões de oferta e demanda foram calculadas para cada uma das cidades estudadas e de acordo com o modelo de sazonalidade e permanência, atentando-se não só ao histórico dos meses imediatamente anteriores, mas também aos mesmos períodos nos anos predecessores. Experimentalmente se assumiu um fator de sazonalidade α igual 0,3 e foram calculadas as previsões em unidades de bolsas de sangue por mês e por cidade.

No experimento aqui representado para demonstrar o funcionamento do modelo foi estabelecido um horizonte temporal de 12 meses, 23 cidades em análise, 1 hemocentro operante, 3 perfis de equipes disponíveis (pequena, média e grande, com capacidades de coleta respectivamente de 500, 2500 e 5000 unidades e custo respectivamente de 100, 500 e 1000) e 1 hemocomponente de 1 tipo sanguíneo (Hemácias A+) que atende a um prazo de validade de 2 meses. Os dados de capacidade foram estimados em 10000 unidades de bolsas possíveis de serem processados pelo hemocentro em 1 período e R\$ 100,00 o custo de estoque por unidade de bolsa por período. Ao custo de coleta foi atribuído o preço unitário de R\$35,00 da bolsa específica para coleta de sangue total simples. Por fim, o custo de transporte calculado para um veículo de 2 eixos.

Nessas condições, o modelo possui ao todo 1589 restrições e 1678 variáveis distintas. O *solver* CPLEX demora um tempo total de 0.5s para gerar e revolver o modelo até determinar a solução ótima. São visitados 552 nós e a função obtivo assume um custo mínimo de R\$749.930,00. Para tal cenário, são indicados na Tabela 1 a quantidade de bolsas que devem ser coletadas em cada período e em cada uma das cidades para atender a demanda. Enquanto na Tabela 2 é indicado a gestão do estoque durante o horizonte de planejamento considerado.

Tabela 1: Quantidade de bolsas a serem coletadas.

Cidade	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	t11	t12
A. Lindoia	0	0	38	0	22	0	12	0	18	0	15	0
Amparo	61	28	0	25	22	28	20	23	17	21	0	25
Campinas	889	813	895	763	781	1003	926	856	791	797	795	831
Casa Branca	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0
Conchal	0	0	0	31	0	0	0	0	0	17	0	0
Divinolândia	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0
Espírito Sto. Pinhal	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0
Hortolândia	125	109	131	115	126	139	118	124	129	124	113	119
Indaiatuba	0	62	54	48	49	58	54	63	49	52	39	45
Itapira	0	0	0	0	0	22	0	22	0	22	0	31
Jaguariúna	91	9	58	0	48	13	43	0	42	0	38	12
Mococa	0	0	0	0	14	0	0	0	0	0	24	0
Mogi Guaçu	0	24	27	25	9	24	0	15	16	15	12	0
Mogi Mirim	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	12	0
Paulínia	59	52	53	45	48	58	64	41	48	53	44	54
Salto	0	0	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0

Sta. Bárbara	0	0	13	0	17	13	29	12	25	8	22	12
Sta. Cruz Palmeiras	0	0	0	0	0	15	0	0	0	10	0	0
Serra Negra	0	16	0	0	19	0	0	19	0	0	23	0
Sumaré	196	167	182	156	160	195	168	171	153	155	158	173
Tambaú	0	0	0	18	0	0	0	0	0	7	0	0
V. Grande Sul	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0
Vinhedo	0	29	0	31	25	29	0	24	23	20	16	26
TOTAL	1477	1360	1501	1309	1402	1658	1486	1432	1381	1348	1337	1381

Tabela 2: Gestão de estoque.

	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	t11	t12
Estoque Idade 1	11	11	0	8	2	5	0	1	2	10	0	31
Estoque Idade 2	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Coleta Total	1477	1360	1501	1309	1402	1658	1486	1432	1381	1348	1337	1381
Retirada Idade 1	0	11	0	8	2	5	0	1	2	10	0	31
Retirada Idade 2	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Demanda Total	1466	1382	1493	1315	1399	1663	1485	1431	1373	1358	1306	1412
Estoque = + Coleta + Retiradas - Demanda	11	0	8	2	5	0	1	2	10	0	31	0

Verifica-se na Tabela 2 as unidades de bolsas de hemácias armazenadas há 1 e 2 períodos, respectivamente indicadas por estoque com idade 1 e estoque com idade 2. Em seguida, a coleta total obtida na Tabela 1 e as retiradas de bolsas do estoque em cada período que complementam a coleta. Por fim, o valor total da demanda e o saldo final em estoque, este que corresponde às unidades de bolsas remanescentes, ou seja, parte do que é coletado entra para o estoque e será utilizado para atendimento da demanda do período seguinte, enquanto as retiradas consomem as unidades em estoque para evitar que a validade expire.

4. Conclusões

O desenvolvimento deste trabalho permitiu uma profunda compreensão da vulnerabilidade da cadeia de suprimento do sangue. Sua gestão é complexa e amplamente dependente do livre arbítrio das pessoas. Essa realidade conduz à um cenário estatístico tênue, que foi constatado durante a análise dos dados. Nesse sentido, torna-se desafiador a tomada de boas decisões e que simultaneamente conduzam a uma redução de custos sem o auxílio de métodos de apoio à tomada de decisão.

Sendo assim, o modelo matemático estruturado para o *design* de coleta da cadeia de suprimentos de sangue se ampara em uma abordagem da Pesquisa Operacional para a tomada de decisão e se apresenta capaz de definir uma estratégia de seleção de cidades para captação de público doador de sangue com base na previsão de oferta de sangue por cidade e grupo sanguíneo e na previsão de demanda por cidade e hemocomponente. Assim como, alocar funcionários em atividades de coleta através da seleção de perfis de equipes e, por fim, reduzir os custos atrelado à coleta de sangue a partir da otimização das decisões.

Considera-se que a modelagem ainda tem importantes oportunidades de melhoria, como atrelar o fator Rh ao tipo sanguíneo, oferecer um planejamento agregado, pormenorizar os períodos dentro do horizonte de planejamento e incluir um fator estatístico para garantir uma margem de erro nas soluções propostas. Todavia, o modelo já atinge os objetivos inicialmente estabelecidos e tem competência para colaborar com a coordenação da cadeia de suprimento e proporcionar o aumento de sua eficiência aliado à redução dos seus custos.