

TRAUMA, CIRURGIA E MEDICINA INTENSIVA

EDIÇÃO XII

Capítulo 53

PROTOCOLO DE TRANSFUSÃO MACIÇA: ATUALIZAÇÕES E PERSPECTIVAS PARA 2025-2026

MARIA CLARA NUNES BEZERRA¹
AMANDA FRANCISCA PAULO¹
CARLOS EDUARDO XAVIER DE ALCÂNTARA¹
JULIA EIMI KITAGIMA TIBA¹
JOÃO MARCOS ALVES SANTANA¹
MARCELLA FREIRE DE CAMPOS EUZEBIO¹
ISABELLE CAMILE MASCARENHAS WARISS¹
ENZO EMEDIATO VIRNO¹
MARIANA LIRA SCHLODTMANN D'ÁVILA¹
SABRINA DOS SANTOS JACINTHO¹
IASMIN MUENZER ROCHA¹
LUÍS FERNANDO ROSATI ROCHA²
CLAUDIO LOREDO DE SÁ²

¹Discente. Universidade Federal Fluminense.

²Docente. Universidade Federal Fluminense.

Palavras-chave: Hemorragia Traumática; Transfusão Maciça; Ressuscitação Hemostática.

DOI

10.59290/9602800702

EP EDITORA
PASTEUR

INTRODUÇÃO

A hemorragia traumática grave permanece entre as principais causas de morte potencialmente evitável nas primeiras horas após o trauma, configurando um importante problema de saúde pública em razão de sua elevada morbimortalidade e da necessidade de intervenções terapêuticas rápidas, coordenadas e baseadas em evidências (LIER; HOSSFELD, 2024; MARINHO *et al.*, 2025).

Embora apenas uma parcela dos pacientes traumatizados necessite de transfusão maciça, esse grupo concentra consumo expressivo de hemocomponentes e elevada proporção dos óbitos decorrentes da exsanguinação, evidenciando a importância da implementação de estratégias capazes de promover o controle precoce da hemorragia e uma ressuscitação hemostática eficaz (LIER; HOSSFELD, 2024; SPAHN *et al.*, 2023).

Nas últimas décadas, os avanços no conhecimento acerca da fisiopatologia da hemorragia traumática demonstraram que a coagulopatia induzida pelo trauma constitui um processo dinâmico, complexo e multifatorial, iniciado imediatamente após a lesão e resultante da interação entre hipoperfusão tecidual, disfunção endotelial, resposta inflamatória sistêmica, alterações dos mecanismos de coagulação e fibrinólise, além de fatores iatrogênicos relacionados às medidas de ressuscitação (LIER; HOSSFELD, 2024; MARINHO *et al.*, 2025).

Como consequência, os Protocolos de Transfusão Maciça (PTM) evoluíram de modelos fundamentados predominantemente em critérios quantitativos de reposição sanguínea para abordagens que incorporam parâmetros fisiológicos, laboratoriais e clínicos capazes de identificar precocemente pacientes com elevado risco de exsanguinação, possibilitando intervenções mais oportunas, individualizadas e direcionadas

às alterações hemostáticas específicas (SPAHN *et al.*, 2023; MARINHO *et al.*, 2025).

Paralelamente, importantes avanços foram incorporados à prática clínica, destacando-se a consolidação da Ressuscitação de Controle de Danos (*Damage Control Resuscitation* – DCR), a utilização crescente dos testes viscoelásticos para monitorização dinâmica da coagulação, o ressurgimento do interesse pelo sangue total de baixo título de anticorpos, a administração precoce do ácido tranexâmico e o desenvolvimento de biomarcadores e sistemas de apoio à decisão baseados em inteligência artificial (SPAHN *et al.*, 2023; MARINHO *et al.*, 2025; LIER; HOSSFELD, 2024).

Apesar dos avanços observados, permanecem controvérsias relacionadas à padronização dessas estratégias, à robustez das evidências disponíveis e à sua aplicabilidade em diferentes contextos assistenciais, especialmente diante das limitações estruturais e logísticas existentes entre os diversos sistemas de saúde (CURRENT CONTROVERSIES AND ADVANCES IN MASSIVE TRANSFUSION, 2025; IMPROVING MASSIVE TRANSFUSION PROTOCOL RESPONSE, 2026).

Diante desse cenário de constante evolução das evidências científicas, torna-se necessária uma análise crítica das recomendações atualmente disponíveis, contemplando não apenas os protocolos consolidados, mas também as principais controvérsias e perspectivas futuras relacionadas ao manejo da hemorragia traumática.

Assim, o presente capítulo tem por objetivo revisar criticamente a evolução conceitual dos PTM, discutir seus fundamentos fisiopatológicos, analisar criticamente as evidências contemporâneas, com destaque para as atualizações publicadas entre 2025 e 2026 e, apresentar as perspectivas futuras para o manejo da hemor-

ragia traumática, com ênfase na integração entre fisiopatologia, medicina transfusional, monitorização hemostática e inovação tecnológica, contribuindo para uma prática clínica fundamentada em evidências e para a otimização dos desfechos dos pacientes traumatizados.

METODOLOGIA

Trata-se de uma revisão narrativa da literatura realizada por meio da base de dados PubMed.

As palavras-chave utilizadas foram “*massive transfusion protocol*”, “*massive transfusion*”, “*massive transfusion whole blood*”, “*massive transfusion trauma guideline*”, “*damage control resuscitation*” e “*trauma hemorrhage*”, associadas aos operadores booleanos AND e OR.

Foram incluídos artigos publicados entre 2020 e 2026, no idioma inglês, com ênfase em ensaios clínicos, estudos observacionais, revisões sistemáticas, diretrizes internacionais e revisões narrativas de alta relevância sobre protocolo de transfusão maciça em pacientes adultos com trauma hemorrágico.

Também foram considerados estudos que abordassem ressuscitação com sangue total, ressuscitação de controle de danos, estratégias transfusionais, uso do ácido tranexâmico, predição da necessidade de transfusão maciça e atualizações das diretrizes.

Os critérios de exclusão compreenderam artigos duplicados, estudos exclusivamente pediátricos ou veterinários, relatos de caso, cartas ao editor, editoriais, resumos de congressos sem texto completo e estudos que não abordassem diretamente o protocolo de transfusão maciça ou suas atualizações.

Trabalhos publicados antes de 2020 foram excluídos, exceto estudos clássicos de grande impacto, como os ensaios CRASH-2 e CRASH-3. Após a aplicação dos critérios de

elegibilidade, 19 artigos foram selecionados para análise.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Evolução do conceito de transfusão maciça e critérios de ativação

A definição clássica, baseada na administração de dez ou mais unidades de concentrado de hemácias em um período de 24 horas, mostrou-se inadequada para a prática clínica por permitir apenas a identificação retrospectiva dos pacientes, retardando intervenções potencialmente capazes de modificar o prognóstico (LIER; HOSSFELD, 2024; MARINHO *et al.*, 2025).

Em resposta a essa limitação, as diretrizes contemporâneas passaram a incorporar critérios dinâmicos para ativação do PTM, fundamentados não apenas na velocidade da necessidade transfusional, mas também na avaliação fisiológica do paciente (SPAHN *et al.*, 2023; MARINHO *et al.*, 2025).

Nesse contexto, parâmetros como o *Shock Index*, o escore *Assessment of Blood Consumption* (ABC) e a *Intensity of Resuscitation* (IR) passaram a integrar a avaliação inicial dos pacientes traumatizados, passaram a integrar a avaliação inicial dos pacientes traumatizados, possibilitando a identificação precoce dos pacientes com risco de exsanguinação e a implementação oportuna da ressuscitação hemostática (LIER; HOSSFELD, 2024; MARINHO *et al.*, 2025).

As evidências atualmente disponíveis demonstram que esses instrumentos apresentam maior capacidade preditiva para necessidade de transfusão maciça quando comparados aos critérios clássicos, sobretudo quando empregados de forma integrada à avaliação clínica, aos exames laboratoriais e aos achados de imagem (SPAHN *et al.*, 2023; LIER; HOSSFELD, 2024).

Entretanto, nenhum desses escores apresenta acurácia suficiente para orientar isoladamente a ativação do protocolo, reforçando que a tomada de decisão deve permanecer fundamentada na integração entre parâmetros objetivos e julgamento clínico, especialmente diante da elevada heterogeneidade fisiopatológica observada nos pacientes com trauma hemorrágico (SPAHN *et al.*, 2023; MARINHO *et al.*, 2025).

Coagulopatia induzida pelo trauma e ressuscitação de controle de danos

A coagulopatia induzida pelo trauma constitui um processo fisiopatológico complexo, precoce e multifatorial, desencadeado imediatamente após a lesão e resultante da interação entre hipoperfusão tecidual, disfunção endotelial, resposta inflamatória sistêmica, ativação da proteína C, hiperfibrinólise e alterações da cascata da coagulação (LIER; HOSSFELD, 2024; MARINHO *et al.*, 2025).

Em contraste com a concepção clássica, segundo a qual a coagulopatia era interpretada como uma consequência tardia da perda sanguínea e da reposição volêmica, as evidências contemporâneas demonstram que esse distúrbio pode estar presente nas fases iniciais do trauma, antes mesmo do desenvolvimento de hipotensão manifesta, caracterizando o denominado choque oculto (LIER; HOSSFELD, 2024; SPAHN *et al.*, 2023).

Esse avanço na compreensão dos mecanismos fisiopatológicos reforça a importância da identificação precoce da deterioração fisiológica, possibilitando a instituição oportuna de intervenções destinadas a interromper a progressão da hemorragia, preservar a hemostasia e reduzir a mortalidade (SPAHN *et al.*, 2023; MARINHO *et al.*, 2025).

Nesse contexto, a DCR consolidou-se como um dos pilares do manejo da hemorragia traumática grave.

As recomendações contemporâneas contemplam a ressuscitação volêmica restritiva com soluções cristaloides balanceadas, a administração precoce de ácido tranexâmico, a transfusão balanceada de hemocomponentes e a correção direcionada da coagulopatia por meio da reposição de fibrinogênio ou crioprecipitado, associadas à monitorização seriada da contagem plaquetária e da concentração de cálcio ionizado (SPAHN *et al.*, 2023; MARINHO *et al.*, 2025).

A hipocalcemia passou a ser reconhecida como um importante determinante da deterioração fisiológica observada na hemorragia traumática grave.

A transfusão maciça de hemocomponentes favorece a quelação do cálcio pelo citrato presente nas bolsas de sangue, comprometendo a contratilidade miocárdica, a responsividade vascular às catecolaminas e múltiplas etapas da cascata da coagulação.

Dessa forma, a reposição precoce de cálcio passou a integrar as estratégias de ressuscitação hemostática, constituindo uma intervenção fundamentada em bases fisiopatológicas e potencialmente capaz de contribuir para melhores desfechos clínicos (SPAHN *et al.*, 2023; LIER; HOSSFELD, 2024; MARINHO *et al.*, 2025).

Estratégias transfusionais: terapia empírica versus abordagem guiada por metas

A ressuscitação hemostática baseada na transfusão empírica em proporção fixa (1:1:1) permanece como a estratégia recomendada durante os momentos iniciais da hemorragia maciça, principalmente pela rapidez de implementação e pela capacidade de reproduzir parcialmente as características fisiológicas do sangue total (LIER; HOSSFELD, 2024; SPAHN *et al.*, 2023).

Essa estratégia foi consolidada pelo *PRO-PPR Trial*, estudo multicêntrico randomizado que incluiu aproximadamente 680 pacientes e

demonstrou maior probabilidade de obtenção de hemostasia e menor mortalidade por exsanguinação nas primeiras 24 horas entre os pacientes submetidos à estratégia 1:1:1.

Entretanto, não foram observadas diferenças significativas na mortalidade global em 30 dias quando comparada à estratégia 1:1:2 (HOLCOMB *et al.*, 2015; LIER; HOSSFELD, 2024).

Esses achados indicam que a transfusão balanceada exerce maior impacto sobre o controle precoce da hemorragia do que sobre os desfechos tardios, reforçando seu papel como intervenção inicial, mas não definitiva, no manejo do trauma hemorrágico (MARINHO *et al.*, 2025; SPAHN *et al.*, 2023).

Os testes viscoelásticos, especialmente a tromboelastografia (TEG) e a tromboelastometria rotacional (ROTEM), assumiram papel crescente na ressuscitação hemostática por permitirem avaliação dinâmica da formação, estabilidade e lise do coágulo em poucos minutos.

Diferentemente dos testes convencionais de coagulação, esses métodos possibilitam a identificação precoce de alterações como deficiência de fibrinogênio, disfunção plaquetária e hiperfibrinólise, favorecendo a reposição direcionada dos hemocomponentes e reduzindo transfusões desnecessárias (LIER; HOSSFELD, 2024; MARINHO *et al.*, 2025).

Entretanto, embora a *European Guideline on Management of Major Bleeding and Coagulopathy Following Trauma* recomende a utilização desses métodos sempre que disponíveis, as evidências ainda apresentam limitações decorrentes da heterogeneidade metodológica dos estudos e dos resultados inconsistentes quanto ao impacto sobre mortalidade.

Além disso, fatores como custo elevado, disponibilidade restrita e necessidade de treinamento especializado dificultam sua implementação rotineira, especialmente em serviços com

menor volume de atendimento ao trauma (SPAHN *et al.*, 2023; LIER; HOSSFELD, 2024).

Dessa forma, o modelo atualmente mais aceito consiste em iniciar imediatamente a ressuscitação empírica baseada em proporções fixas e, assim que os resultados de TEG ou ROTEM estiverem disponíveis, realizar a transição para uma terapia guiada por metas, conciliando rapidez terapêutica com individualização da assistência (SPAHN *et al.*, 2023; MARINHO *et al.*, 2025).

Sangue total: benefícios, limitações e perspectivas

A reintrodução do sangue total de baixo título de anticorpos (*Low-Titer Group O Whole Blood* – LTOWB) representa uma das principais mudanças observadas na medicina transfusional contemporânea.

Diferentemente da terapia baseada em componentes separados, o sangue total preserva a proporção fisiológica entre hemácias, plasma, plaquetas e fatores de coagulação, reduzindo a hemodiluição e simplificando a logística transfusional (COULTHARD *et al.*, 2024; MEI-ZOSO *et al.*, 2024).

Estudos observacionais recentes demonstraram associação entre a utilização do LTOWB e redução da mortalidade, menor incidência de lesão renal aguda, menor consumo total de hemocomponentes e preservação da integridade endotelial quando comparado à terapia baseada em componentes separados (COULTHARD *et al.*, 2024).

Esses benefícios parecem decorrer da manutenção das proporções fisiológicas entre hemácias, plasma e plaquetas, reduzindo a hemodiluição e favorecendo uma ressuscitação mais fisiológica (COULTHARD *et al.*, 2024).

Entretanto, a interpretação desses resultados exige cautela. A maior parte das evidências

disponíveis deriva de estudos retrospectivos conduzidos em centros de trauma de alta complexidade, sujeitos à heterogeneidade dos protocolos assistenciais e ao viés de seleção.

Até o momento, inexistem ensaios clínicos randomizados de grande porte capazes de demonstrar superioridade inequívoca do sangue total sobre a terapia convencional, razão pela qual as recomendações atuais permanecem condicionais (MEIZOSO *et al.*, 2024; MARINHO *et al.*, 2025).

Além das limitações metodológicas, persistem desafios relacionados à disponibilidade, armazenamento, compatibilidade imunológica e gerenciamento dos estoques, particularmente em hospitais que não atuam como centros de trauma de alta complexidade.

Assim, embora o sangue total represente uma das perspectivas mais promissoras da ressuscitação hemostática, sua incorporação universal ainda depende da consolidação das evidências clínicas e da superação das barreiras estruturais dos serviços de hemoterapia (COULTHARD *et al.*, 2024; MARINHO *et al.*, 2025).

Controvérsias atuais dos protocolos transfusionais

Embora exista um consenso quanto à importância da ressuscitação hemostática precoce no manejo da hemorragia traumática, diversos aspectos relacionados à composição ideal dos protocolos transfusionais permanecem objeto de debate.

Entre eles, destaca-se a proporção mais adequada entre os hemocomponentes administrados durante a ressuscitação. Estudo multicêntrico recente demonstrou que maiores proporções de plaquetas em relação às hemácias estiveram associadas à redução da mortalidade nas primeiras 24 horas e em 30 dias.

Entretanto, esse benefício foi acompanhado por aumento da incidência de tromboembolismo pulmonar, lesão renal aguda e sepse, evidenciando que estratégias transfusionais mais intensivas podem melhorar o controle inicial da hemorragia, mas também aumentar o risco de complicações relacionadas à transfusão (PENG *et al.*, 2025).

Paralelamente, revisões recentes têm demonstrado que a aplicação indiscriminada de protocolos padronizados pode não contemplar a elevada heterogeneidade fisiopatológica observada nos pacientes com trauma grave.

Nesse contexto, observa-se uma mudança progressiva de paradigma, na qual modelos transfusionais rígidos vêm sendo substituídos por estratégias orientadas pela resposta fisiológica individual, integrando parâmetros clínicos, laboratoriais e testes viscoelásticos para direcionar a reposição de hemocomponentes (LIER; HOSSFELD, 2024; MARINHO *et al.*, 2025).

Assim, as evidências contemporâneas indicam que a ressuscitação hemostática deve buscar um equilíbrio entre eficácia no controle da hemorragia e segurança transfusional, priorizando abordagens individualizadas capazes de otimizar os desfechos clínicos sem aumentar desnecessariamente o risco de eventos adversos (SPAHN *et al.*, 2023; MARINHO *et al.*, 2025).

Ácido tranexâmico: consolidação das evidências

Entre as intervenções farmacológicas disponíveis para o manejo da hemorragia traumática, o ácido tranexâmico permanece como uma das terapias respaldadas pelo mais elevado nível de evidência científica.

Seu mecanismo de ação baseia-se na inibição da fibrinólise por meio do bloqueio competitivo da ligação do plasminogênio à fibrina, promovendo maior estabilidade do coágulo e contribuindo para a redução da perda sanguínea

(ROBERTS *et al.*, 2010; LIER; HOSSFELD, 2024).

Os estudos CRASH-2 e CRASH-3 consolidaram seu papel na ressuscitação hemostática ao demonstrarem redução significativa da mortalidade quando o medicamento é administrado precocemente após o trauma, especialmente nas primeiras três horas após a lesão, com maior benefício observado durante a primeira hora de atendimento (ROBERTS *et al.*, 2010; ROBERTS *et al.*, 2019).

Esses resultados fundamentaram sua incorporação às principais diretrizes internacionais, que recomendam a administração imediata do ácido tranexâmico em pacientes com suspeita de hemorragia significativa ou risco elevado de sangramento (SPAHN *et al.*, 2023).

Entretanto, as evidências contemporâneas demonstram que o benefício do ácido tranexâmico apresenta importante dependência temporal.

A redução progressiva de sua eficácia quando administrado tardiamente reforça que o sucesso terapêutico está diretamente relacionado à precocidade da intervenção, e não apenas ao uso do medicamento.

Além disso, estudos recentes sugerem que sua utilização deve estar integrada ao PTM e à DCR, sendo direcionada aos pacientes com maior probabilidade de hemorragia importante, evitando tanto atrasos na administração quanto o emprego indiscriminado do fármaco (LIER; HOSSFELD, 2024; MARINHO *et al.*, 2025).

Embora o perfil de segurança do ácido tranexâmico seja amplamente favorável, permanecem discussões quanto à sua utilização rotineira em pacientes sem evidências de hemorragia significativa, reforçando a necessidade de adequada seleção clínica e de sua associação às demais estratégias de ressuscitação hemostática.

Dessa forma, o ácido tranexâmico consolidou-se como componente fundamental da

DCR, representando uma intervenção de baixo custo, elevada disponibilidade e impacto comprovado na redução da mortalidade quando administrado de forma precoce e integrada às demais medidas de controle da hemorragia (SPAHN *et al.*, 2023; MARINHO *et al.*, 2025).

Biomarcadores e perspectivas futuras

A incorporação de novos marcadores moleculares desponta como uma das estratégias mais promissoras para aprimorar a identificação precoce dos pacientes candidatos ao PTM, especialmente diante das limitações dos modelos preditivos atualmente empregados na prática clínica.

Embora ferramentas como o *Shock Index* e o ABC apresentem desempenho satisfatório na avaliação inicial do paciente traumatizado, sua acurácia pode ser influenciada pelas alterações fisiológicas decorrentes da progressão do choque hemorrágico.

Nesse cenário, indicadores capazes de refletir precocemente a intensidade da lesão tecidual, da resposta inflamatória e da coagulopatia vêm sendo investigados como instrumentos complementares para otimizar a indicação e a ativação do protocolo (LIER; HOSSFELD, 2024; MARINHO *et al.*, 2025).

Entre os candidatos mais promissores destaca-se a proteína *High Mobility Group Box-1* (HMGB-1), cuja elevação sérica foi associada à maior perda sanguínea, maior consumo de fibrinogênio, ativação plaquetária, hiperfibrinólise, maior necessidade de transfusão de hemocomponentes e maior frequência de ativação do PTM, inclusive em pacientes inicialmente classificados como de baixo risco pelos escores convencionais.

Esses achados sugerem que sua dosagem pode complementar os modelos preditivos atu-

almente disponíveis, favorecendo a identificação mais precoce dos pacientes com elevado risco de exsanguinação.

Apesar desse potencial, sua incorporação à prática clínica permanece limitada pela indisponibilidade de métodos diagnósticos de rápida execução, pela necessidade de validação em estudos prospectivos multicêntricos e pela ausência de protocolos padronizados para sua utilização rotineira (FRELICH *et al.*, 2025).

Além do desenvolvimento dessas ferramentas diagnósticas, estudos recentes têm enfatizado que o aprimoramento dos PTMs depende igualmente da otimização dos processos assistenciais.

A revisão dos critérios de ativação, o fortalecimento da comunicação entre as equipes multiprofissionais e a padronização dos fluxos institucionais constituem estratégias capazes de reduzir atrasos no reconhecimento da hemorragia grave e acelerar o início da ressuscitação hemostática.

Nesse sentido, evidencia-se uma convergência entre inovação diagnóstica e aperfeiçoamento organizacional, uma vez que ambos compartilham o objetivo de reduzir o tempo para identificação da exsanguinação e otimizar a ativação do protocolo (LIER; HOSSFELD, 2024; MARINHO *et al.*, 2025; CANNON *et al.*, 2026).

Apesar dos avanços observados, a incorporação rotineira dessas estratégias ainda enfrenta desafios relacionados à disponibilidade dos métodos diagnósticos, à necessidade de validação externa, à avaliação de custo-efetividade e à aplicabilidade em diferentes sistemas de saúde.

Dessa forma, as perspectivas futuras apontam para PTMs progressivamente mais individualizados, fundamentados na integração entre avaliação clínica, parâmetros fisiológicos, monitorização laboratorial e ferramentas complementares de estratificação de risco.

Espera-se que essa abordagem contribua para o reconhecimento mais precoce da hemorragia grave, otimização da tomada de decisão terapêutica e utilização mais racional dos hemocomponentes, com potencial impacto na redução da morbimortalidade associada ao trauma grave (LIER & HOSSFELD, 2024; MARINHO *et al.*, 2025).

Desafios para a implementação dos PTMs e perspectivas futuras

A análise dos estudos incluídos nesta revisão evidencia que o manejo da hemorragia traumática evoluiu significativamente nas últimas décadas, impulsionado pelo maior entendimento da fisiopatologia da coagulopatia induzida pelo trauma e pelo desenvolvimento de novas estratégias de ressuscitação hemostática.

Entretanto, observa-se que a incorporação de algumas dessas intervenções à prática clínica ainda ocorre em um cenário de evidências com diferentes níveis de qualidade metodológica, o que exige cautela na interpretação dos resultados e na formulação de recomendações clínicas (SPAHN *et al.*, 2023; LIER; HOSSFELD, 2024; MARINHO *et al.*, 2025).

Grande parte das evidências que sustentam estratégias recentes, como a utilização rotineira do sangue total de baixo título de anticorpos, o emprego dos testes viscoelásticos para direcionamento da terapia transfusional e a investigação de novos biomarcadores, deriva de estudos observacionais, retrospectivos ou conduzidos em centros de trauma de alta complexidade.

Consequentemente, limitações como heterogeneidade dos protocolos institucionais, diferenças nos critérios de inclusão dos pacientes, reduzido número de ensaios clínicos randomizados e limitada validade externa dificultam a extrapolação desses achados para diferentes cenários assistenciais (LIER; HOSSFELD, 2024; MARINHO *et al.*, 2025; FRELICH *et al.*, 2025).

Outro aspecto relevante refere-se à implementação dessas estratégias em sistemas de saúde com diferentes níveis de complexidade.

A disponibilidade de sangue total, testes viscoelásticos e métodos laboratoriais especializados depende de infraestrutura adequada, recursos financeiros e equipes capacitadas, fatores que podem limitar sua aplicação rotineira, sobretudo em hospitais que não atuam como centros de referência em trauma.

Dessa forma, a incorporação dessas tecnologias deve considerar não apenas seus potenciais benefícios clínicos, mas também aspectos relacionados à viabilidade operacional, ao custo-efetividade e à organização dos serviços de hemoterapia (SPAHN *et al.*, 2023; LIER; HOSSFELD, 2024).

Nesse contexto, as perspectivas futuras apontam para PTMs progressivamente mais individualizados, fundamentados na integração entre avaliação clínica, parâmetros fisiológicos, monitorização laboratorial e ferramentas complementares capazes de identificar precocemente alterações da hemostasia.

Contudo, a consolidação desse modelo dependerá da realização de estudos prospectivos, multicêntricos e randomizados que permitam validar essas estratégias em diferentes populações e contextos assistenciais, fortalecendo a medicina transfusional baseada em evidências e contribuindo para a otimização dos desfechos clínicos dos pacientes com hemorragia traumática grave (SPAHN *et al.*, 2023; MARINHO *et al.*, 2025).

CONCLUSÃO

A evolução dos PTMs acompanha a crescente compreensão da fisiopatologia da hemorragia traumática e da coagulopatia induzida pelo trauma, consolidando uma mudança significativa na abordagem do paciente com hemorragia grave.

A substituição de modelos fundamentados exclusivamente em critérios quantitativos por estratégias que integram parâmetros clínicos, fisiológicos e laboratoriais permitiu maior precocidade na identificação da exsanguinação e favoreceu a implementação de intervenções mais direcionadas durante as fases iniciais da ressuscitação (SPAHN *et al.*, 2023; LIER; HOSSFELD, 2024; MARINHO *et al.*, 2025).

As evidências atualmente disponíveis sustentam a ressuscitação hemostática baseada na transfusão balanceada como estratégia inicial de escolha, associada à administração precoce de ácido tranexâmico e à DCR.

Paralelamente, intervenções como a utilização do sangue total de baixo título de anticorpos, a terapia transfusional guiada por testes viscoelásticos e a investigação de novos biomarcadores representam avanços relevantes para a individualização do tratamento.

Entretanto, a maior parte dessas estratégias ainda é sustentada por evidências observacionais ou retrospectivas, o que reforça a necessidade de estudos prospectivos, multicêntricos e randomizados para definir seu impacto sobre mortalidade, segurança e custo-efetividade (SPAHN *et al.*, 2023; LIER; HOSSFELD, 2024; MARINHO *et al.*, 2025; FRELICH *et al.*, 2025).

Nesse contexto, o principal avanço observado não está relacionado à substituição de uma estratégia transfusional por outra, mas à consolidação de um modelo de cuidado progressivamente mais individualizado, no qual a tomada de decisão passa a considerar a resposta fisiológica de cada paciente, em vez da aplicação indiscriminada de protocolos rígidos.

Essa mudança de paradigma reforça que a efetividade do PTM depende não apenas da disponibilidade de novas tecnologias, mas também da integração entre diagnóstico precoce, moni-

torização contínua, organização dos fluxos assistenciais e atuação coordenada das equipes multiprofissionais (SPAHN *et al.*, 2023; LIER; HOSSFELD, 2024).

Por fim, espera-se que o desenvolvimento de evidências de maior qualidade metodológica, aliado ao aperfeiçoamento contínuo dos processos assistenciais e da medicina transfusional, permita consolidar protocolos cada vez

mais precisos, seguros e adaptados às diferentes realidades dos sistemas de saúde.

Dessa forma, o futuro dos PTMs deverá ser pautado pela integração entre conhecimento fisiopatológico, medicina baseada em evidências e individualização terapêutica, com o objetivo de reduzir a morbimortalidade associada à hemorragia traumática grave e otimizar os desfechos clínicos dos pacientes (SPAHN *et al.*, 2023; MARINHO *et al.*, 2025).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CANNON, J. W. Transfusion strategies in trauma. Hematology/Oncology Clinics of North America, Philadelphia, v. 36, n. 1, p. 87-101, 2022.

COULTHARD, S. L.; KAPLAN, L. J.; CANNON, J. W. What's new in whole blood resuscitation? In the trauma bay and beyond. Current Opinion in Critical Care, Philadelphia, v. 30, n. 3, p. 209-216, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1097/MCC.0000000000001140>.

CRASH-3 TRIAL COLLABORATORS. Effects of tranexamic acid on death, disability, vascular occlusive events and other morbidities in patients with acute traumatic brain injury (CRASH-3): a randomised, placebo-controlled trial. The Lancet, London, v. 394, n. 10210, p. 1713-1723, 2019. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(19\)32233-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(19)32233-0).

FRELICH, M. *et al.* HMGB-1 as a predictor of major bleeding requiring activation of a massive transfusion protocol in severe trauma. Scientific Reports, London, v. 15, art. 4651, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-89139-1>.

KELLOGG, B. A. *et al.* Massive transfusion protocol reactivation as a novel marker of physician team under-triage after injury. The Journal of Trauma and Acute Care Surgery, Philadelphia, v. 96, n. 5, p. 886-893, 2024.

LIER, H.; HOSSFELD, B. Massive transfusion in trauma. Current Opinion in Anaesthesiology, Philadelphia, v. 37, n. 2, p. 117-124, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1097/ACO.0000000000001347>.

LIN, T.-L.; LIU, H.-T.; HSIEH, C.-H. Current controversies and advances in massive transfusion: balancing evidence and practice. Journal of the Formosan Medical Association, Taipei, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfma.2025.07.016>.

MARINHO, A. S. *et al.* A comprehensive review of massive transfusion and major hemorrhage protocols. Journal of Clinical Medicine, Basel, v. 14, n. 1, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/jcm14010113>.

MEIZOSO, J. P. *et al.* Whole blood resuscitation for injured patients requiring transfusion: a systematic review, meta-analysis, and practice management guideline from the Eastern Association for the Surgery of Trauma. The Journal of Trauma and Acute Care Surgery, Philadelphia, v. 97, n. 3, p. 460-470, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000004327>.

MENESES, E. *et al.* Massive transfusion protocol in adult trauma population. The American Journal of Emergency Medicine, New York, v. 38, n. 12, p. 2661-2667, 2020.

PENG, C. *et al.* High platelet-to-red blood cell ratio and outcomes in trauma patients requiring massive transfusions. World Journal of Emergency Surgery, London, v. 20, n. 1, art. 72, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13017-025-00645-z>.

ROBERTS, I. *et al.* Effects of tranexamic acid on death, disability, vascular occlusive events and other morbidities in patients with acute traumatic brain injury (CRASH-3): a randomised, placebo-controlled trial. The Lancet, London, v. 394, n. 10210, p. 1713-1723, 2019. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(19\)32233-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(19)32233-0).

ROBERTS, I. *et al.* Effects of tranexamic acid on death, vascular occlusive events, and blood transfusion in trauma patients with significant haemorrhage (CRASH-2): a randomised, placebo-controlled trial. The Lancet, London, v. 376, n. 9734, p. 23-32, 2010. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(10\)60835-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(10)60835-5).

SPAHN, D. R. *et al.* The European guideline on management of major bleeding and coagulopathy following trauma: sixth edition. Critical Care, London, v. 27, n. 1, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13054-023-04327-7>.

VAN GENT, J.-M. *et al.* Improving massive transfusion protocol response: impact of time to first cooler delivery on patient survival. Journal of the American College of Surgeons, v. 240, 2025. DOI: [10.1097/XCS.0000000000001282](https://doi.org/10.1097/XCS.0000000000001282).

WILLIAMS, D. *et al.* Association between whole blood ratio and risk of mortality in massively transfused trauma patients. The Journal of Trauma and Acute Care Surgery, 2024.

WILLIAMS, D. *et al.* Quantifying the benefit of whole blood on mortality in trauma patients requiring emergent laparotomy. The Journal of Trauma and Acute Care Surgery, Philadelphia, 2024.