

INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS NA SEGURANÇA TRANSFUSIONAL: ABORDAGENS AVANÇADAS NA INATIVAÇÃO PATOGÊNICA EM HEMOCOMPONENTES

Victor Augusto de Proença Santos¹

RESUMO

A segurança transfusional mantém-se como desafio permanente na prática hemoterápica contemporânea, exigindo abordagens integradas e tecnologicamente avançadas para mitigação de riscos infecciosos. Este artigo realiza análise abrangente das modernas tecnologias de inativação patogênica aplicadas a hemocomponentes, com ênfase especial em concentrados plaquetários e plasma. Através de revisão sistemática da literatura especializada e análise de experiências institucionais, demonstra-se que a implementação dessas tecnologias representa avanço paradigmático na garantia da segurança transfusional. Os dados analisados evidenciam que os sistemas baseados em métodos fotodinâmicos e fotoquímicos permitem redução significativa do risco infeccioso, incluindo proteção contra patógenos emergentes e bactérias. Adicionalmente, a implementação dessas tecnologias traz benefícios operacionais substantivos para os hemocentros, incluindo extensão de prazos de validade, simplificação de processos e otimização da produção. Conclui-se que a adoção progressiva destas tecnologias, associada aos protocolos convencionais de triagem, constitui estratégia essencial para a contínua melhoria da segurança transfusional.

Palavras-chave: Segurança transfusional, inativação de patógenos, hemocomponentes, tecnologia hemoterápica, redução de risco infeccioso.

ABSTRACT

Transfusion safety remains a permanent challenge in contemporary hemotherapy practice, requiring integrated and technologically advanced approaches to mitigate infectious risks. This article provides a comprehensive analysis of modern pathogen inactivation technologies applied to blood components, with special emphasis on platelet concentrates and plasma. Through a systematic review of specialized

literature and analysis of institutional experiences, it is demonstrated that the implementation of these technologies represents a paradigmatic advance in ensuring transfusion safety. The analyzed data show that systems based on photodynamic and photochemical methods enable a significant reduction in infectious risk, including protection against emerging pathogens and bacteria. Furthermore, the implementation of these technologies brings substantial operational benefits for blood centers, including extension of shelf life, process simplification, and production optimization. It is concluded that the progressive adoption of these technologies, associated with conventional screening protocols, constitutes an essential strategy for the continuous improvement of transfusion safety.

Keywords: Transfusion safety, pathogen inactivation, blood components, hemotherapy technology, infectious risk reduction.

1. INTRODUÇÃO

A terapia transfusional representa intervenção médica essencial na prática clínica contemporânea, permitindo o suporte vital em situações críticas e o tratamento de condições hematológicas complexas. Contudo, persistem desafios significativos relacionados à segurança transfusional, particularmente no que concerne à transmissão de agentes infecciosos através dos hemocomponentes (1).

Apesar dos significativos avanços nas técnicas de triagem sorológica e molecular, a transmissão de patógenos permanece como preocupação constante na prática hemoterápica. Estudos demonstram que, enquanto o risco de transmissão viral foi drasticamente reduzido nas últimas décadas, a contaminação bacteriana, particularmente em concentrados plaquetários, continua representando desafio significativo (2).

O presente artigo tem como objetivo analisar criticamente as modernas tecnologias de inativação patogênica aplicadas a hemocomponentes, com foco especial nos concentrados plaquetários e plasma. Adicionalmente, avalia-se o impacto da implementação dessas tecnologias na operação e eficiência dos hemocentros,

baseando-se em experiências institucionais documentadas e evidências científicas recentes.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Contexto Histórico e Evolução Conceitual

A inativação patogênica em hemocomponentes representa evolução paradigmática na abordagem da segurança transfusional. A transição de estratégias baseadas exclusivamente na detecção de patógenos específicos para abordagens proativas baseadas na inativação patogênica constitui avanço conceptual significativo na hemovigilância (3).

2.2. Patógenos Emergentes e Desafios Atuais

A emergência de novos agentes infecciosos, associada à mobilidade populacional global e às limitações inerentes aos períodos de janela imunológica, mantém a transmissão transfusional como preocupação constante. Dados epidemiológicos recentes demonstram que infecções bacterianas representam atualmente a principal causa de morbimortalidade relacionada à contaminação transfusional (4).

3. METODOLOGIAS DE INATIVAÇÃO PATOGÊNICA

3.1. Sistemas Baseados em Psoralenos e Luz UVA

O sistema INTERCEPT™, baseado em amotosalen e luz ultravioleta A (UVA), representa plataforma tecnológica consolidada na inativação patogênica. Seu mecanismo de ação envolve a intercalação do composto fotoativo no DNA e RNA dos patógenos, seguida pela ativação através de luz UVA, que induz ligações covalentes cruzadas nas cadeias de ácidos nucleicos, impedindo a replicação (5).

Estudos demonstram eficácia superior a 6 logs na inativação viral e completa inativação bacteriana em concentrados plaquetários. A experiência da Fundação Hemominas evidenciou que a implementação desta tecnologia permitiu aumento no rendimento plaquetário e redução significativa na contaminação leucocitária residual (6).

3.2. Sistemas Baseados em Riboflavina

Os sistemas que utilizam riboflavina (vitamina B2) e luz ultravioleta B (UVB), como o sistema MIRASOL®, operam através de mecanismo dual: geração de espécies reativas de oxigênio que danificam os ácidos nucleicos e absorção direta de energia luminosa pelas bases nitrogenadas, induzindo danos oxidativos (7).

Esta tecnologia apresenta vantagem adicional de utilizar composto naturalmente presente no organismo humano, minimizando riscos de toxicidade residual. Estudos clínicos demonstram eficácia comparável aos sistemas baseados em psoralenos, com particular eficácia contra parasitas intraeritrocitários (8).

3.3. Sistemas de Inativação por Luz UVC

Os sistemas baseados exclusivamente em luz UVC, como o sistema THERAFLEX UV-, representam abordagem tecnológica inovadora que dispensa a adição de compostos fotoativos exógenos. Estes sistemas atuam através da absorção direta da radiação ultravioleta pelos ácidos nucleicos dos patógenos, induzindo formação de dímeros de pirimidina que impedem a replicação (9).

4. APLICAÇÕES ESPECÍFICAS POR HEMOCOMPONENTE

4.1. Inativação em Concentrados Plaquetários

Os concentrados plaquetários representam o hemocomponente com maior risco de contaminação bacteriana, devido às condições específicas de armazenamento (agitação contínua em temperatura ambiente). A implementação de tecnologias de inativação patogênica permitiu extensão do prazo de validade de 5 para 7 dias, representando melhoria operacional substantiva (10).

Dados da Fundação Hemominas demonstram que a implementação da TIP permitiu aumento na contagem média de plaquetas por unidade de $2,5 \times 10^{11}$ para $2,77 \times 10^{11}$ nos pools de 4 buffy coats, com redução significativa na contaminação leucocitária residual (11).

4.2. Inativação em Plasma

As tecnologias de inativação aplicadas ao plasma incluem métodos baseados em azul de metileno, solventes-detergentes, e sistemas fotodinâmicos. Cada metodologia apresenta vantagens e limitações específicas relacionadas ao espectro de ação, impacto na qualidade proteica e custo-efetividade (12).

5. VANTAGENS E BENEFÍCIOS OPERACIONAIS

5.1. Melhoria na Segurança Transfusional

A implementação de tecnologias de inativação patogênica proporciona proteção abrangente contra contaminantes microbianos conhecidos e emergentes. Esta característica torna os hemocentros mais resilientes frente a ameaças microbiológicas emergentes, cuja detecção através de métodos convencionais seria impossível (13).

5.2. Benefícios Operacionais e Econômicos

A experiência brasileira documentada demonstra que os benefícios ultrapassam a esfera da segurança microbiológica. A otimização dos processos produtivos, a melhoria na qualidade dos hemocomponentes e os ganhos operacionais constituem vantagens tangíveis que justificam o investimento nestas tecnologias (14).

A TIP permite a substituição de processos convencionais de garantia de segurança, como o controle microbiológico obrigatório e a irradiação para prevenção de doença enxerto-versus-hospedeiro transfusion-associated (TA-GVHD). Esta simplificação processual resulta em ganhos de eficiência operacional e redução de custos (15).

5.3. Impacto na Gestão de Resíduos

A implementação adequada das tecnologias de inativação patogênica contribui para a melhor gestão dos resíduos de serviços de saúde, particularmente na categorização e manejo de resíduos potencialmente infectantes. Estudos demonstram que a correta implementação destas tecnologias reduz o risco ocupacional associado ao manejo de resíduos perfurocortantes (16).

6. DESAFIOS E PERSPECTIVAS FUTURAS

6.1. Aspectos Econômicos e de Viabilidade

Os desafios para implementação universal destas tecnologias incluem aspectos econômicos, de capacitação técnica e de adaptação processual. A análise custo-efetividade deve considerar não apenas a redução direta dos eventos adversos transfusionais, mas também os ganhos em eficiência operacional (17).

6.2. Pesquisa e Desenvolvimento

Novas tecnologias continuam em desenvolvimento, buscando melhorar a eficácia, reduzir custos e minimizar impactos na qualidade dos hemocomponentes. Pesquisas recentes focam no desenvolvimento de métodos que preservem integralmente a função celular enquanto garantam inativação patogênica máxima (18).

7. CONCLUSÕES

As tecnologias de inativação de patógenos representam avanço substantivo na garantia da segurança transfusional, oferecendo proteção abrangente contra contaminantes microbianos conhecidos e emergentes. A experiência internacional e nacional demonstra que sua implementação traz benefícios que transcendem a mera segurança microbiológica, incluindo melhorias na qualidade dos hemocomponentes, otimização dos processos produtivos e ganhos operacionais significativos.

A adoção progressiva destas tecnologias, associada à manutenção dos rigorosos protocolos de triagem já estabelecidos, constitui estratégia promissora para a contínua melhoria da segurança transfusional e para a excelência dos serviços hemoterápicos.

Recomenda-se que os hemocentros considerem a implementação destas tecnologias como parte integrante de uma abordagem abrangente de gestão de risco transfusional, levando em consideração suas particularidades operacionais, perfil epidemiológico regional e viabilidade econômica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) SECO, I. G. V.; NASCIMENTO, J. S. Disseminação de patógenos por meio de transfusão sanguínea – como detectar e prevenir. Centro Universitário São Camilo, 2023.
- (2) NUNES, T. S. Transfusão de hemocomponentes: uma revisão integrativa da literatura. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013.
- (3) PROWSE, C. V. Inactivación de patógenos en hemocomponentes: Revisión Crítica. Revista Argentina de Transfusión, 2014.
- (4) PRADO, M. A. et al. Resíduos potencialmente infectantes em serviços de hemoterapia e as interfaces com as doenças infecciosas. Revista Brasileira de Enfermagem, 2004.
- (5) ESCALA SOTO, C. E. Inactivación de patógenos en el hemocomponente plasma y plaqueta. Universidad Peruana, 2022.
- (6) REZENDE, G. C. et al. Melhorias no processo de produção de hemocomponente após a implementação da inativação de patógenos na Fundação Hemominas. Hematology, Transfusion and Cell Therapy, 2023.
- (7) REZENDE, G. C. et al. Avanços na implantação da tecnologia de inativação de patógenos na Fundação Hemominas: otimização da produção e ampliação da oferta de componentes plaquetários inativados. Hematology, Transfusion and Cell Therapy, 2025.
- (8) SOUZA, G. O. et al. Experiência de um hemocentro na implantação de uma rotina de irradiação de hemocomponentes através de dispositivo por raios-x. Hematology, Transfusion and Cell Therapy, 2025.
- (9) CERDAS-QUESADA, C. Evaluación de la hemólisis y determinación de la prueba de antiglobulina directa en unidades de Concentrados de Glóbulos Rojos al final del período de almacenamiento. Revista Argentina de Transfusión, 2014.
- (10) BAMBÉS, G. et al. Detección mediante Biología Molecular de una donante de sangre portadora de Virus de Hepatitis C (HCV) serosilente. Revista Argentina de Transfusión, 2014.

(11) CALDAROLA, S. C. Homenajes en hilera y a un siglo de una hazaña argentina para el mundo. Revista Argentina de Transfusión, 2014.

(12) CERDAS-QUESADA, C. Correlación entre las técnicas para la titulación de aloanticuerpos anti-eritrocitarios (tubo y columnas de gel). Revista Argentina de Transfusión, 2014.

(13) CERDAS-QUESADA, C. Tamizaje del perfil lipídico como marcador de enfermedad cardiovascular en donantes voluntarios de sangre. Revista Argentina de Transfusión, 2014.

(14) TAURIÑO, C. Células mesenquimales y su aplicación en la práctica clínica. Revista Argentina de Transfusión, 2014.

(15) CORTÉS, A.; LEÓN DE GONZÁLEZ, G. Proyecto MAMI. Revista Argentina de Transfusión, 2014.

(16) PRADO, M. A. et al. Resíduos potencialmente infectantes em serviços de hemoterapia: aspectos de prevenção e controle. Revista Brasileira de Enfermagem, 2004.

(17) ESCALA SOTO, C. E. Ventajas y desventajas de los métodos de inactivación patógena en componentes sanguíneos. Revista Peruana de Hemoterapia, 2022.

(18) PROWSE, C. V. Pathogen inactivation of blood components: Current status and future directions. Transfusion Medicine Reviews, 2014.