

UNIVERSIDADE ANHEMBI MORUMBI

ROGER WILLIAM FREIRE RONCONI

**DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO PARA USO EM
ATENDIMENTO PRÉ HOSPITALAR: “TORNQUETE RÁPIDO”**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**MESTRADO EM ENGENHARIA BIOMÉDICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU**

São José dos Campos, Abril de 2022

UNIVERSIDADE ANHEMBI MORUMBI

ROGER WILLIAM FREIRE RONCONI

**DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO PARA USO EM
ATENDIMENTO PRÉ HOSPITALAR: “TORNQUETE RÁPIDO”**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
Stricto Sensu em Engenharia Biomédica – Mestrado, da
Universidade Anhembi Morumbi, como requisito parcial para
obtenção do título de Mestre em Engenharia Biomédica.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Alexis Lazo Osorio

São José dos Campos, Abril de 2022

UNIVERSIDADE ANHEMBI MORUMBI

ROGER WILLIAM FREIRE RONCONI

DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO PARA USO EM ATENDIMENTO PRÉ HOSPITALAR: “TORNQUETE RÁPIDO”

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
Stricto Sensu em Engenharia Biomédica – Mestrado, da
Universidade Anhembi Morumbi, como requisito parcial para
obtenção do título de Mestre em Engenharia Biomédica
aprovada pela seguinte Banca Examinadora:

Prof. Dr. Rodrigo Alexis Lazo Osorio

Orientador

Mestrado em Engenharia Biomédica

Universidade Anhembi Morumbi

Profa. Dra. Alex Sandra Oliveira de Cerqueira Soares (externo)

Universidade de Taubaté

Profa. Dra. Livia Helena Moreira da Silva Melo (interno)

Universidade Anhembi Morumbi

Prof. Dr. Renato Amaro Zângaro (coordenação)

Universidade Anhembi Morumbi

Prof. Dr. Carlos José de Lima (Suplente interno)

Universidade Anhembi Morumbi

Prof. Dr. Aquiles Yáñez-Silva (Suplente externo)

Universidad Mayor

São José dos Campos, Abril de 2022

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da Universidade, do autor e do orientador.

ROGER WILLIAM FREIRE RONCONI

Graduado em fisioterapia, pós-graduado em fisioterapia do trabalho, pós-graduado em urgência e emergência, especialista e pós-graduado em acupuntura e medicina tradicional chinesa, instrutor de APH, resgate e medicina tática.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca UAM
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

769d Ronconi, Roger William Freire
Desenvolvimento de dispositivo para uso em
atendimento pré-hospitalar: "torniquete rápido" / Roger
William Freire Ronconi. - 2022.
112f. : il.; 30cm.

Orientador: Rodrigo Alexis Lazo Osorio.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) -
Universidade Anhembi Morumbi, São José Dos
Campos, 2022.
Bibliografia: f.96

1. Engenharia biomédica. 2. Dispositivos médicos. 3.
Instrumentação. 4. Torniquete. 5. Hemorragias.

CDD 610.28

Aleksandra Oliveira - CRB 8/6302

RESUMO

As hemorragias são a principal causa de morte no trauma e condição de atenção inicial nos cuidados em atendimento de emergência pré-hospitalar, tanto civil quanto tático/militar. As hemorragias massivas e descontroladas permanecem como importante causa de morte evitável e requerem controle imediato, o que pode ser feito através do emprego de torniquetes (TQ). O conceito fundamental de TQ é de uma compressão circunferencial, aplicada proximalmente ao local da lesão, com pressão superior à arterial, que resulta na interrupção do fluxo sanguíneo e do curso da hemorragia. O emprego de torniquetes comerciais (TQ-C), que são projetados, testados e registrados, para controle de hemorragias em Atendimento Pré-Hospitalar (APH) é consenso, considerada a relação risco-benefício. Entretanto, ainda são pouco comuns nos serviços de APH brasileiros, principalmente por questões de aquisição de materiais. O objetivo deste projeto de pesquisa foi desenvolver um TQ-C viável de aspecto simples, de ação rápida e intuitiva. Trata-se de uma pesquisa aplicada, para desenvolvimento de dispositivo para uso em saúde, tendo sido projetado e designado o “Torniquete Rápido” (TR), com design minimalista que visa facilitar sua aplicação, inclusive por leigos, bem como fortalecer a presença brasileira na produção científica sobre TQ e controle de hemorragias. O projeto do TR com sistema de alavanca e catraca se mostrou promissor na efetividade e formas de aplicação, gerando uma demanda e perspectivas futuras, em função da validação de sua efetividade para oclusão arterial, além de comparação com outros dispositivos já disponíveis.

Palavras-chaves: engenharia biomédica, dispositivos médicos, instrumentação, torniquete, hemorragias.

DEVELOPMENT OF A DEVICE FOR PRE-HOSPITAL CARE
APPLICATIONS: “TOURNIQUETE RÁPIDO”

ABSTRACT

Massive bleeding is the leading cause of death in trauma and the condition of initial prehospital emergency care, both civilian and tactical/military. Massive and uncontrolled hemorrhages remain an important cause of preventable death and require immediate control, which can be done through the use of tourniquets (TQ). The fundamental concept of a TQ is a circumferential compression, applied proximally to the injury site, with a pressure higher than the arterial, which results in the interruption of the blood flow and the course of the hemorrhage. The use of commercial tourniquets (C-TQ), which are designed, tested and registered, to control hemorrhages in prehospital care is a consensus, considering the risk-benefit ratio. However, they are still uncommon in Brazilian prehospital services, mainly due to material acquisition issues. The objective of this research was to develop a viable and simple-looking, fast-acting and intuitive C-TQ. This is applied research, for the development of a device for use in health care. It was developed and designated the “Torniquete Rápido” (TR), wich means “quick tourniquet”. The development of this simpler device with a minimalist design aims to facilitate its application, including by laypeople, as well as to strengthen the Brazilian presence in the scientific production on TQ and hemorrhage control. The TR project with a lever and ratchet system showed promising in terms of effectiveness and forms of application, generating a demand and prospects for research due to the validation of its effectiveness for arterial occlusion, as well as the comparison with other devices already available.

Key-words: *biomedical engineering, medical devices, instrumentation, tourniquet, hemorrhage.*

SUMÁRIO

RESUMO.....	4
ABSTRACT	5
SUMÁRIO.....	6
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	8
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	11
1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA.....	15
2.1 Objetivo geral	15
2.2 Objetivos específicos.....	15
2.3 Justificativa	15
3. REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1 Histórico dos torniquetes (TQ)	17
3.2 Diretrizes mais importantes	20
3.3 Dispositivos recomendados pelo <i>Committee on Tactical Combat Casualty Care (Co-TCCC)</i>	21
3.4 Tipos de TQ	22
3.5 Efetividade dos TQ	26
3.6 Funcionamento dos TQ	29
4. METODOLOGIA	44
4.1 Delineamento e referencial	44
4.2 Contextualização e levantamento bibliográfico.....	44
4.3 Análise de dispositivos disponíveis.....	44
4.4 Projeto de um novo dispositivo	45
4.5 Primeiro modelamento 3D do novo dispositivo.....	46
4.6 Primeira prototipação física do novo dispositivo	46
4.7 Primeiro teste de manuseio e técnica de aplicação.....	47
4.8 Segundo modelamento 3D do novo dispositivo.....	47
4.9 Segunda prototipação física do novo dispositivo	48
4.10 Segundo teste de manuseio e técnica de aplicação.....	48
4.11 Ajustes finais de peças do segundo protótipo	49
5. RESULTADOS	50

5.1	Projeto de um novo dispositivo	50
5.2	Análise de dispositivos disponíveis.....	50
5.3	Primeiro modelamento 3D (primeiro modelo)	51
5.4	Primeira prototipação física (primeiro modelo)	54
5.5	Primeiro teste de manuseio e técnicas de aplicação	57
5.6	Detalhes finais quanto ao design do primeiro modelo	60
5.7	Segundo modelamento 3D (segundo modelo)	60
5.8	Segunda prototipação física (segundo modelo)	68
5.9	Segundo teste de manuseio e técnicas de aplicação	70
5.10	Ajustes finais de peças do segundo protótipo	77
5.11	Identidade visual do novo dispositivo	78
6.	DISCUSSÃO	80
6.1	Um dispositivo minimalista	80
6.2	Usabilidade e tempo de aplicação	82
6.3	Manuseio e técnicas de aplicação específicas ao primeiro modelo do TR.....	84
6.4	Modelo com catraca e vantagem mecânica (segundo modelo do TR)	87
6.5	Ajustes de peças do segundo protótipo.....	90
6.6	Manuseio e técnicas de aplicação específicas ao segundo modelo do TR.....	91
6.7	Dimensões do TR	91
6.8	Trabalhos futuros e inclusão no mercado	92
7.	CONCLUSÃO	95
8.	REFERÊNCIAS.....	96

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – (A) Representação do “ <i>spanish windlass tourniquet</i> ” com uma placa de compressão; (B) Representação do “ <i>Petit’s screw tourniquet</i> ”.....	18
Figura 2 - Alguns TQ-C de haste de torção recomendados pelo CO-TCCC....	24
Figura 3 - TQ-C elástico SWAT-T (<i>Stretch, Wrap, and Tuck Tourniquet</i>).	24
Figura 4 - TQ-C pneumático modelo <i>Emergency & Military Tourniquet (EMT)</i> , recomendado pelo CO-TCCC.	24
Figura 5 - TQ-C utilizando padronização de cores e de visibilidade.....	26
Figura 6 - Técnicas de aplicação com uma e com duas mãos.....	29
Figura 7 - Técnica de aplicação de torniquete deliberado.....	31
Figura 8 - Técnica de aplicação de torniquete emergencial	31
Figura 9 - Efeito da compressão circunferencial em virtude da tensão de tração na cinta pela torção da haste..	33
Figura 10 - Representação de um Sistema de alavanca inter-resistente.	34
Figura 11 - Representação do posicionamento das variáveis da equação do torque.	35
Figura 12 – Representação sem escala do torque pela torção da haste TQ. ..	36
Figura 13 - TQ aplicados proximalmente às lesões com hemorragias.....	37
Figura 14 - Diagrama tensão-deformação.....	42
Figura 15 – Dispositivos avaliados, modelos.....	50
Figura 16 - Modelagem 3D do dispositivo para prototipação, visão geral.	51
Figura 17 - Detalhe da trava do TR no projeto 3D do primeiro protótipo.....	51
Figura 18 - Detalhe da trava do primeiro protótipo do TR em projeto.	52
Figura 19 - Detalhes do passador paralelo e das aberturas de tração do TR. .	52
Figura 20 - Padronização provisória de terminologias primeiro protótipo.....	53
Figura 21 - Padrões de cores do TR.	54
Figura 22 - Ilustração das partes para impressão e fundição do dispositivo. ..	54

Figura 23 - Detalhe dos recortes das partes da fita para junção a quente.	55
Figura 24 - Protótipo do primeiro modelo pronto para testes.	55
Figura 25 - Características dimensionais do primeiro protótipo do TR.	56
Figura 26 - Resultado do primeiro protótipo por impressão 3D	56
Figura 27 - Funcionamento das aberturas de tração da cinta.	57
Figura 28 - Funcionamento das aberturas de tração da cinta do TQ	57
Figura 29 - Testes de manuseio do dispositivo e desenvolvimento de técnicas com o modelo: autoaplicação (com apenas uma das mãos) em MMSS.	58
Figura 30 - Testes de manuseio do dispositivo e desenvolvimento de técnicas com o modelo: autoaplicação (com as duas mãos) em MMII.	59
Figura 31 - Volume para acondicionamento do primeiro protótipo do TR.	59
Figura 32 - Modelamento 3D do segundo protótipo do TR, visão geral.	60
Figura 33 - Protótipo virtual do novo dispositivo com melhorias.	61
Figura 34 - Detalhe do novo Sistema de trava com adição de catraca.	61
Figura 35 - Visão geral e detalhe do novo protótipo do TR com melhorias. ...	61
Figura 36 - Detalhe do encaixe das partes da cinta do novo protótipo do TR. ...	62
Figura 37 - Visão geral e detalhe do novo protótipo do TR com melhorias.	62
Figura 38 - Padronização de terminologias referentes às partes e componentes do segundo protótipo do TR.	63
Figura 39 - Detalhes da Caixa da trava, por onde passa a cinta do TQ.	64
Figura 40 - Detalhes da caixa da trava que permitem visualizar, internamente, a engrenagem que traciona a cremalheira da cinta.	64
Figura 41 - Detalhe do funcionamento do sistema de catraca adicionado ao novo modelo do TR.	65
Figura 42 - Detalhe dos componentes do sistema de catraca.	66
Figura 43 - Detalhes que ilustram o funcionamento do Sistema de catraca. ...	66
Figura 44 - Vantagem mecânica do novo sistema de tração da cinta.	67

Figura 45 - O segundo protótipo físico montado.	68
Figura 46 - Protótipo do Segundo modelo do TR pronto para testes.	68
Figura 47 - Protótipo do Segundo modelo do TR pronto para testes.	69
Figura 48 - Visão geral das dimensões do dispositivo.	69
Figura 49 - Principais dimensões do segundo modelo do dispositivo.	70
Figura 50 - Sequência do procedimento de aplicação e aperto inicial.	71
Figura 51 - Tração da fita pelo primeiro aperto (duas mãos) e pelo aperto final (acionando repetidamente a catraca pela alavanca).	72
Figura 52 - Sequência do procedimento de aperto final.	73
Figura 53 - Sequência do procedimento de alívio e soltura.	74
Figura 54 - Sequência da autoaplicação.	75
Figura 55 - Sequência da autoaplicação com duas mãos.	76
Figura 56 - Visão lateral da Caixa da trava, com a nova engrenagem interna e seus dentes angulados para melhor encaixe na cremalheira da cinta.	77
Figura 57 – As 3 peças novas, impressas em PETG XT.	77
Figura 58 – As novas peças instaladas no segundo protótipo.	78
Figura 59 - Identidade visual provisória do dispositivo.	78
Figura 60 – Dispositivo com a identidade visual.	79
Figura 61 - Padrões de cor do novo protótipo do TR com a identidade visual.	79
Figura 62 - Compressão circunferencial em razão da tração da extremidade da fita ou cinta, que passa por dentro de uma caixa com sistema de trava.	80
Figura 63 - Técnica de aplicação em si próprio (auto-aplicação) e as dificuldades de fixação, com a necessidade de adaptações no método de emprego do primeiro protótipo do TR.	85

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3D - Tridimensional

a.C - antes de Cristo

ACS - American College of Surgeons

AHA – American Heart Association

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

AOP - Arterial Occlusion Pressure

APH – Atendimento Pré-Hospitalar

APH-c – Atendimento Pré-Hospitalar Convencional

APH-t – Atendimento Pré-Hospitalar Tático

bp - Braço de Potência do sistema de alavanca

br - Braço de Resistência do sistema de alavanca

C-A-T® - Combat Application Tourniquet

Co-TCCC – Committee on Tactical Combat Casualty Care

d.C - depois de Cristo

EMT – Emergency & Military Tourniquet

EUA – Estados Unidos da América

Fp - Força de Potência do sistema de alavanca

Fr - Força de Resistência do sistema de alavanca

JTS – Joint Trauma System

K_{PT} - Coeficiente de Preenchimento Tecidual

m² - Metro Quadrado

MMII – Membros Inferiores

MI – Membro Inferior

mmHg - Milímetros de Mercúrio

MMSS – Membros Superiores

MS – Membro Superior

OEF – Operation Enduring Freedom

OIF – Operation Iraqi Freedom

Pa - Pascal

PA - Pressão Arterial

PAS - Pressão Arterial Sistólica

PETG XT - Polietileno Tereftalato de Etileno Glicol

PF - Ponto Fixo do sistema de alavanca

PHTLS - Prehospital Trauma Life Support

POA - Pressão de Oclusão Arterial

POP – Procedimento Operacional Padrão

SAM®XT - SAM XT Extremity Tourniquet

SI - Sistema Internacional de Unidades

SOF® ou SOFTT - Special Operations Forces Tactical Tourniquet

SWAT-T® - Stretch Wrap And Tuck Tourniquet

T-APH - Torniquete de Aplicação Pré-Hospitalar

TCCC ou TC3 – Tactical Combat Casualty Care

TECC – Tactical Emergency Casualty Care

TPU – Poliuretano Termoplástico

TQ – Torniquete

TQ-C – Torniquete comercial

TQ-F – Torniquete falsificado

TQ-I – Torniquete improvisado

TQ-np – Torniquetes Não-Pneumáticos

TQ-pn – Torniquetes Pneumáticos

TR – Torniquete Rápido

VM - Vantagem Mecânica

1. INTRODUÇÃO

As hemorragias são um importante tópico na área da emergência pré-hospitalar (1), por sua capacidade de matar vítimas de trauma em poucos minutos (2). A hemorragia sem controle permanece como a principal causa de morte evitável no trauma (3), tanto em ambiente militar e de combate (4,5) quanto em cenário civil (2).

Essa condição de perda sanguínea massiva necessita de controle imediato (1,3,6) e, por isso, o controle de hemorragias severas em vítimas de trauma tornou-se recomendação de procedimento inicial em todas as principais diretrizes, em Atendimento Pré-Hospitalar (APH) convencional (APH-c) e tático (APH-t) (7–10). A hemorragia severa pode ser controlada principalmente com o uso de torniquetes (TQ) (1,3–5), cujo conceito científico fundamental é de uma compressão circunferencial, que resulta na interrupção do fluxo arterial (11).

Os torniquetes (TQ), de forma geral, podem ser comerciais (TQ-C) e improvisados (TQ-I) e ainda são controversos e relativamente incomuns na experiência civil de APH-c no Brasil, ausentes na maioria dos documentos de procedimento operacional padrão (POP) e protocolos de atendimento (12), de forma que ainda são utilizadas muitas técnicas improvisadas.

A aplicação em tempo ideal dos TQ (o que pode ser comprometido pelo imprevisto e falta de dispositivo) pode interromper hemorragias graves - também chamadas atualmente de “massivas” ou “exsanguinantes” - e reduzir a necessidade de reposições volêmicas e de sangue (13).

Sua aplicação pode estar associada a uma redução de 6 vezes na mortalidade (14) e deve ser recomendada desde o início para aplicação em APH (7–10,15). Sendo assim, o uso de TQ comerciais (aqueles que foram projetados, produzidos e certificados) em APH é consenso e não mais um questionamento científico (7–10).

Há diversos tipos de TQ-C, mas não há muito consenso sobre qual o melhor modelo para aplicação em cenário civil (16). Os modelos de TQ-C

apresentam importantes diferenças quanto ao seu design e mecanismos de operação. Considerando isso, existem múltiplos fatores que podem associar-se a melhores resultados de sua utilização, como a capacidade para oclusão arterial, prevenção de danos teciduais e nervosos, pressão circunferencial adequada, distribuição de pressão na largura do dispositivo, desconforto produzido, tipos de materiais empregados, velocidade de aplicação e uso intuitivo (11,15–23) e que ainda requerem estudos.

Além desses fatores, o custo é uma variável que impacta de maneira significativa na capacidade de aplicação e implantação desses dispositivos (24), principalmente em cenário civil, e o desenvolvimento de novos modelos viáveis se faz necessário.

2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA

2.1 Objetivo geral

DESENVOLVER e PROTOTIPAR um torniquete comercial (TQ-C) viável, de aspecto simples, de ação rápida e intuitiva.

2.2 Objetivos específicos

Desenvolver testes qualitativos de viabilidade, manuseio, morfologia, portabilidade e tempo de aplicação; desenvolver técnicas de uso específicas ao modelo; identificar pontos de melhoria no projeto e estrutura para continuidade do projeto.

2.3 Justificativa

Há uma demanda importante sobre pesquisas com relação às características de eficácia de TQ-C para aplicação pré-hospitalar, que analisem, de forma mais minuciosa, a eficiência, o design, o treinamento do usuário e as formas de utilização, bem como às capacidades de oclusão arterial, velocidade de aplicação, capacidades mecânicas, estrutura, entre outras.

Praticamente não há estudos brasileiros sobre esse assunto e os estudos internacionais dificilmente produzem comparações entre mais de dois modelos comerciais. Há uma vasta área de possibilidades de pesquisas brasileiras envolvendo esses materiais e diretrizes.

Muitos equipamentos surgiram no mercado, mas há pouca comparação entre eles, principalmente no Brasil. Além disso, o custo desses materiais também é um fator que dificulta sua inserção em serviços essenciais de atendimento a emergências.

O desenvolvimento de um dispositivo mais simples, porém igualmente eficiente, pode permitir uma maior cobertura entre os serviços de atendimento pré-hospitalar, favorecendo o atendimento às vítimas de trauma e fortalecendo a presença brasileira na produção científica sobre TQ e controle de hemorragias, o que justifica esse trabalho de pesquisa e desenvolvimento.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Histórico dos torniquetes (TQ)

Alguns textos médicos hindus do século VI a.C. descrevem o uso de TQ no tratamento após picadas de serpentes (25). O primeiro uso registrado de dispositivos semelhantes a torniquetes (TQ) data do período grego (26), sugerindo que, possivelmente, os hindus apresentaram a técnica aos gregos, no tratamento de militares (25).

Os gregos não relacionavam a perda de sangue com a morte, pela limitação do conhecimento de fisiologia da época. No século III a.C., *Erasistratus*, um filósofo alexandrino, levantou a hipótese de que as artérias (palavra derivada do grego que representa o conceito de tubos de ar) não continham sangue e que, quando soldados feridos sangravam, havia desequilíbrios fisiológicos secundários ao sangramento, responsáveis por matar as vítimas (25).

No século XVI d.C., o TQ foi explorado nas aplicações cirúrgicas para amputação de membros. Em 1517 *Hans von Gersdorff* publicou um atlas de cirurgia do trauma e descreveu tal aplicação. Pouco depois, o barbeiro *Ambroise Paré* recomendou amarrar, próximo ao local de amputação, “um filete forte como aqueles que as mulheres costumam usar para amarrar seus cabelos”. E em 1593, *Wilhelm Fabry de Hilden* descreveu o uso de um bastão, como vantagem mecânica, para torcer um curativo circunferencialmente constritivo. Tal técnica ficou conhecida como “*spanish windlass tourniquet*” (25).

Em 1628, *William Harvey*, um médico inglês, foi o primeiro ocidental a detalhar corretamente a função cardiovascular e a circulação do sangue pelo bombeamento através das artérias e o retorno através das veias (25), facilitando o entendimento sobre a fisiologia e função dos TQ.

Em 1674, *Étienne J. Morel*, cirurgião do exército francês, descreveu um torniquete usado no cerco de *Besançon*, França. Seu trabalho é creditado como o primeiro registro do uso de TQ padronizado em campo de batalha. O dispositivo envolvia um cinto que passava por um bloco de madeira e um bastão

para torcer, o que o fez conhecido pelo nome “torniquete em bloco”. Tal dispositivo forneceu base para melhorias que ocorreram durante o século seguinte (25).

Em 1718, *Jean-Louis Petit*, então principal cirurgião de Paris, criou um dispositivo com parafuso, para o qual ele designou a palavra “torniquete”, derivada do francês “*tourner*”, cujo significado é algo como “virar ou girar” (25), dando origem ao icônico “*Petit’s Screw Tourniquet*” (27).

A proposta da vantagem mecânica do bastão e o TQ de *Petit* são apresentados na **figura 1**.

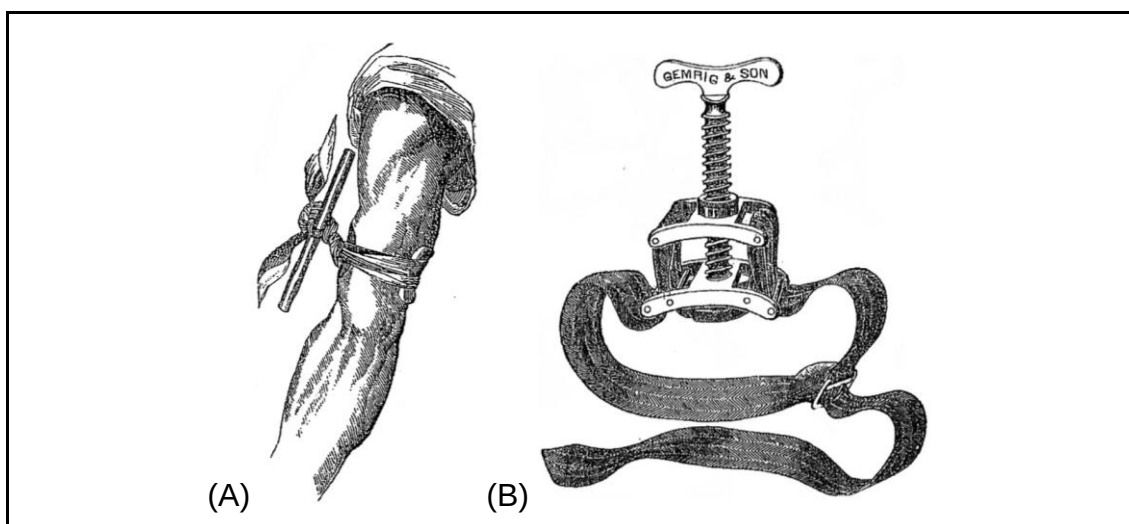


Figura 1 – (A) Representação do “*spanish windlass tourniquet*” com uma placa de compressão; (B) Representação do “*Petit’s screw tourniquet*”.

Fonte: (25)

As primeiras diretrizes operacionais para o uso de TQ com haste de torção surgiram durante a Guerra Civil dos Estados Unidos (1861 a 1865) e durante a Primeira Guerra Mundial (1914 a 1918), onde modelos foram empregados em militares feridos (28). Surgiram diversas preocupações quanto às suas consequências de uso, principalmente relacionadas aos efeitos de seu uso prolongado (29).

Grande parte das preocupações e criticidades quanto ao emprego dos TQ se relaciona com treinamento inadequado, atrasos no transporte para o atendimento definitivo e falta de técnica. Em associação à ausência de

antibióticos e a contaminação das lesões, esses fatores resultaram na frequente necessidade de amputação de (30)

Na Segunda Guerra Mundial (1939 a 1945) houve um progresso no campo dos cuidados ao trauma de combate. Com o estudo de casos de aplicação de TQ ficou clara a necessidade de emprego precoce desses dispositivos para controle de hemorragias massivas. Mas com diferenças importantes entre os cenários militar (principal origem dos TQ) e civil (onde ainda estamos buscando a inserção definitiva), foram criados mitos e preocupações sobre a efetividade e as consequências de uso desses dispositivos (31).

Estudos da década de 1940 já demonstravam eficácia da aplicação precoce de TQ para controle de hemorragias (31) e muitas conclusões inadequadas ocorreram, principalmente relacionando amputações em consequência da aplicação de TQ (29).

Através de muitas revisões de casos, observou-se que não havia relação ou evidências clínicas significativas de perda de membros como consequência ao uso de TQ (2,18,26), em que o TQ tenha sido a causa direta da amputação. Geralmente a causa da amputação é relacionada à gravidade da lesão, que gerou a hemorragia e indicou a aplicação do equipamento (32).

Entretanto, mesmo em tempos atuais, ainda temos a presença de mitos da contraindicação entre o público leigo e também de saúde (26,33).

As operações militares americanas denominadas *Operation Iraqi Freedom – OIF*, no Iraque (2003 a 2011) e *Operation Enduring Freedom – OEF*, no Afeganistão (2001 a 2014), possibilitaram avançar o conhecimento, técnicas e dispositivos. Foi priorizada a hemorragia exsanguinante como tratamento inicial de feridos em combate (34,35).

Embora os torniquetes existam desde os tempos antigos, sua recomendação mudou muito ao longo dos séculos (36). Com o reconhecimento da hemorragia traumática como a maior causa de morte em campos de batalha (34,37) e o consenso sobre o controle precoce da hemorragia massiva, a regra custo-benefício foi aplicada e a indicação de uso de TQ passou a ficar mais clara e em maior evidência (38,39).

3.2 Diretrizes mais importantes

Importantes diretrizes empregadas na área da emergência pré-hospitalar apresentam consenso na indicação de uso de TQ certificados.

O Consenso de Hartford (*The Hartford Consensus - American College of Surgeons - ACS*) (4) e o Colégio Americano de Cirurgiões preconizam o uso de TQ certificados e a padronização do treinamento de seu uso, entre outras técnicas e equipamentos (40–43), por meio da Iniciativa “*Stop the Bleed*” (4,23,44,45). Trata-se de uma das estratégias internacionais mais importantes e evidentes, no que se refere a trazer essa realidade para o cenário civil de emergência e APH, incluindo e dando enfoque ao público leigo.

O *Tactical Combat Casualty Care* (TCCC ou TC3) (8) – diretriz de atendimento de emergência a feridos em operações militares – e o *Tactical Emergency Casualty Care* (TECC) (9) – diretriz para casos de vítimas de áreas conflagradas, ações de terrorismo e múltiplas vítimas em ambiente civil – abordam a hemorragia como causa principal de morte e os TQ como técnica de primeira escolha para controle da hemorragia massiva e aumento da sobrevivência das vítimas (46).

Não menos importante, o *Prehospital Trauma Life Support* (PHTLS), atualmente em sua nona edição (7) – diretriz de atendimento de emergência pré-hospitalar a vítimas traumatizadas, bem conhecido no Brasil – alterou, em 2018, seu protocolo mnemônico de “ABCDE” para “XABCDE”, colocando em primeiro lugar o controle de hemorragias massivas ou exsanguinantes (sinônimos) através da mnemônica “*exsanguination*” (47–49).

Recentemente, a *American Heart Association* (AHA) publicou, em 2020, suas diretrizes de reanimação cardiopulmonar e atendimento cardiovascular de emergência, juntamente ao consenso internacional de primeiros socorros. Como em outras edições, foram revisadas condutas de primeiros socorros junto à *American Red Cross* onde, dessa vez, foram citados os TQ comerciais, testados e certificados e, também, os TQ improvisados para controle de hemorragias severas (50).

3.3 Dispositivos recomendados pelo *Committee on Tactical Combat Casualty Care (Co-TCCC)*

As diretrizes TCCC são desenvolvidas pelo *Joint Trauma System (JTS)*, *Committee on Tactical Combat Casualty Care (Co-TCCC)* (51,52). Esse comitê recomenda, através do “*CoTCCC Recommended Devices & Adjuncts*”, alguns modelos comerciais de dispositivos para manejos de emergência, dentre eles, os TQ-C para membros (53,54). O comitê recomenda não apenas TQ, mas também outros dispositivos com aplicabilidade em medicina tática, incluindo controle de hemorragias, acesso e manutenção de vias aéreas, entre outros.

Tal recomendação se caracterizou como a principal referência de equipamentos para uso em medicina tática e APH de combate, passando a ser empregada no cenário tático/militar pelas aplicações das diretrizes TCCC e, também, no cenário civil pelas aplicações das diretrizes TECC (53,54).

Tal recomendação é feita através de análise, pelo comitê, dos dispositivos disponíveis no mercado, seguida de votação e publicação, embora não exista predomínio de dados clínicos imparciais e de alto índice evidência (55). Atualmente, a lista de dispositivos bem como diretrizes e materiais são publicados na plataforma *Deployed Medicine* (56). Para avaliação e recomendação de TQ-C, o *Co-TCCC* utiliza alguns critérios que envolvem a oclusão arterial, o tempo de aplicação, o tempo de oclusão e a facilidade de aplicação (usabilidade) (57,58).

Nessa avaliação são verificados detalhes de funcionamento quanto a pressão (envolvendo pressão para atingir a oclusão inicial e ponto de dano), especificações de design (envolvendo largura, comprimento, mecanismo de travamento, local para registro de horário de aplicação e peso), complicações e segurança (envolvendo falhas e problemas relatados), relatórios de uso em combate, relatórios de uso civil e logística (envolvendo estoque nos EUA e o custo por unidade) (57,58).

A realidade da recomendação ou registro de dispositivos é uma informação relevante, tendo em vista que, principalmente no Brasil, muitos acreditam que um dispositivo só pode ser empregado em medicina tática se for recomendado pelo *Co-TCCC*, o que não é verdade.

No Brasil, produtos para aplicações em saúde requerem registro junto à Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) (59). Os itens sujeitos ao regime de vigilância sanitária classificados como “produtos para saúde” e correlatos, que envolvem os denominados “produtos médicos” (onde inserem-se os TQ-C).

São considerados “produtos médicos” os equipamentos, aparelhos, materiais, artigos ou sistemas de uso ou aplicação em saúde, destinados à prevenção, diagnóstico, tratamento, reabilitação ou anticoncepção e que não utilizem meios farmacológicos, imunológicos ou metabólicos para realizar sua principal função em seres humanos, podendo, entretanto, ser auxiliado em suas funções por tais meios (60). Atualmente, nos treinamentos na área de medicina tática e APH de combate no Brasil, temos que ensinar sobre a exigência de registro na ANVISA e desmitificar sobre a recomendação pelo *Co-TCCC*.

3.4 Tipos de TQ

Podemos diferenciar os TQ na literatura de algumas formas, de maneira que se torna necessária a padronização de terminologia para melhor entendimento dos tópicos que se relacionam a esses dispositivos.

A primeira forma se refere ao seu mecanismo, como: (A) torniquetes pneumáticos (TQ-pn), que atuam por meio da insuflação de um manguito; e (B) torniquetes não-pneumáticos (TQ-np), que geram pressão por outras formas, principalmente através de haste para torção da fita (61) ou por composição elástica (62). Os TQ-pn são muito comuns em ambiente hospitalar e cirúrgico (63–65).

Também podem ser diferenciados com base no local de aplicação a que se destina, já que são disponíveis atualmente TQ para aplicação em membros (muito mais comuns) e para aplicação em áreas juncionais (regiões que conectam o tronco às extremidades, nesse caso, geralmente aplicado na virilha, mas também pode ser aplicado na axila) (66–68).

De maneira mais comum e importante, os TQ são apresentados e discutidos na literatura como: (A) torniquetes comerciais (TQ-C), que são aqueles projetados, produzidos, testados e certificados para comercialização, que acompanham uma marca registrada; (B) torniquetes improvisados (TQ-I), que são aqueles produzidos com materiais disponíveis na cena da ocorrência (15,17,69) e muito controversos, dada a sua variabilidade e impossibilidade de consenso científico sobre um modelo específico.

Além disso, os TQ-C frequentemente acabam sofrendo imitações e falsificações, dispositivos que podem ser denominados “*counterfeit tourniquets*”, ou mesmo “*fake tourniquets*”, que são torniquetes falsificados (TQ-F), vendidos de maneira irregular para o público geral que desconhece o risco de suas aplicações (65).

Das principais diretrizes citadas, apenas o consenso da AHA apresenta recomendações de uso de TQ-I, com base na relação risco/benefício sobre o controle de hemorragias massivas em ambiente pré-hospitalar (10).

Os TQ-C costumam se apresentar principalmente como: (A) TQ com haste de torção (na literatura internacional chamados de “*windlass tourniquets*”, classicamente chamados de “*stick and strap tourniquets*” e frequentemente traduzidos como do tipo “molinete”) são os mais comuns tanto em cenário tático quanto civil e que exercem pressão através do torque gerado pela rotação da haste; (B) TQ elásticos, que são menos comuns e consistem em faixas elásticas aplicadas com técnicas de enfaixamento compressivo, proximalmente ao local do sangramento (11); (C) TQ pneumáticos, mais comuns em ambiente intra-hospitalar e cirúrgico, embora existam versões de uso em APH tático e civil (70).

Os TQ-C com haste de torção são representados na **figura 2**.



Figura 2 - Alguns TQ-C de haste de torção recomendados pelo CO-TCCC.
 Fonte: Montagem com imagens coletadas nos sites (A) North American Rescue (71); (B) Tacmed Solutions (72); e (C) SAM Medical (73).

O TQ-C elástico é representado por um modelo na **figura 3**.



Figura 3 - TQ-C elástico SWAT-T (*Stretch, Wrap, and Tuck Tourniquet*).
 Fonte: (67).

O TQ-C pneumático é representado por modelo na **figura 4**.



Figura 4 - TQ-C pneumático modelo *Emergency & Military Tourniquet (EMT)*,
 recomendado pelo CO-TCCC.
 Fonte: (68).

As cores dos TQ para aplicação pré-hospitalar, tanto em ambiente civil quanto militar, também é um fator de interesse de estudo ao se falar sobre desenvolvimento de dispositivos.

O uso das cores laranja, preto/cinza e azul já é um padrão internacional que se formou e se tornou bem difundido, utilizado por diversos modelos de TQ-C, que facilita a identificação de função visualmente.

Os TQ a serem empregados em APH tático, em operações militares e policiais, incluindo operações especiais, recebem um padrão de cor de baixa visibilidade, geralmente preto ou cinza. O objetivo é reduzir o contraste com o meio e com os equipamentos, reduzindo a visibilidade em cenários potencialmente conflagrados. Alguns fabricantes também utilizam outras cores como verde oliva e *khaki*.

Já os TQ a serem empregados em APH convencional e civil recebem cores de alta visibilidade, geralmente laranja, com o objetivo de facilitar a visualização do dispositivo pelos profissionais do pré e do intra-hospitalar. Ao contrário do primeiro caso, no APH convencional o objetivo é exatamente destacar o TQ do resto do cenário, vestes e equipamentos, chamando atenção para sua existência, incluindo do pessoal na admissão ao atendimento definitivo intra-hospitalar.

Em paralelo, a cor azul é empregada para os equipamentos destinados a treinamento, que são exatamente iguais aos outros em estrutura, exceto pela cor, mas que serão expostos a utilização repetida em atividades de treinamento. Essa separação de um equipamento específico para treinar visa permitir a aplicação repetida de carga no dispositivo sem o risco de falhar em uso real, de forma que os TQ destinados ao uso real não recebem carga em treinamento.

A **figura 5** apresenta modelos de TQ-C que utilizam padronização de cores de acordo com a função ou cenário de utilização.



Figura 5 - TQ-C utilizando padronização de cores e de visibilidade.

Fonte: Montagem com imagens coletadas nos sites: (A) SAM Medical, TQ SAM XT (73); (B) North American Rescue, TQ C-A-T (71); e (C) Tacmed Solutions, TQ SOFTT (72).

3.5 Efetividade dos TQ

A efetividade do uso de TQ-C em ambiente civil já é demonstrada em muitas evidências, embora ainda seja um assunto em pauta, com necessidades de desmitificação, implantação e treinamento (14,44), principalmente no Brasil. Há ainda alguns mitos sobre o uso de TQ em ambiente pré-hospitalar (45), relacionados a possíveis contraindicações de seu uso, que precisam ser trabalhados através de conscientização, divulgação, treinamento e desenvolvimento de habilidades (23,45).

As amputações como consequência do uso de TQ se tornaram um dos maiores mitos. Porém, como já abordado anteriormente, há muitas evidências de antigos problemas de interpretação de dados, uma vez que a amputação geralmente está relacionada com a lesão primária grave, que não só indica o uso do equipamento (pela presença de hemorragia massiva), como também é causa direta da amputação traumática ou cirúrgica (5,14,27,53).

Entretanto, há de se considerar o entusiasmo e as décadas de controvérsia, bem como o volume grande de estudos publicados que não contém

dados clínicos concretos e prospectivos (77) quando analisam a relação risco/efetividade do uso de TQ.

Em estudo envolvendo 105 aplicações civis, entre 2008 e 2013 (78), os autores verificaram que nenhuma das complicações encontradas foram resultantes da aplicação de TQ, de forma que o emprego correto de TQ em emergências civis pode chegar a 90% de relevância e indicação absoluta de uso (79).

Considerando que a aplicação de TQ se deve pela relação risco/efetividade, onde o risco de morte é iminente, o tempo de aplicação do TQ faz toda a diferença. Em estudo envolvendo 326 aplicações de TQ-C, os pesquisadores observaram 92% de indicação de uso do dispositivo e que o atraso de tal aplicação (onde se aguarda a chegada ao centro de saúde) foi associado a um aumento de 4,5 vezes na mortalidade por choque hemorrágico (80).

Vários aspectos podem ser levados em consideração quando se avalia a efetividade de um TQ, como o design do equipamento (46,56,57), a facilidade de uso e usabilidade (uso intuitivo) (41,58), o tempo gasto na aplicação (39,55,59), a pressão capaz de promover a oclusão arterial (85–87) e a perda de pressão com o tempo e pela movimentação da vítima durante seu transporte (88–90).

O treinamento é um fator determinante para efetividade, principalmente em população de pessoas que não são da área da saúde e emergências (leigos), podendo ocorrer falha no controle de hemorragias graves, pela utilização incorreta ou incompleta desses equipamentos (91). Além disso, o treinamento requer atualizações e novas simulações após alguns meses (92).

Ocorrem, nesses casos, frequentes erros relacionados com o posicionamento do TQ, com a quantidade de aperto e de folga, com confusão quanto ao sistema de passadores e fitas e no tempo de aplicação (93). Todos esses aspectos estão diretamente relacionados ao design do modelo de TQ-C, o que sugere a necessidade de dispositivos de acionamento mais simples (16,30,39).

Os TQ com haste de torção costumam se mostrar mais eficazes. Há estudos que sugerem que TQ sem a haste falham na maioria dos testes para controle de hemorragias. Comparando TQ-I, com e sem a haste, um estudo observou que os TQ-I sem haste falharam em 99% dos testes, contra 32% de falha dos TQ-I com haste (69). Por essa razão, há uma predominância de TQ-C de haste de torção em meio aos dispositivos para uso em APH, o que os torna os modelos mais consagrados e comuns tanto no cenário civil quanto militar (2,30,39,57).

Por outro lado, os modelos com haste de torção costumam se mostrar pouco intuitivos e apresentar falhas de uso por pessoas que não foram corretamente treinadas (94). Isso ocorre principalmente por falta de treinamento e diferenças nos mecanismos dos dispositivos. Um dos objetivos do design de um TQ refere-se à facilidade de uso pelo público menos treinado ou mesmo leigo. O design tem direta relação com a facilidade de utilização do equipamento, mas também não há ainda um consenso sobre quais os melhores modelos para uso pelo público leigo (95).

Essas importantes diferenças em design e mecanismos cria espaço e necessidade de pesquisas e melhoramentos, tanto em treinamento quanto na engenharia biomédica, para desenvolvimento e performance no uso de TQ-C e controle de hemorragias em membros (96).

Outro fator importante a se considerar é que a maior parte das referências sobre aplicações de TQ são estudos com característica observacional, com índices baixos de evidência (77,79). Praticamente não há comparações de taxa de efetividade entre um número significativo de modelos de TQ-C (96) e, por isso, há uma demanda urgente de pesquisas que relacionem e validem efeitos de diferentes modelos de TQ-C tanto no cenário civil quanto tático (policial/militar).

Além dos impactos de sua utilização em termos de mortalidade (que foi o principal objetivo das pesquisas com TQ durante muitos anos), deve-se também avaliar resultados após a aplicação dos TQ-C (11,19,21), além de outras características, como uso em crianças (97) e em segmentos de ossos duplos,

como antebraços e pernas (18), temas que ainda apresentam lacunas na literatura.

3.6 Funcionamento dos TQ

Para compreender o funcionamento de um TQ é necessário abordar tópicos da engenharia e da saúde, bem como considerar caso a caso os dispositivos desenvolvidos e suas características específicas. Serão discutidos na sequência aspectos que se relacionam com o funcionamento e efetividade desses equipamentos.

3.6.1 Técnicas de aplicação de TQ

Quanto às formas de aplicação dos TQ-C há duas formas principalmente distintas: uma envolve o uso de apenas uma das mãos, quando se faz autoaplicação em membro superior, por exemplo; e a outra envolve o uso das duas mãos, como quando se faz autoaplicação em membro inferior ou se aplica em outra pessoa (7,9,23,44,50,123), como ilustrado na **figura 6**.

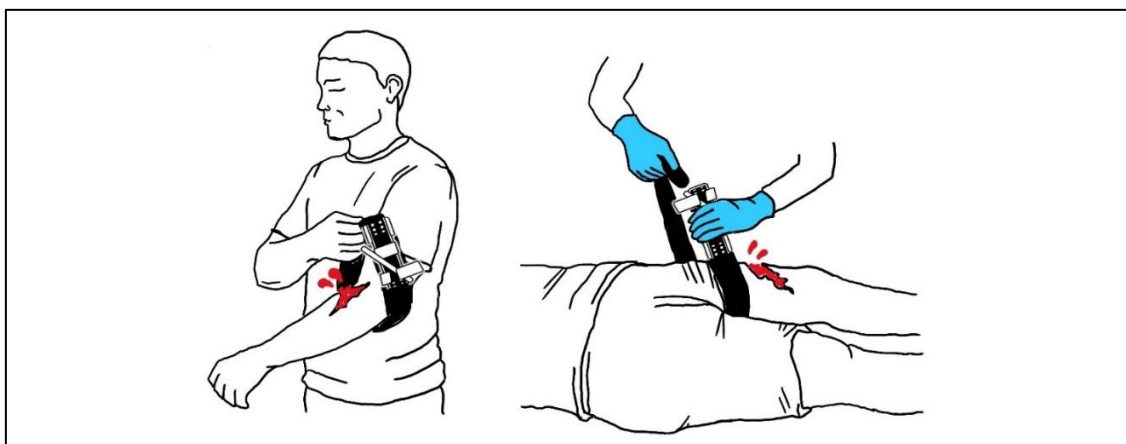


Figura 6 - Técnicas de aplicação com uma e com duas mãos.

Fonte: o Autor.

Um dispositivo do tipo TQ deve ser avaliado quanto à sua facilidade de uso nas duas situações.

Já quanto ao local de aplicação, há também duas técnicas nas diretrizes: a técnica deliberada e a técnica emergencial.

A técnica deliberada, conhecida como “TQ deliberado” consiste na aplicação do TQ cerca de 5 a 7cm proximalmente à lesão e local da hemorragia (98). Já a técnica emergencial, conhecida como “TQ emergencial” (*emergency tourniquet*) utiliza o princípio de aplicação “alto e apertado” (*“high and tight”*). Tal técnica se fundamenta, quando, em medicina tática, não há tempo de segurança para avaliação e a aplicação é feita próximo à virilha ou axila, deixando espaço para um segundo TQ proximalmente ao primeiro (7,51).

A técnica “alto e apertado” tem sido consenso na maior parte das diretrizes (7,9,51).

Os TQ devem ser aplicados transversalmente ao membro e não podem ser aplicados sobre articulações, como no caso de cotovelos e joelhos. Em medicina tática um problema que enfrentamos refere-se aos bolsos, velcros e patches (imagens emborrachadas ou bordadas que são colocadas nos braços identificando cursos, especializações, etc.) que atrapalham a aplicação de TQ e requerem cuidados adicionais e treinamento.

A aplicação deliberada ainda envolve questões de aplicações em segmentos de ossos duplos, como antebraço e perna, o que poderia influenciar na capacidade de oclusão. Isso é um questionamento científico atual, com falta de dados concretos, mas com alguns estudos sugerindo a mesma efetividade (99,100). Tal lacuna e falta de consenso entre as diretrizes oferece uma demanda importante de pesquisas sobre testes de funcionalidade de TQ-C.

Os TQ-C apresentam um local para demarcação do horário de aplicação, geralmente em um campo denominado “time”. Trata-se de um cuidado pós aplicação que objetiva registrar informações de interesse do atendimento definitivo, estimando o tempo de isquemia produzida. Atualmente as diretrizes referem consenso de segurança em até 150 minutos após a aplicação (7,23).

A **figura 7** ilustra a técnica de TQ deliberado e a **figura 8** ilustra a técnica de TQ emergencial.

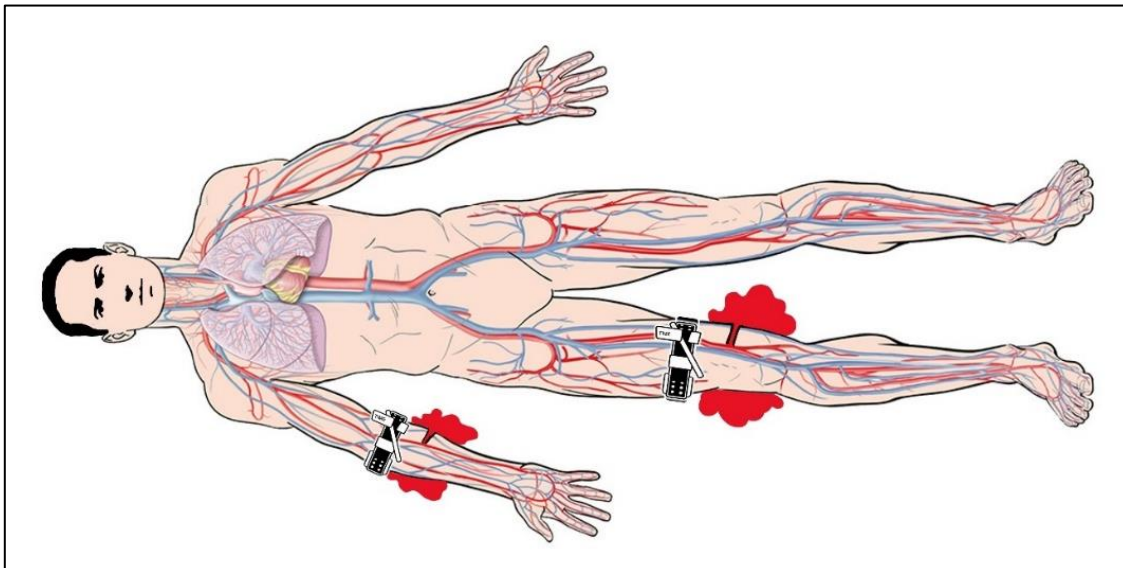


Figura 7 - Técnica de aplicação de torniquete deliberado. O dispositivo é aplicado cerca de 5 a 7cm proximalmente à lesão.

Fonte: o Autor.

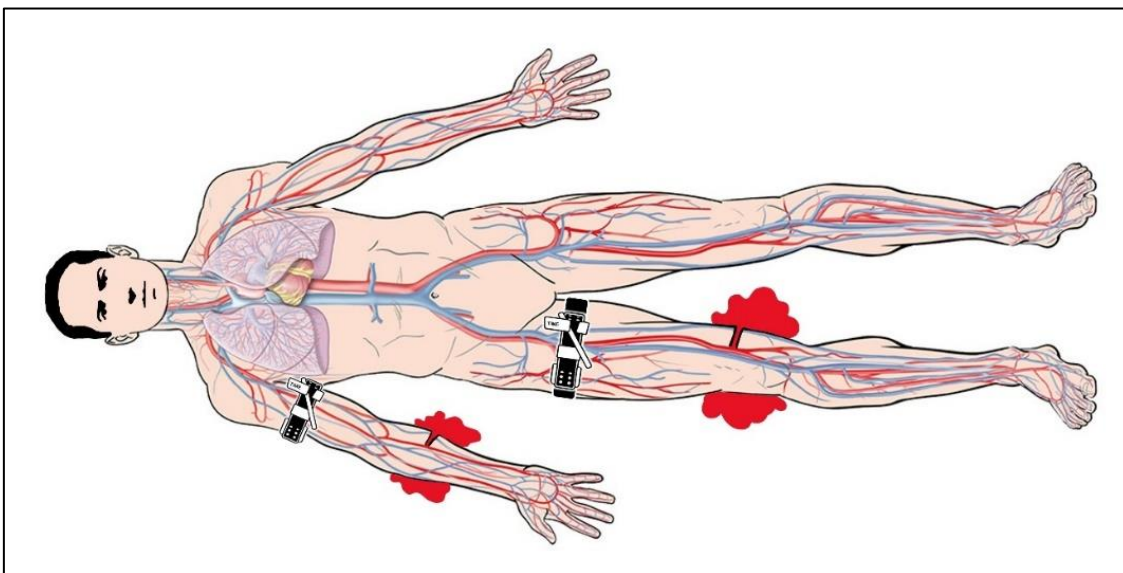


Figura 8 - Técnica de aplicação de torniquete emergencial, alto e apertado. O dispositivo é aplicado próximo à virilha ou axila interrompendo o fluxo sanguíneo de todo o membro.

Fonte: o Autor.

Outra questão a considerar é que nos primórdios dos consensos sobre uso de TQ havia a recomendação de aliviar a pressão com o passar do tempo, recomendação que hoje não faz mais parte dos procedimentos (7). Uma das razões é que o TQ visa uma compressão que gera uma oclusão total (arterial) do fluxo sanguíneo no membro tratado.

Quando o TQ é afrouxado ou mesmo aplicado com baixa compressão, ocorre uma oclusão parcial (venosa), em que o sangue continua chegando no membro mas é impedido de sair. Isso pode ocasionar síndrome compartimental. Trata-se de uma cascata de eventos que levam ao aumento da pressão intersticial sobre a pressão de perfusão capilar dentro de um compartimento osteofascial fechado, podendo comprometer vasos, músculos e terminações nervosas provocando lesão tecidual (101).

3.6.2 Função mecânica e compressão

O TQ é um dispositivo que, seja por rotação de haste, por composição elástica ou por outros mecanismos, causa uma compressão circular no membro, proximalmente ao local do sangramento, superior à pressão arterial, interrompendo o fluxo sanguíneo a partir do local de aplicação (2).

A tensão exercida por um TQ, é uma variável de interesse no estudo de efetividade dos TQ (102). Na área da engenharia é comum denominar-se “tensão mecânica” ao valor da distribuição de esforços por unidade de área em um corpo material ou meio contínuo.

As tensões classificam-se como de tração, de compressão (tensões normais) ou de cisalhamento (tensão tangencial ou de corte). No esforço de torção predomina a tensão de cisalhamento angular.

Cada modelo possui um mecanismo e um funcionamento peculiar, de forma que não é possível explicar apenas uma mecânica para todos os dispositivos. De acordo com o tipo de dispositivo, as aplicações e resultados de

forças são diferentes. Como os TQ com haste de torção são os mais comuns, será dada ênfase ao seu mecanismo de ação.

No caso desses TQ, com hastes de torção, a cinta principal é passada e travada circunferencialmente ao membro e a haste é presa a essa cinta (ou a um outro tirante que passa internamente à cinta principal do dispositivo) (54,103,104).

Ao exercer força nas extremidades da haste, ocorre torção da cinta ou do tirante interno, e a redução de seu comprimento efetivo (o comprimento do material que percorre a área do membro). Essa ação produz uma tensão de tração da fita, de modo que a torção dos tirantes internos dos TQ em volta de seu eixo central (perpendicular à sua aplicação) resulta na diminuição da seção transversal (que é a área proporcional ao diâmetro do membro) e o material cria uma compressão circunferencial contra o membro.

O efeito compressivo de um TQ-C que utiliza o mecanismo de haste de torção é ilustrado na **figura 9**.

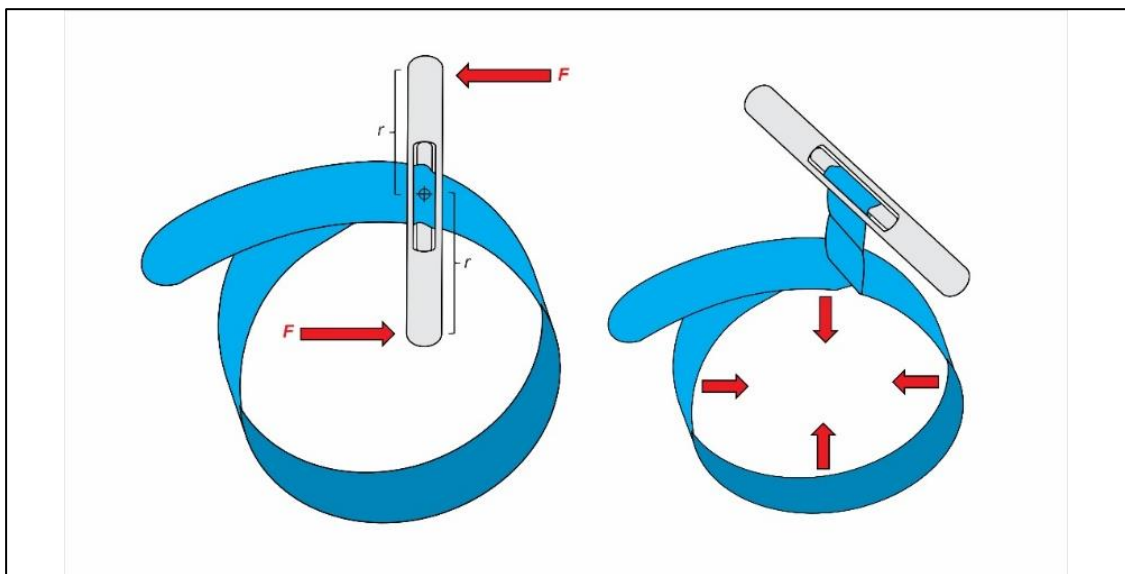


Figura 9 - Efeito da compressão circunferencial em virtude da tensão de tração na cinta pela torção da haste. A diminuição da seção transversal (que é a área proporcional ao diâmetro do membro) faz com que o material da cinta crie uma compressão circunferencial contra o membro.

Fonte: o Autor.

Os princípios de Arquimedes podem explicar essa ação, através da análise de sistemas de alavancas, ligados ao conceito de equilíbrio, em especial ao de rotação. Basicamente o conceito de uma alavanca relaciona-se a uma barra rígida que se move em torno de um ponto fixo (que pode ser denominado fulcro, ponto de apoio, ponto fixo, ou mesmo eixo).

Qualquer força aplicada à alavanca, com efeito, faz com que a barra gire em relação ao ponto de apoio. A força rotativa é diretamente proporcional à distância entre o a força aplicada e o ponto de apoio.

Toda alavanca é composta por três elementos básicos: o ponto fixo (PF), em torno do qual a alavanca pode girar; a força potente ou potência (F_p), exercida como o objetivo de levantar, sustentar, equilibrar; e a força resistente ou resistência (F_r), exercida pelo objeto que se quer levantar, sustentar, equilibrar.

Dentre os tipos de alavanca, é possível designar as *inter-resistentes* quando a F_r se encontra em algum lugar entre a F_p e o PF . No caso do TQ com haste de torção, o PF é o eixo da torção do tirante, a F_p é empregada nas extremidades da haste e a F_r surge próxima ao eixo, na região de torção do material.

A alavanca inter-resistente é representada na **figura 10**.

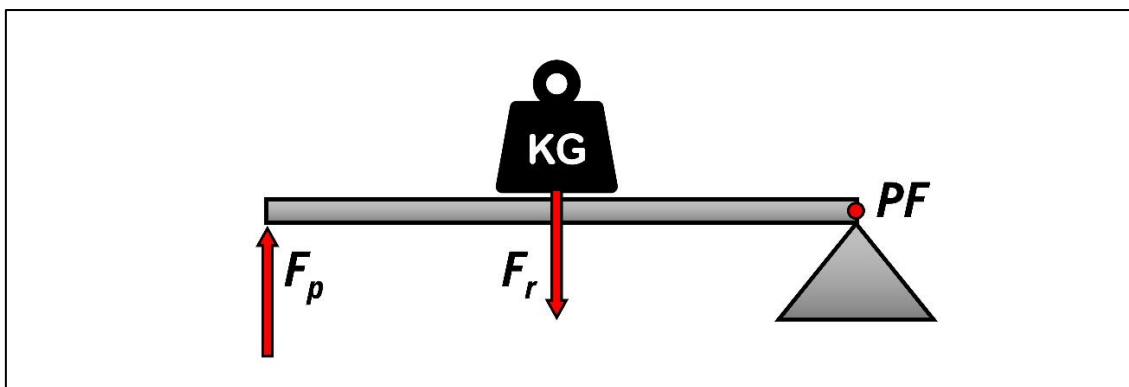


Figura 10 - Representação de um Sistema de alavanca inter-resistente, em que F_r se encontra entre a F_p e o PF , de modo que quanto mais próximo da extremidade da barra for aplicada a F_p , mais fácil será o movimento.

Fonte: o Autor.

Quando exercida uma força sobre um corpo que possa girar em torno de um ponto central, diz-se que a força gera um *torque*. Então, a distância perpendicular do pivô à linha de ação da força é conhecida como *braço de alavanca* da força. Dessa forma, a distância de F_r ao PF pode ser chamada de *braço de resistência* (br) e a distância de F_p ao PF pode ser chamada de *braço de potência* (bp).

Um método para calcular o torque é a multiplicação da força (F), gerada braço de alavanca (d), expressado por:

$$T = F \cdot d \quad \text{que equivale a} \quad T = F \cdot d \cdot \text{sen}\theta$$

Na expressão, “ T ” é o torque, “ F ” é a força em Newton (N), “ d ” é a distância da força ao ponto fixo (braço de alavanca) em metros (m) e “ $\text{sen}\theta$ ” é o seno do ângulo entre a força e o braço de alavanca “ d ”.

Essa expressão é ilustrada na **figura 11**.

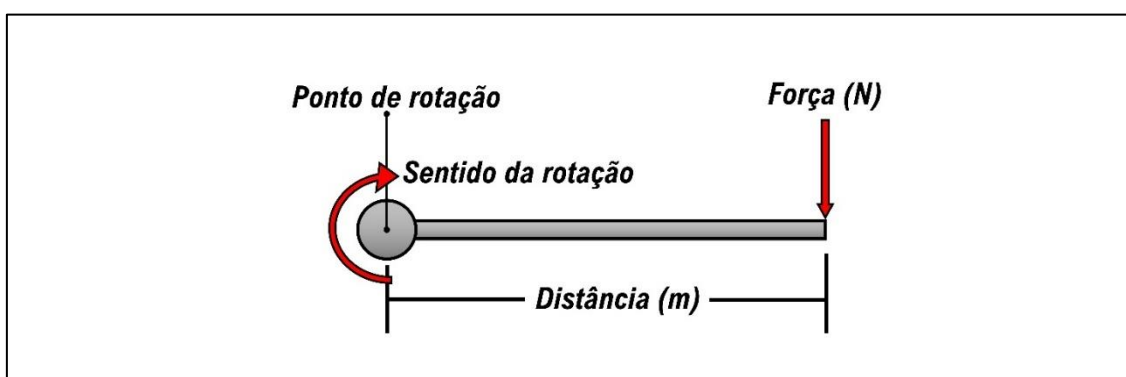


Figura 11 - Representação do posicionamento das variáveis da equação do torque, grandeza física relacionada com a rotação de um objeto qualquer, em relação a um ponto fixo (ponto de rotação), de forma que a Força sempre estará tangencialmente com relação ao ponto fixo.

Fonte: o Autor.

Quando o bp é maior (mais distante do ponto fixo) que o br , podemos admitir que a alavanca é favorável. Essa afirmação tem base no conceito de *vantagem mecânica* (Vm), que pode ser expressado por:

$$Vm = \frac{bp}{br}$$

Nesse caso, se $Vm=1$, a força necessária para movimentar uma resistência é exatamente igual à resistência; se $Vm>1$ então a força necessária para movimentar uma resistência é menor do que a resistência; e se $Vm<1$ então a força necessária para movimentar uma resistência é maior do que a resistência.

Considerando os TQ com haste de torção, a tensão de tração da cinta e a compressão contra o membro aumentam de forma diretamente proporcional à quantidade de voltas na haste. Isso por conta do torque gerado através da aplicação de forças em sentidos opostos em cada extremidade da haste (105).

Tal princípio pode ser expressado por:

$$T = 2(F \cdot d)$$

Nessa expressão, “ T ” é o torque, “ F ” é a força aplicada e “ d ” é a distância da força ao eixo central (relaciona-se ao tamanho da haste). Dessa forma, quanto maior a haste, menor o esforço requerido para torcer a cinta, como ilustrado na **figura 12**.

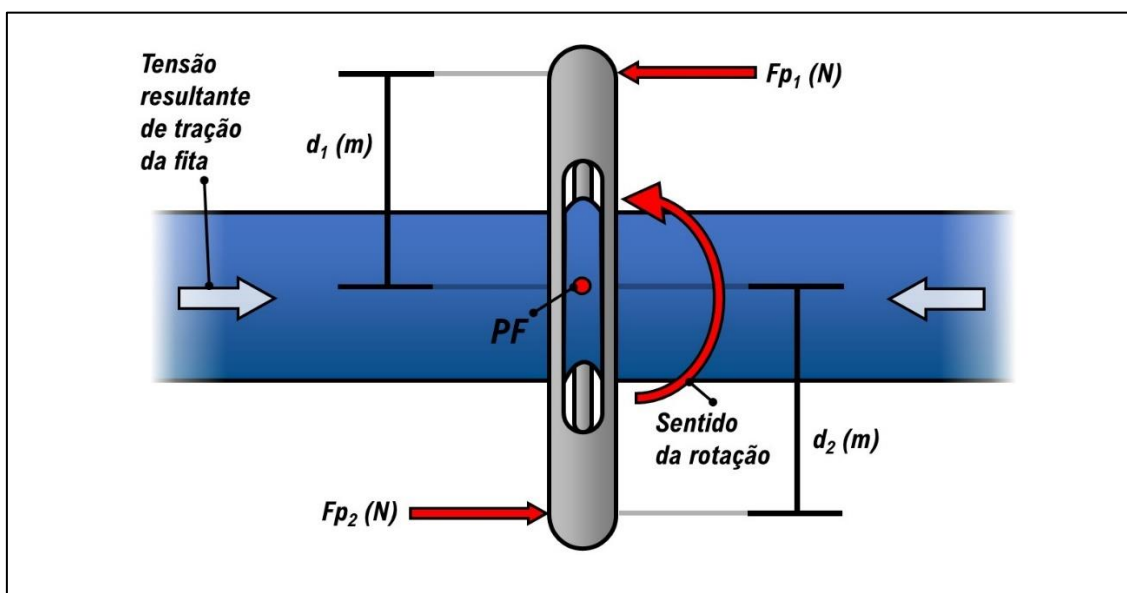


Figura 12 – Representação sem escala do torque pela torção da haste de um TQ. “ Fp ” representa as forças aplicadas em cada extremidade e “ d ” representa as distâncias dos braços de potência. As setas em branco representam os sentidos da tensão resultante de tração da fita do dispositivo

Fonte: o Autor.

O aumento da compressão pelo TQ tem o objetivo de ultrapassar os valores da pressão arterial, interrompendo o fluxo arterial a partir do ponto de aplicação (2,106). Por isso os torniquetes são aplicados proximalmente à lesão e ao foco da hemorragia (7,9,51), através das técnicas exploradas anteriormente neste estudo. Assim, o dispositivo interrompe a hemorragia grave de forma secundária, em razão da cessação do fluxo sanguíneo promovida pela compressão.

A aplicação do TQ é feita em um local proximalmente (mais próximo à origem do membro) à lesão, cessando o fluxo sanguíneo a partir daquele ponto, conforme ilustrado na **figura 13**.

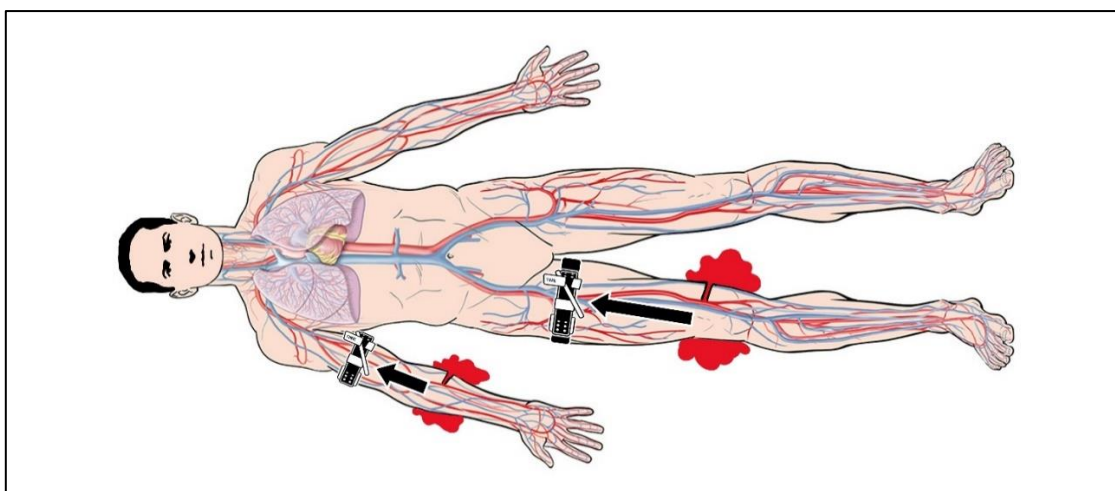


Figura 13 - TQ aplicados proximalmente às lesões com hemorragias massivas. As setas em preto ressaltam que os dispositivos estão posicionados mais próximos à origem dos membros do que as lesões.

Fonte: o Autor.

3.6.3 Tensão mecânica e pressão de oclusão arterial

A tensão mecânica é a magnitude da força aplicada sobre uma determinada área, equivalente à aplicação de uma força de 1N em uma área de 1m², representando a unidade em Pascal (Pa). No caso de uma tensão uniaxial, em que se aplica uma força uniformemente distribuída sobre uma área, a tensão é representada como grandeza escalar onde:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Nessa expressão, “ σ ” é a tensão em pascal (Pa), “ F ” é a força aplicada em newton (N) e “ A ” é a área em metro quadrado (m²). Como a tensão é inversamente proporcional à área, a área de contato da faixa do torniquete para membro pode afetar a compressão e isso pode promover diferentes resultados em capacidade oclusiva, bem como na possibilidade de lesão secundária (107,108).

A Pressão de Oclusão Arterial – POA (*Arterial Occlusion Pressure - AOP*), que também pode ser chamada de pressão de oclusão do membro (*Limb Occlusion Pressure*), representa o menor valor de tensão necessária para interromper o fluxo sanguíneo arterial na extremidade distal ao manguito ou tirante de compressão (109).

A POA representa uma grandeza comum, que costuma ser determinada manualmente em exames de aferição de Pressão Arterial (PA), através da lenta insuflação do manguito até a cessação do pulso. Porém, a POA pode ser estimada através de cálculo, com aplicabilidade comum para utilização de TQ-pn em procedimentos cirúrgicos, onde se visa utilizar o TQ de forma controlada (109).

A estimativa de POA pode ser calculada através de:

$$POA = \frac{(PAS + 10)}{K_{PT}}. \quad (105,106)$$

Em que “ PAS ” é a pressão arterial sistólica (em mmHg), e “ K_{PT} ” é o coeficiente de preenchimento tecidual, fator baseado na circunferência do membro (em cm) e com valores retirados de uma tabela (99).

A preocupação em se utilizar o cálculo de POA se relaciona principalmente a lesão vaso nervosa. Tem sido sugerido que a compressão do TQ pode ser um fator mais lesivo do que o tempo de aplicação (111). Tal cálculo pode ser empregado na avaliação de design de dispositivos e no estudo de capacidades mecânicas e oclusivas, embora seja mais explorado em aplicações de TQ cirúrgicos.

Em pesquisas com estudos de pressão arterial, sua variabilidade e respostas, é comum a utilização de milímetros de mercúrio (mmHg) como unidade de grandeza, embora a unidade Pascal (Pa) seja a grandeza de pressão no Sistema Internacional de Unidades (SI). Para conversão, deve-se utilizar a fórmula abaixo, em que 1mmHg equivale a 133.32 Pa.

$$Pa = mmHg \cdot 133.3223874$$

Quanto maior é a tensão e a compressão produzida pelo TQ, mais altos serão os gradientes de tensão e mais altos serão os riscos de lesões relacionadas ao uso do dispositivo (109). Ou seja, para menor risco de lesão, o TQ deve apresentar capacidade de oclusão arterial com menores valores de tensão (11).

Estudos clássicos permitiram que os TQ-C evoluíssem a padrões mais seguros. A oclusão arterial com pressões mais baixas pode se relacionar com menor probabilidade de lesão nervosa e uma largura de faixa adequada deve ser empregada para que se tenha uma distribuição eficaz da pressão pela faixa do TQ (112).

Os TQ-C variam em largura de faixa de acordo com o tipo de dispositivo (com haste de torção, elásticos, pneumáticos) e, embora praticamente todos promovam oclusão arterial (107), não há muitos estudos com dados sobre distribuição da pressão pela área e seus efeitos no organismo.

O aperto inicial do TQ-C envolve uma força para tracionar a fita principal através de um passador. Estudos envolvendo TQ-C que utilizam sistema com haste de torção observaram que puxar a fita perpendicularmente ao passador (90 graus em relação ao membro) promove pressões menores na fixação inicial.

Tracionar a fita tangencialmente ao membro é a melhor técnica para melhores resultados na pressão de fixação inicial (104). A tração da fita do torniquete através do passador se dá por uma função de polia simples, enquanto fenômenos relacionados a força de contato e de atrito auxiliam a manter a fita na posição quando tracionada tangencialmente.

Nesse trabalho, convencionou-se utilizar o termo “aperto inicial” para representar o aperto promovido pela primeira parte da aplicação, em que se posiciona o dispositivo no local de interesse e se promove sua fixação. Em alguns modelos isso se dá por ação de tração da cinta, por velcro, por sistemas específicos de trava, ou a associação de mais de um desses elementos.

Já o termo “aperto final” foi escolhido para fazer referências ao aperto que se dá no TQ com o objetivo de vencer a pressão arterial e promover a oclusão vascular total, cessando o fluxo sanguíneo distalmente ao local de aplicação do dispositivo.

3.6.4 Resistência de materiais

Por fim, quanto à função dos TQ, há mais um ramo de abordagem quanto à produção de novos dispositivos, relacionados a engenharia, que é a resistência de materiais. Tal estudo refere-se à capacidade de um material em resistir a uma força aplicada e avalia seu comportamento e sua deformação (113).

Tomando como exemplo uma força de tração, a força atuante e as deformações resultantes são medidas à proporção que a carga aumenta no ensaio de tração (114). As tensões são obtidas dividindo-se as forças medidas nas prensas pela área da seção transversal da barra, e a deformação (alongamento específico) dividindo-se o alongamento pelo comprimento ao longo do qual ocorre a deformação. Deste modo é possível determinar um *diagrama tensão-deformação* para o material em estudo (113).

Portanto, à relação entre o alongamento ocasionado pela tração e o comprimento inicial, dá-se o nome de deformação (ε) (114), expressa abaixo, onde “ L ” representa o comprimento inicial e “ δ ” o alongamento (113).

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L}$$

A deformação de um objeto é a mudança de sua morfologia, que se transforma quando ocorre uma tensão ou variação térmica, alterando suas dimensões. Dessa forma, na resistência de materiais, tais deformações podem se definir em três categorias: (A) a deformação elástica, também chamada de transitória, quando o corpo tem capacidade de voltar a sua forma original após o fim do processo de tensão; (B) a deformação plástica, em que o corpo não é capaz de voltar para o estado original da estrutura, resultante de uma força maior; (C) a deformação por ruptura, que ocorre quando o objeto ou estrutura apresenta perda de continuidade (113).

Para estudos de resistência de materiais é empregada a Lei de Hooke, utilizada para calcular as deformações e observar a elasticidade das estruturas (114). Quando um material se comporta elasticamente e apresenta uma relação linear entre a tensão e a deformação, diz-se que ele é linearmente elástico (113).

Onde “ E ” é uma constante de proporcionalidade (módulo de elasticidade longitudinal) do material, ou *módulo de Young*, sendo o coeficiente angular da parte linear do *diagrama tensão-deformação*, a relação entre a tensão e deformação pode ser expressa pela equação (113):

$$\sigma = E \varepsilon$$

O alongamento de um material (ainda no exemplo da aplicação de tração) é diretamente proporcional à carga e ao comprimento (PL), e inversamente proporcional ao módulo de elasticidade e à área da seção transversal (EA) (113), onde:

$$\delta = \frac{PL}{EA}$$

Enquanto o material se comporta de forma a manter capacidade de retornar à sua morfologia original, admitimos que está em um *regime elástico*. Nessa fase o material apresenta comportamento linear elástico e por isso, nesse trecho, é válida a lei de Hooke, em que a tensão é proporcional à deformação (113).

A partir do limite de proporcionalidade, o material ainda passa a apresentar comportamento elástico, entretanto, a relação deixa de ser linear. Durante o “escoamento” o material sofre uma brusca deformação, enquanto a tensão se mantém constante (113).

Quando o material ultrapassa o chamado limite de escoamento, admitimos que o material está em *regime plástico*, em que a deformação não permite que o material volte à sua forma original. No ponto “E” de um diagrama de tensão-deformação, como representado na **figura 14**, se observa a falha e o colapso da estrutura do material (113).

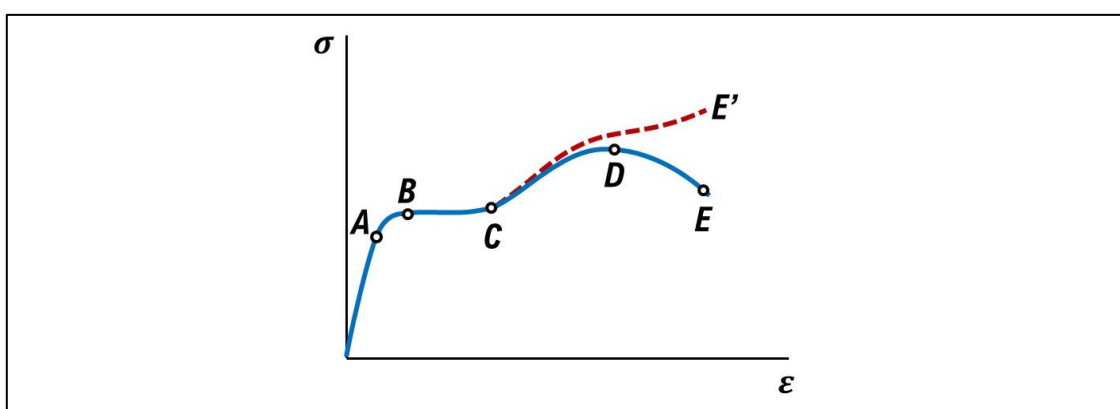


Figura 14 - Diagrama tensão-deformação de um material dúctil com patamar de escoamento, onde: (A) é o limite de proporcionalidade do regime elástico-linear; (B-C) é o patamar de escoamento do regime plástico; (D) é a tensão máxima (de ruptura); (C-E) é o diagrama tensão-deformação nominal (estricção da seção de ruptura); e (CE') é o diagrama tensão-deformação real.

Fonte: o Autor

Os TQ-C apresentam diferentes materiais na sua composição, de modo que alguns modelos possuem maior número de materiais do que outros (54,103). Cada material se comporta de maneira específica (115) e por isso os dispositivos necessitam passar por ensaios mecânicos e testes destrutivos.

Não apenas é importante avaliar mecanicamente o dispositivo quanto à sua efetividade e capacidade oclusiva (111), mas também conhecer suas capacidades mecânicas em resistir às forças geradas durante a sua aplicação.

A cinta do TQ sofre forças de tração e de cisalhamento na torção da cinta, bem como de cisalhamento na haste de torção e de tração nos passadores

da cinta. Os modelos que não possuem haste de torção, bem como os elásticos, possuem comportamentos diferentes. A deformação após a aplicação de aperto final é um dos fatores que faz do TQ um dispositivo geralmente descartável.

Isso é importante quando se fala na efetividade do dispositivo e vale citar os TQ-F. As falsificações além de não serem testadas e certificadas (65), geralmente são produzidas em materiais inadequados, sem projeto e cálculos de resistência. Tal condição aumenta a probabilidade de falha estrutural do dispositivo e perda de tempo no controle da hemorragia, reduzindo a chance de sobrevivência da vítima.

Para o desenvolvimento de dispositivo, conhecer o material e seu comportamento mecânico, bem como as tensões que ele irá sofrer durante a aplicação prevista é fundamental. Isso permite que se garanta que o material trabalhe no regime elástico, evitando falhas estruturais dentro das aplicações de forças normais da aplicação.

4. METODOLOGIA

4.1 Delineamento e referencial

Trata-se de uma pesquisa aplicada para desenvolvimento de dispositivo para uso em saúde.

4.2 Contextualização e levantamento bibliográfico

A construção da contextualização do problema e concepção do referencial teórico dessa pesquisa envolve revisão da literatura, utilizando as bases de dados *PubMed*, *Mendeley* e o *Journal of Special Operations Medicine - JSOM*, com a aplicação das palavras-chave principais “*tactical tourniquet*”, “*tourniquet*”, “*hemorrhage control*”, “*bleeding control*”, “*design*”, “*pressure*” e “*occlusion*”, “*arterial occlusion*” e também “*historical*”, buscando artigos à partir de 2017, que se dedicaram a estudar a estrutura, o design, os métodos de aplicação, a eficácia e as pressões de oclusão de torniquetes comerciais ou improvisados.

4.3 Análise de dispositivos disponíveis

Foram analisados os principais TQ-C disponíveis no mercado nacional e internacional, quanto ao seu design e mecanismos, eficácia e formas de aplicação. Essas características foram usadas para comparar com dados da literatura, que se referem ao design e à eficácia de seu uso para controle de hemorragias massivas em membros. Foram levadas em consideração também características importantes desses dispositivos para atender ao emprego nos cenários civil e tático/militar.

Tais características se referem a resistência de materiais, portabilidade, facilidade de uso em autoaplicação e aplicação em terceiros, tempo de aplicação, padrões de cor variando da alta à baixa luminosidade, uso intuitivo e morfologia/método que permita aplicações em situações de baixa luminosidade e pressão psicológica, bem como características funcionais do design de cada dispositivo.

As observações qualitativas de características de design e de manuseio foram feitas sobre os TQ-C modelos *C-A-T®*, *Combat Application Tourniquet Gen7*, da *North American Rescue* (Greer, SC, Estados Unidos); *SOF®*, *Special Operations Forces Tactical Tourniquet Wide Gen4*, da *Tacmed Solutions* (Anderson, SC, Estados Unidos); *SAM®XT*, *SAM XT Extremity Tourniquet*, da *SAM Medical* (Tualatin, OR, Estados Unidos); T-APH, Torniquete de Aplicação Pré-Hospitalar, da Desmodus (Joinville, SC, Brasil); *SWAT-T®*, *Stretch Wrap And Tuck Tourniquet*, da *H&H Med Corp* (Williamsburg, VA, Estados Unidos). Também foram observados TQ-F desses modelos.

Essa avaliação qualitativa visou coletar impressões a respeito da facilidade em empregar tais dispositivos, com o intuito de se aproveitar pontos fortes de cada um dos modelos, que possuem diferenças importantes em termos de design e técnicas de aplicação.

4.4 Projeto de um novo dispositivo

No intuito de se desenvolver um dispositivo mais simples, porém funcional, produzido em uma peça única e de único material, foi definida morfologia do TQ, tendo como base a estrutura de uma braçadeira plástica. O sistema difere daqueles TQ com haste de torção, onde nesse novo modelo ocorreria apenas a força de tração da fita através de uma trava, com um sistema de facilitação para aplicar a tração (TQ-C sem haste de torção).

4.5 Primeiro modelamento 3D do novo dispositivo

Foi utilizado o software *Solidworks* para a modelagem 3D e desenvolvimento do projeto do primeiro modelo do dispositivo, sem uma base prévia, criando um design autoral de todas as suas partes. O projeto virtual do dispositivo foi desenvolvido com base na impressão dos modelos avaliados e no intuito de se criar um novo equipamento, com foco na simplicidade de seus mecanismos.

4.6 Primeira prototipação física do novo dispositivo

Com a modelagem 3D concluída, o projeto prosseguiu para a fase de produção de protótipo em escala para testes de funcionalidade e subsequentes melhorias.

Foi prototipado fisicamente um modelo do dispositivo, impresso em impressora 3D (FDM SQR3D, CoreXY) utilizando filamento de elastômero termoplástico do tipo TPU (poliuretano termoplástico) flexível, de cor preto, com alongamento de ruptura à flexão do material de 600% e com tempo total de impressão das partes de aproximadamente 18 horas.

O protótipo foi desenvolvido para que fosse empregado em testes de funcionalidade, em simulações com manequins de treinamento, objetivando a identificação de pontos de melhoria para modificação no projeto final.

Por dificuldades de impressão da peça inteira (em virtude do comprimento) e por conta da diferença entre a largura da trava e da fita (o que iria exigir uma série de suportes), optou-se por imprimir os elementos com corte longitudinal da trava e com corte transversal da fita em diversas partes, tendo sido realizado um processo manual e artesanal de junção das peças a quente para constituição do protótipo.

As partes da fita foram impressas em formato de encaixe para aumentar a área de contato no processo de junção a quente. Esse processo de

junção envolveu o aquecimento das partes, seguida de contato e de um processo de solda, utilizando ferro de solda e o mesmo filamento utilizado na cinta do dispositivo.

4.7 Primeiro teste de manuseio e técnica de aplicação

O primeiro protótipo foi então empregado em avaliações qualitativas quanto ao formato, pega, possibilidades de acondicionamento, volume ocupado, abertura e fechamento, aplicação aberto (quando se aplica o TQ no membro com as extremidades separadas e passa a extremidade da fita por dentro da trava) e fechado (quando o TQ já é acondicionado com a extremidade passada parcialmente pela trava e é colocado pela mão ou pé passando por dentro da abertura circular). Também foi observado o tempo de aplicação, com base em experiências do autor.

O dispositivo foi aplicado por meio da autoaplicação em membros superiores e em membros inferiores, no próprio autor. Também foi aplicado em um simulador simples de membro, que serviu apenas para produção de imagens ilustrativas, confeccionado com flutuadores para uso em piscina, colados em camadas formando um cilindro de aproximadamente 40cm de diâmetro e 40cm de comprimento, onde foi feita uma incisão e, com uso de esmalte vermelho, uma lesão para fins ilustrativos.

4.8 Segundo modelamento 3D do novo dispositivo

Tendo em vista os pontos de melhoria observados e descritos mais a frente neste trabalho, foram buscadas melhorias no sistema de tracionamento e de travamento do dispositivo, de maneira a, principalmente, acrescentar um sistema de alavanca e catraca.

Novamente, utilizando o software *Solidworks* para a modelagem 3D, foi desenvolvido o segundo protótipo virtual do dispositivo, com a adição do

sistema de alavanca e catraca. O segundo protótipo, enquanto melhoria do primeiro, também consiste em design autoral de todas as suas partes.

4.9 Segunda prototipação física do novo dispositivo

Foi prototipado fisicamente o segundo modelo do dispositivo, impresso em impressora 3D (FDM SQR3D, CoreXY) utilizando dois tipos de filamento, para que houvesse partes rígidas e partes flexíveis.

Na impressão da cinta (flexível), foi utilizado filamento de elastômero termoplástico de 1,75mm, do tipo TPU (poliuretano termoplástico) flexível, de cor verde-limão, com alongamento de ruptura à flexão do material de 600% e densidade de 1,15 g/cm³.

Já na impressão da trava principal, alavanca, trava da catraca, engrenagens da catraca e engrenagem de tracionamento da cinta, foi empregado filamento convencional, de elastômero termoplástico de 1,75mm, do tipo TPU (poliuretano termoplástico) rígido, em cor verde mais escuro.

O tempo de impressão total de todas as partes do novo dispositivo foi de aproximadamente 24 horas, sem incluir o processo de junção a quente das partes.

4.10 Segundo teste de manuseio e técnica de aplicação

O novo protótipo foi então empregado nas mesmas condições de testes de viabilidade e funcionalidade que o primeiro dispositivo, conforme descrito anteriormente. O dispositivo foi avaliado quanto ao formato, volume, formas de acondicionamento. Foram então criadas técnicas de aplicação específicas do novo modelo com sistema de catraca. Além do simulador já descrito anteriormente, foi utilizado também um pote plástico vermelho, com diâmetro de 45cm, para fins de posicionamento e ilustração.

4.11 Ajustes finais de peças do segundo protótipo

Foi desenvolvida nova estrutura de peças-chave do segundo protótipo. A engrenagem da caixa da trava, bem como as engrenagens da trava da catraca foram produzidas em novo material com o objetivo de adicionar dureza. Também foram feitas alterações morfológicas, com a adição de dentes na engrenagem interna à caixa da trava.

Foi utilizado o software *Solidworks* para a modelagem 3D dessas peças e utilizada impressora 3D (FDM SQR3D, CoreXY) para impressão. Foi empregado filamento de 1,75mm de Polietileno Tereftalato de Etileno Glicol (PETG XT), com densidade de $1,27 \text{ g/cm}^3$ e alongamento na ruptura de 135%.

As novas peças foram então substituídas no segundo protótipo do dispositivo.

5. RESULTADOS

5.1 Projeto de um novo dispositivo

O resultado do projeto de dispositivo envolve: (1) a modelagem 3D (protótipo visual, virtual) de um novo dispositivo; (2) a prototipação física (impressão 3D) desse modelo, que permite desenvolver técnicas de uso; (3) o desenvolvimento de métodos e técnicas específicas de aplicação do modelo, através de testes práticos de viabilidade e manuseio.

5.2 Análise de dispositivos disponíveis

Os principais TQ-C disponíveis para aplicação em ambiente pré-hospitalar, em cenário civil ou tático, são do tipo com haste de torção, fabricados com diversos materiais diferentes e resultantes de projeto e processo produtivo complexos. Dos dispositivos avaliados, apenas o TQ SWAT é do tipo elástico.

Os dispositivos analisados estão representados na **figura 15**.

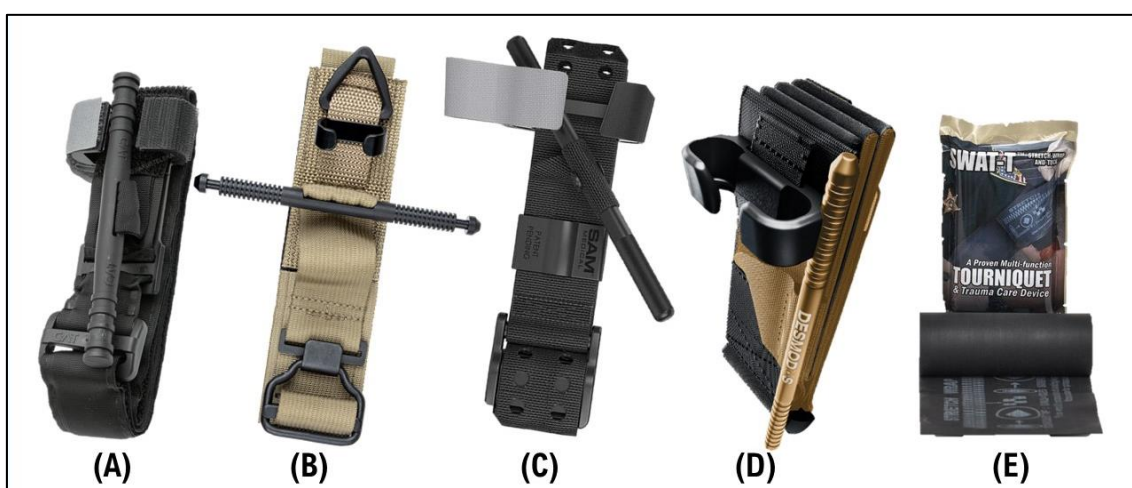


Figura 15 – Dispositivos avaliados, modelos (A) C-A-T®; (B) SOF®; (C) SAM®XT; (D) T-APH; (E) SWAT-T®.

Fonte: Montagem com imagens coletadas nos sites (A) Varusteleka Military and Outdoors Specialists (116); (B) My Medic (117); (C) Rescue Essentials (118); (D) Sapesca (119); (E) Safe Combat (120).

5.3 Primeiro modelamento 3D (primeiro modelo)

Com base na estrutura de uma braçadeira plástica, o primeiro modelo foi definido com um sistema de trava no mesmo material da fita e ambos em peça única, de forma que ocorresse o travamento da fita, porém também possibilitasse o destravamento e alívio da pressão do equipamento, permitindo ajustes de posicionamento, substituição ou retirada.

O novo dispositivo foi desenvolvido como ilustrado na **figura 16**.

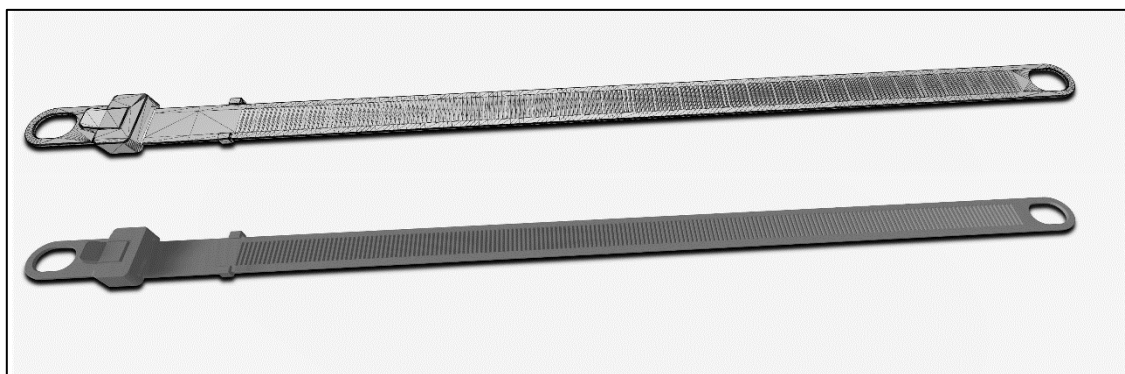


Figura 16 - Modelagem 3D do dispositivo para prototipação, visão geral.

Fonte: o Autor

A **figura 17** ilustra com detalhes o sistema de trava desenvolvido para esse dispositivo.

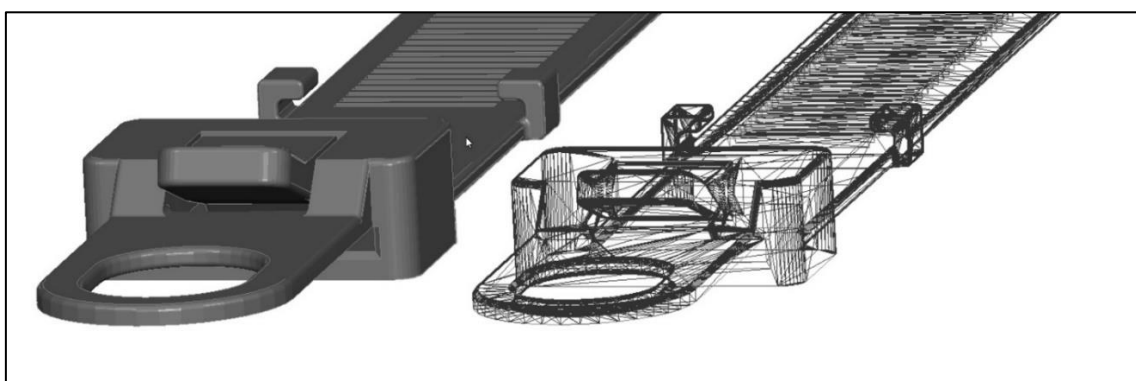


Figura 17 - Detalhe da trava do TR no projeto 3D do primeiro protótipo.

Fonte: o Autor.

No sistema de trava, foi desenvolvido um passador que permite que a extremidade da fita passe paralelamente à própria fita do outro lado, o que permite uma área de contato e uma distribuição de pressão mais homogênea.

As **figuras 18 e 19** ilustram com detalhes o sistema do passador da trava do dispositivo.

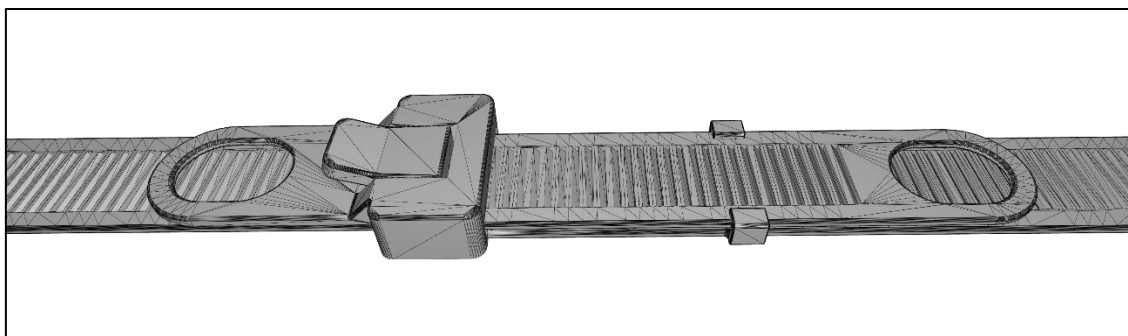


Figura 18 - Detalhe da trava do primeiro protótipo do TR em projeto.

Fonte: o Autor.

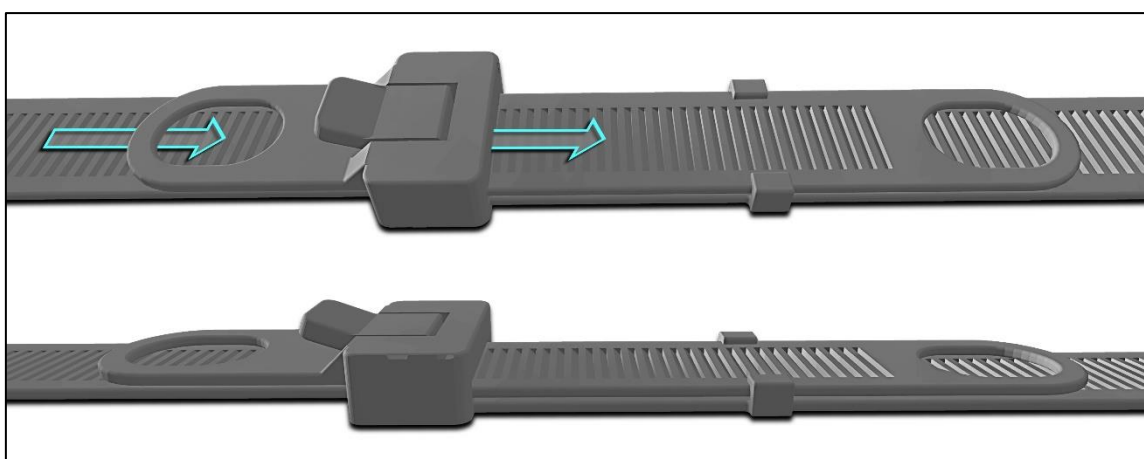


Figura 19 - Detalhes do passador paralelo e das aberturas de tração do TR.

Fonte: o Autor.

Foram incluídas duas aberturas, designadas “aberturas de tração”, cujo propósito é facilitar o tracionamento da fita através do sistema de travamento, com a possibilidade de aplicação de forças em sentidos opostos. Para reduzir a movimentação descontrolada da fita após aplicação e travamento, foi também incluído na parte inicial da fita um sistema para fixação da extremidade da mesma fita.

Quanto às dimensões e características específicas, foi definida a largura da fita principal do TQ na ordem de 38mm, similar aos principais equipamentos disponíveis. O comprimento total da fita, incluindo o sistema de trava, foi definido na ordem de 950mm, similar a equipamentos propostos para um contexto “*wide*”, que atenda diâmetros maiores de membros.

Foram definidos quatro padrões de cores, sendo duas de alta visibilidade e emprego no cenário civil, em laranja e verde-limão, uma cor de baixa visibilidade a ser empregada no cenário tático em cinza e a cor azul a ser empregada como equipamento exclusivo para treinamento

Na **figura 20** foram propostas padronizações provisórias de terminologia referente às partes do dispositivo.

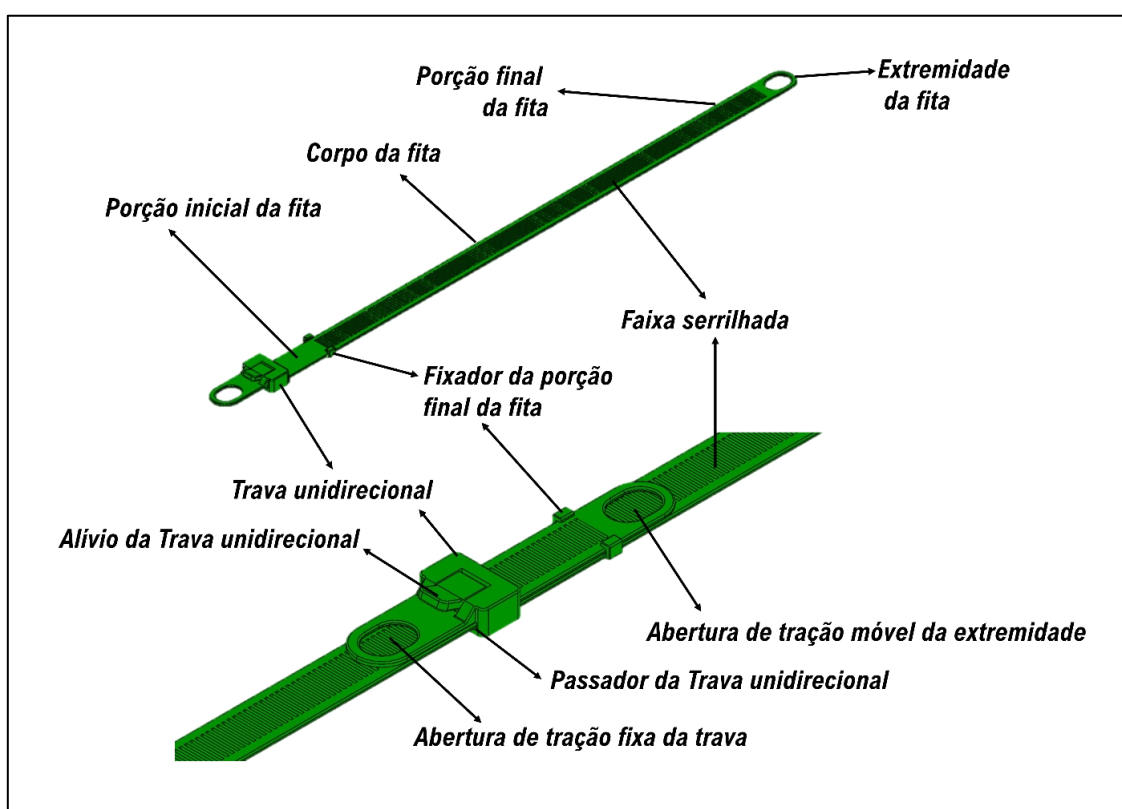


Figura 20 - Padronização provisória de terminologias referentes às partes do primeiro protótipo do TR, de acordo com suas funções e morfologia.

Fonte: o Autor.

A **figura 21** ilustra a proposta de padrões de cor para o dispositivo.

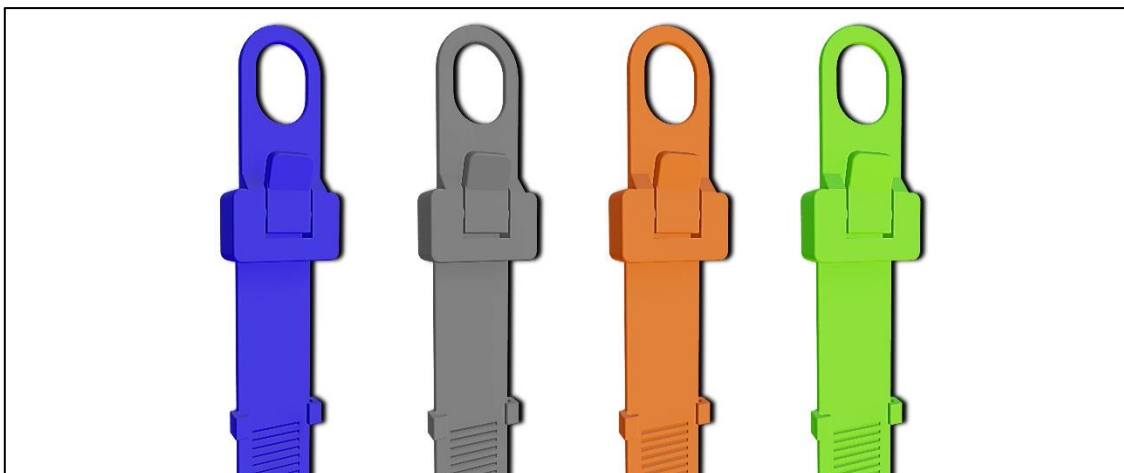


Figura 21 - Padrões de cores do TR, sendo alta visibilidade (laranja e verde-limão, baixa visibilidade (cinza) e treinamento (azul).

Fonte: o Autor.

5.4 Primeira prototipação física (primeiro modelo)

A prototipação física do dispositivo, desenvolvida por impressão 3D em filamento de TPU flexível foi desenvolvida em partes, que foram fundidas artesanalmente, conforme descrito anteriormente.

A **figura 22** ilustra os cortes das peças que foram impressas.

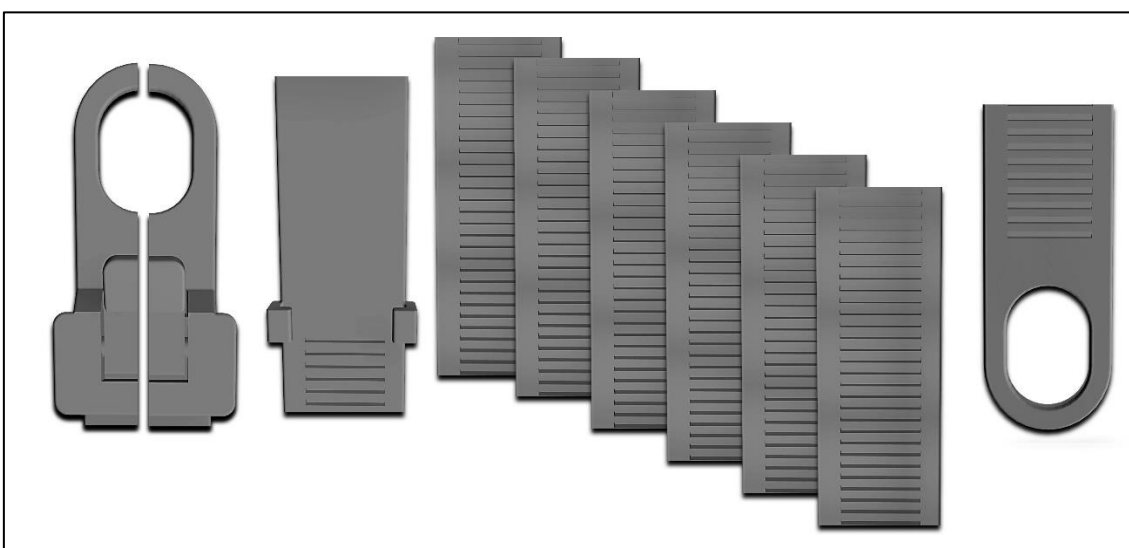


Figura 22 - Ilustração das partes para impressão e fundição do dispositivo.

Fonte: o Autor

A **figura 23** enfatiza o formato dos recortes da cinta para encaixe e junção.

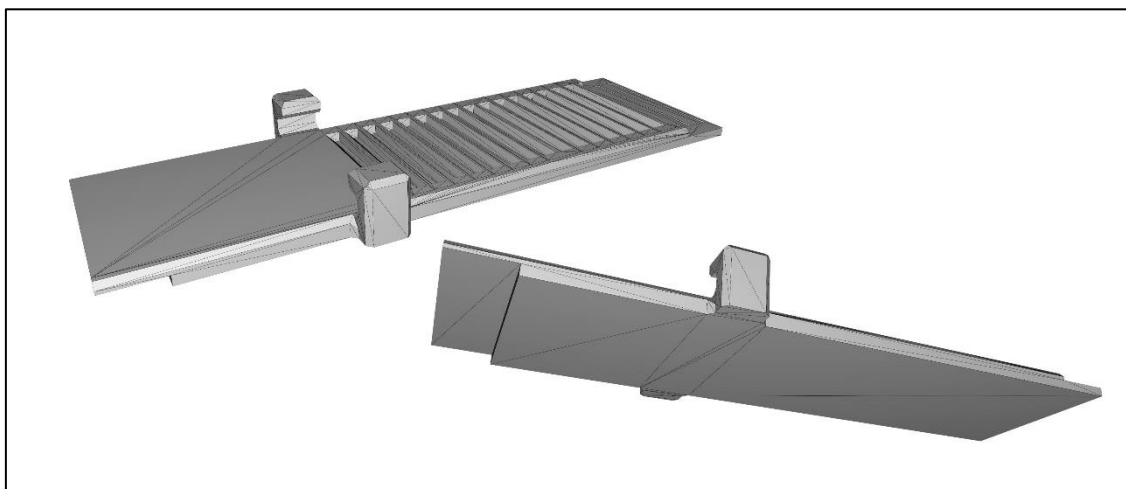


Figura 23 - Detalhe dos recortes das partes da fita para junção a quente.
Fonte: o Autor

O primeiro protótipo montado está representado na **figura 24**.



Figura 24 - Protótipo do primeiro modelo pronto para testes de funcionalidade.
Fonte: o Autor

As características dimensionais, do primeiro protótipo montado, estão representadas na **figura 25**.



Figura 25 - Características dimensionais do primeiro protótipo do TR.
Fonte: o Autor

A **figura 26** ilustra as dimensões e formato com relação ao corpo.



Figura 26 - Resultado do primeiro protótipo por impressão 3D com filamento de TPU flexível, produzido em partes e com processo artesanal de fundição.
Imagem para ilustrar dimensão do dispositivo perto do corpo humano.
Fonte: o Autor.

5.5 Primeiro teste de manuseio e técnicas de aplicação

O desenvolvimento de técnicas de aplicação e manuseio resultou em especificidades do uso do dispositivo. O funcionamento das aberturas de tração da fita para aperto do TQ, bem como do alívio da trava para remoção ou ajustes está representado nas **figuras 27 e 28**.

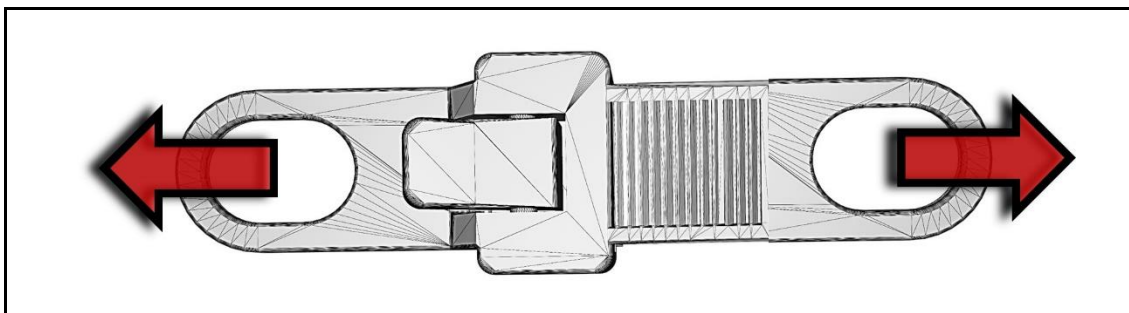


Figura 27 - Funcionamento das aberturas de tração da cinta.

Fonte: o Autor

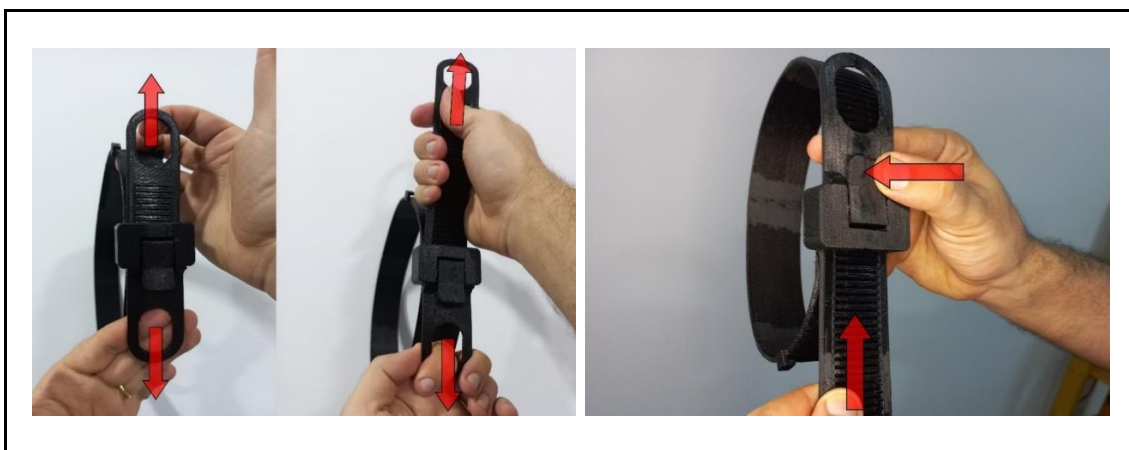


Figura 28 - Funcionamento das aberturas de tração da cinta do TQ e funcionamento da trava para alívio, remoção e ajuste.

Fonte: o Autor

O protótipo foi manuseado por um instrutor especialista em medicina tática (o autor), com conhecimento e habilidades no uso de diversos modelos de TQ-C disponíveis e foi empregado em simulações de autoaplicação em membros superiores (MMSS), membros inferiores (MMII) e aplicação em manequim, tendo sido desenvolvidas técnicas específicas ao modelo, de aplicação do dispositivo.

A **figura 29** ilustra momentos da aplicação do dispositivo em membro superior, pela técnica de autoaplicação com uma das mãos.

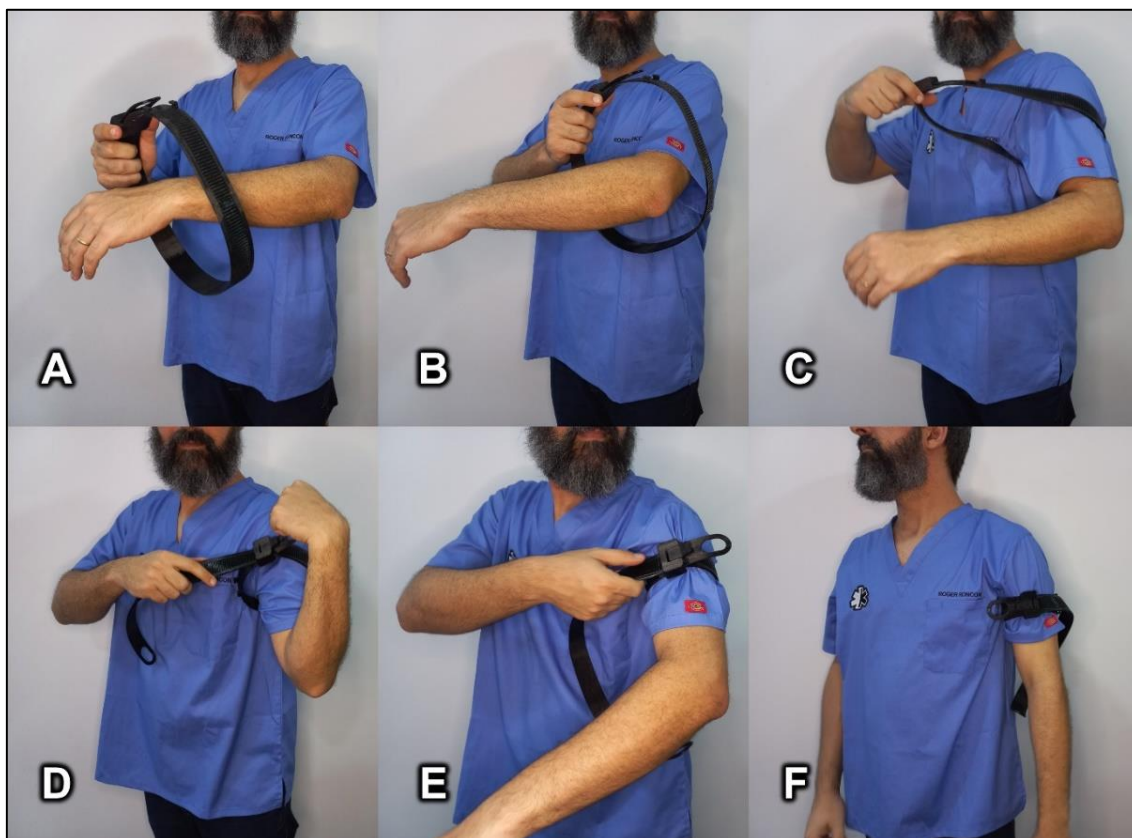


Figura 29 - Testes de manuseio do dispositivo e desenvolvimento de técnicas com o modelo: autoaplicação (com apenas uma das mãos) em MMSS. Em (A, B e C) TQ fechado é passado pela extremidade até próximo da axila (técnica alto e apertado); É feito um aperto inicial (D); Seguido de apertos adicionais (E); Em (F) TQ aplicado.

Fonte: o Autor

A **figura 30** ilustra momentos da aplicação do dispositivo em membro inferior, pela técnica de autoaplicação com as duas mãos.

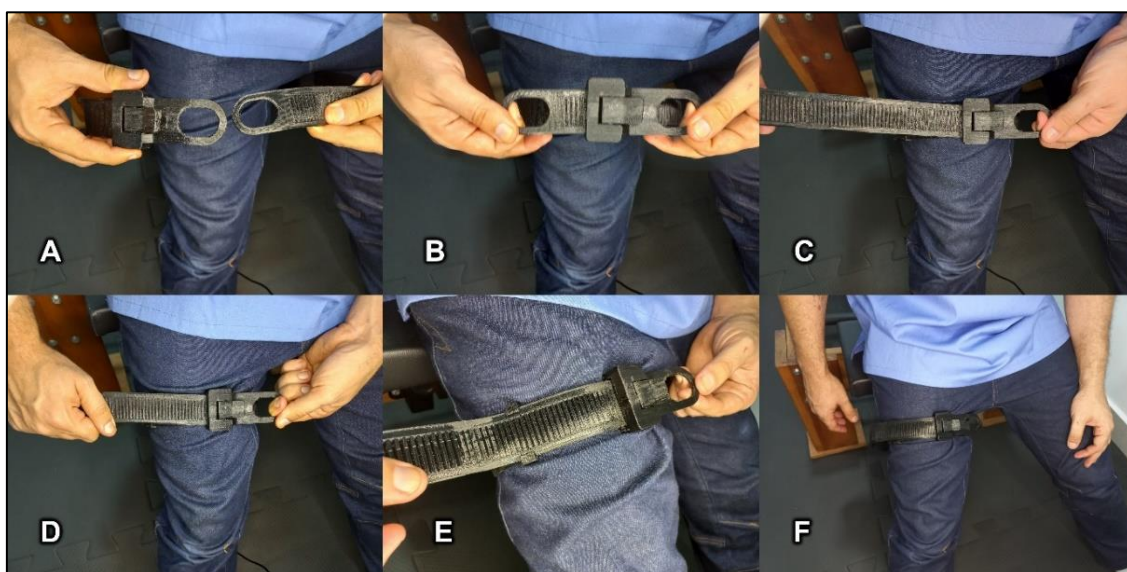


Figura 30 - Testes de manuseio do dispositivo e desenvolvimento de técnicas com o modelo: autoaplicação (com as duas mãos) em MMII, mesma técnica da aplicação em outra vítima, em que se utiliza as duas mãos para aplicar. Em (A) o TQ é passado aberto por um MI, em (B) a extremidade final do TQ é passada por dentro da trava e é feito um aperto inicial (C), seguido por apertos adicionais em (D) e a fita é colocada no fixador (E) e a aplicação é finalizada (F).

Fonte: o Autor

O protótipo também foi manuseado quanto a formato, volume e formatos de acondicionamento, como ilustrado na **figura 31**.



Figura 31 - Volume para acondicionamento do primeiro protótipo do TR.

Fonte: o Autor

5.6 Detalhes finais quanto ao design do primeiro modelo

No projeto de design do dispositivo, há outras características ainda a incluir, como pontos em cores diferentes (aplicação da cor vermelho para identificar a ponta da fita e as aberturas de tração), instruções de aplicação, área para demarcação da hora de aplicação, lote, fabricante e a identidade visual. Porém, tais características devem ser introduzidas em possível fase final de projeto para produção definitiva do dispositivo para testes de pressão e uso real.

5.7 Segundo modelamento 3D (segundo modelo)

Atendendo aos pontos de melhoria observados e descritos mais a frente neste trabalho, foi desenvolvido o novo modelo melhorado do dispositivo, com a adição de sistema de catraca.

A **figura 32** traz uma ilustração com visão geral do projeto do segundo modelo do dispositivo.

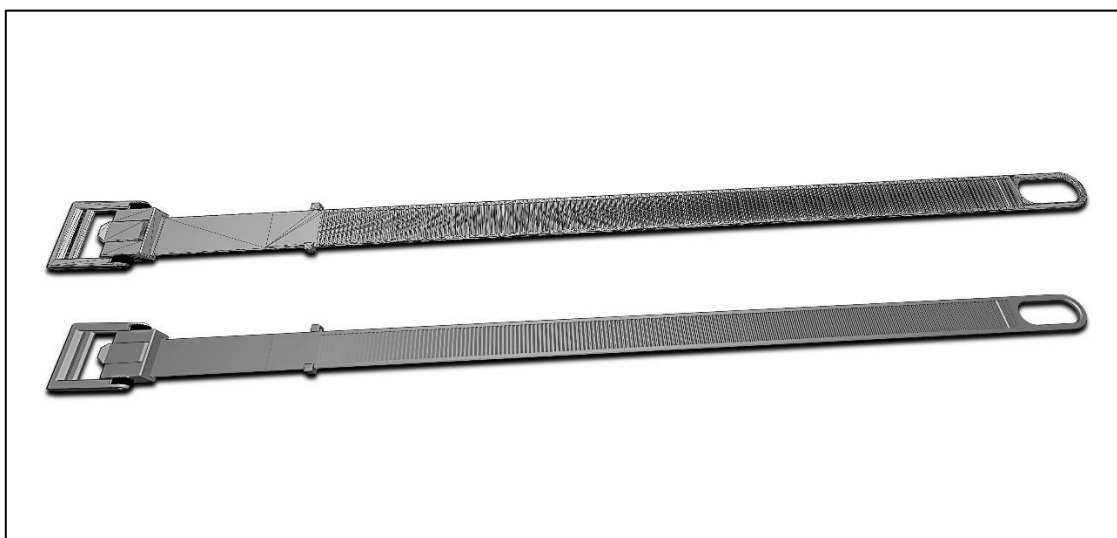


Figura 32 - Modelamento 3D do segundo protótipo do TR, visão geral.

Fonte: o Autor

As **figuras 33 e 34** mostram com detalhes o novo sistema de trava com catraca para tração suplementar da cinta.

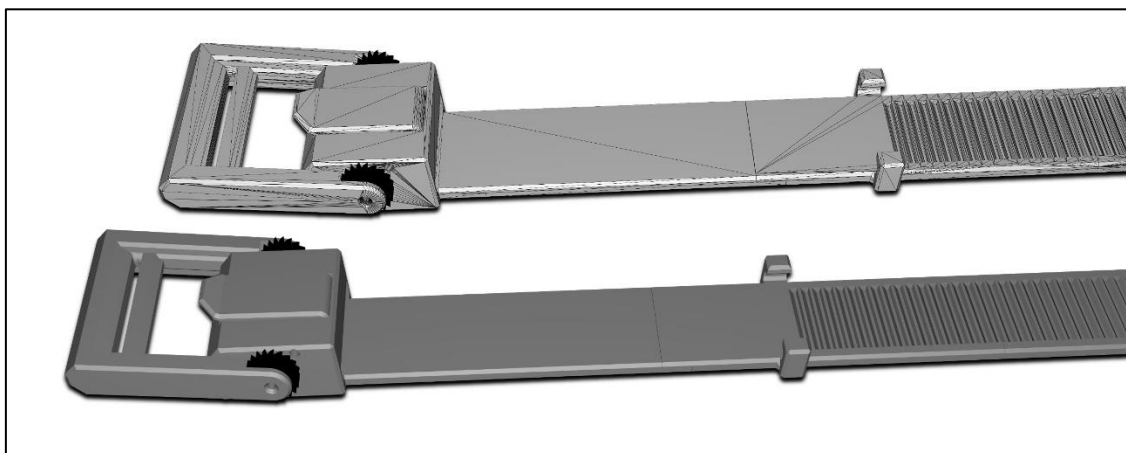


Figura 33 - Protótipo virtual do novo dispositivo com melhorias.

Fonte: o Autor

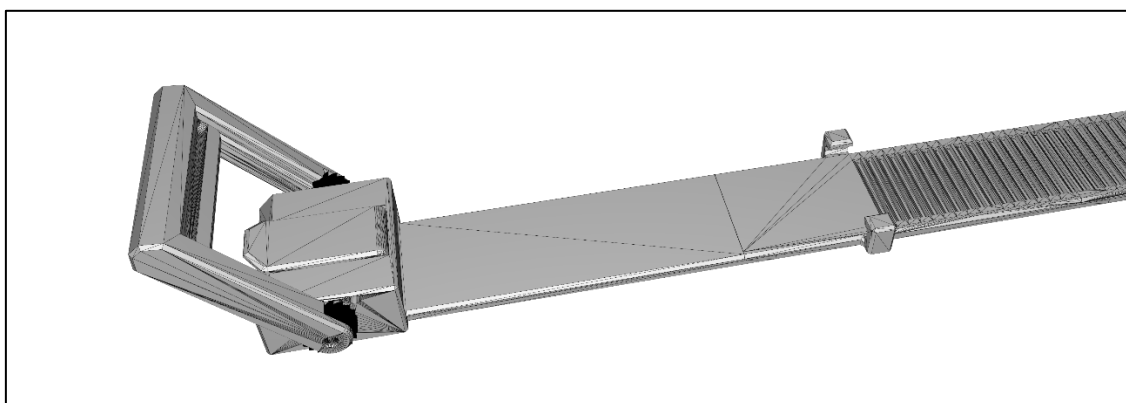


Figura 34 - Detalhe do novo Sistema de trava com adição de catraca.

Fonte: o Autor

A **figura 35** oferece visão geral do dispositivo melhorado.

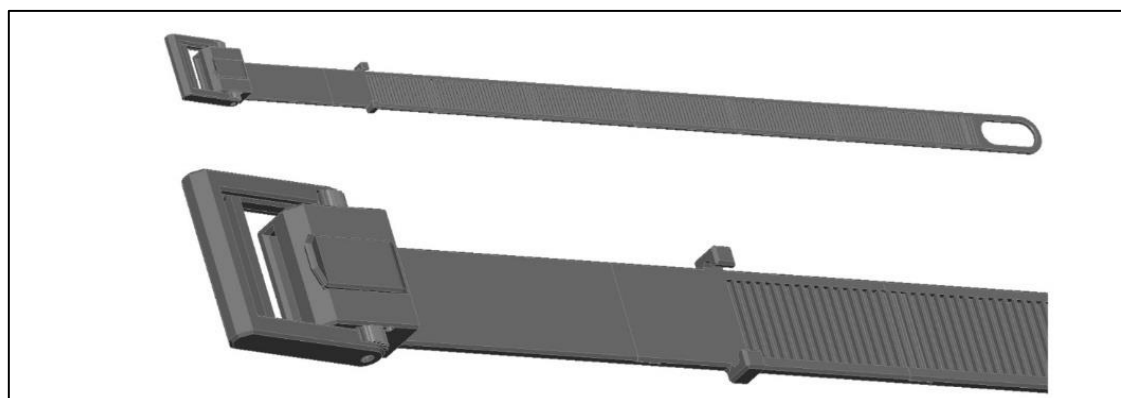


Figura 35 - Visão geral e detalhe do novo protótipo do TR com melhorias.

Fonte: o Autor

Como no primeiro modelo, o dispositivo foi projetado para impressão em partes, com áreas para encaixe que foram juntadas a quente, como detalha a **figura 36**.

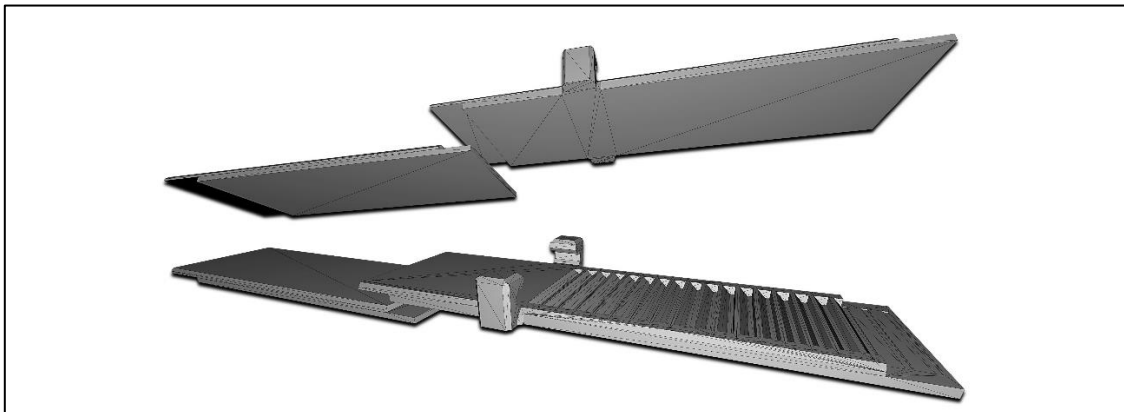


Figura 36 - Detalhe do encaixe das partes da cinta do novo protótipo do TR.
Fonte: o Autor

Os sulcos da cremalheira da cinta tiveram sua profundidade aumentada e foi mantido o fixador da porção final da cinta, conforme **figura 37**.

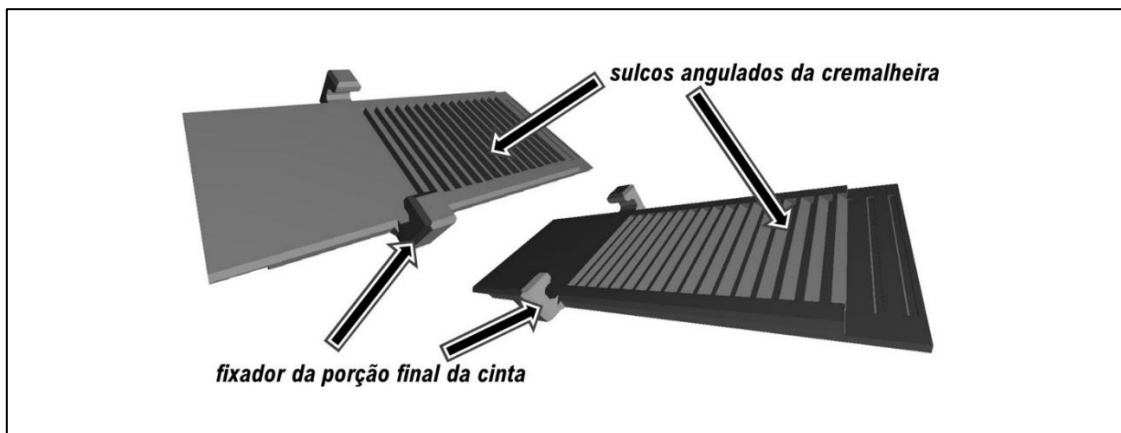


Figura 37 - Visão geral e detalhe do novo protótipo do TR com melhorias.
Fonte: o Autor

Foi mantida morfologia semelhante na caixa da trava, mas foi adicionado um sistema de catraca dotado de uma alavanca e um sistema de destravamento da catraca. Foi padronizada terminologia das partes do novo modelo do dispositivo, que possui novos componentes e novos materiais em relação ao modelo anterior.

A **figura 38** apresenta a padronização de terminologias e aproveita para apresentar com detalhes todos os componentes, tendo sido substituída a expressão “fita” para “cinta”.

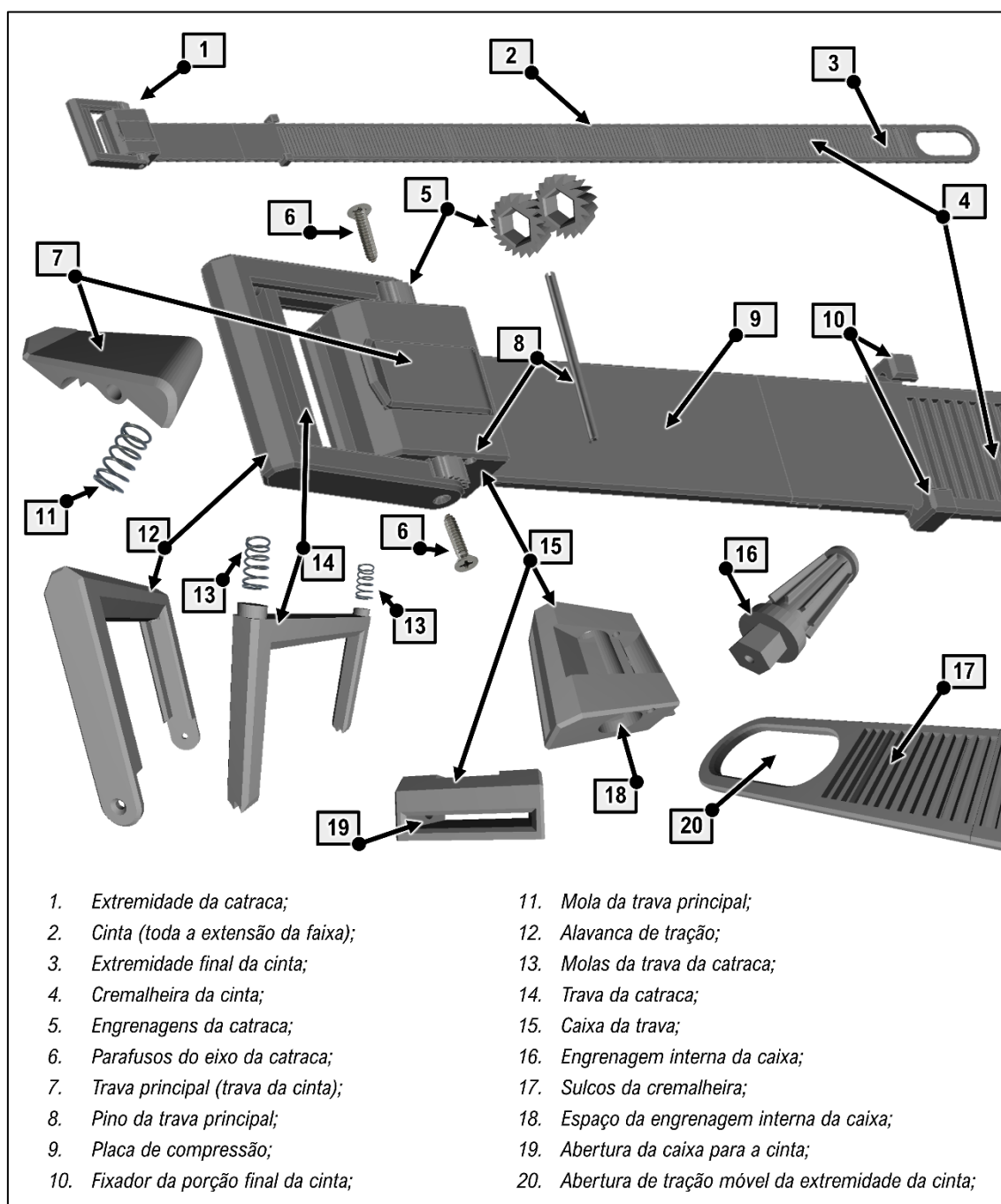


Figura 38 - Padronização de terminologias referentes às partes e componentes do segundo protótipo do TR, de acordo com suas funções e morfologia, incluindo componentes internos.

Fonte: o Autor

As **figuras 39 e 40** mostram detalhes da nova caixa da trava.

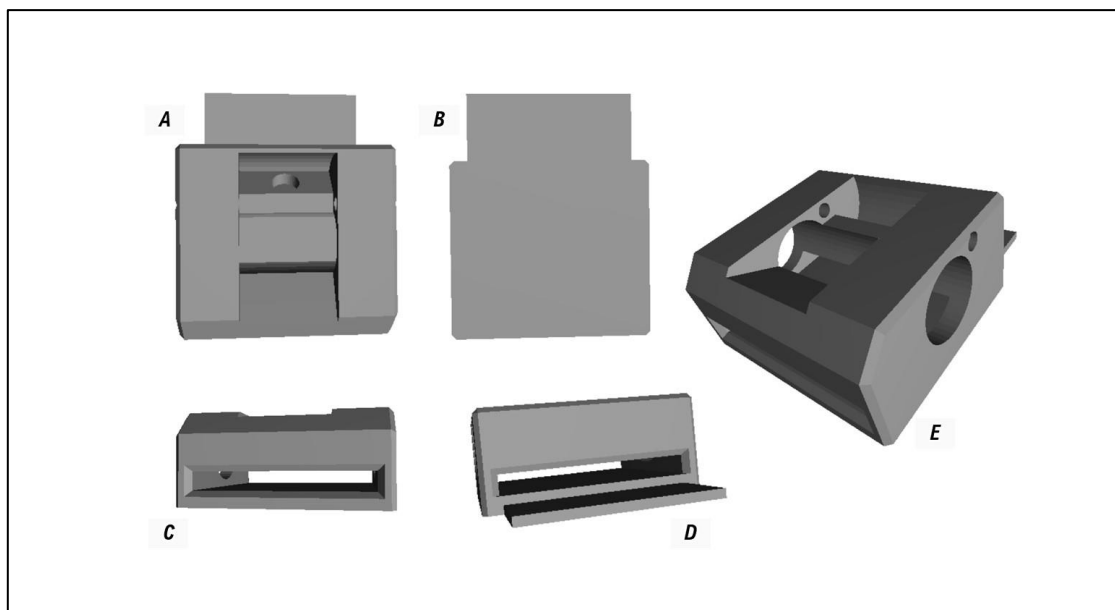


Figura 39 - Detalhes da Caixa da trava, por onde passa a cinta do TQ.
(A) visão superior; (B) visão inferior; (C) abertura de entrada da cinta; (D) abertura de saída da cinta; (E) visão oblíqua com visualização do espaço da engrenagem que traciona a cinta.

Fonte: o Autor

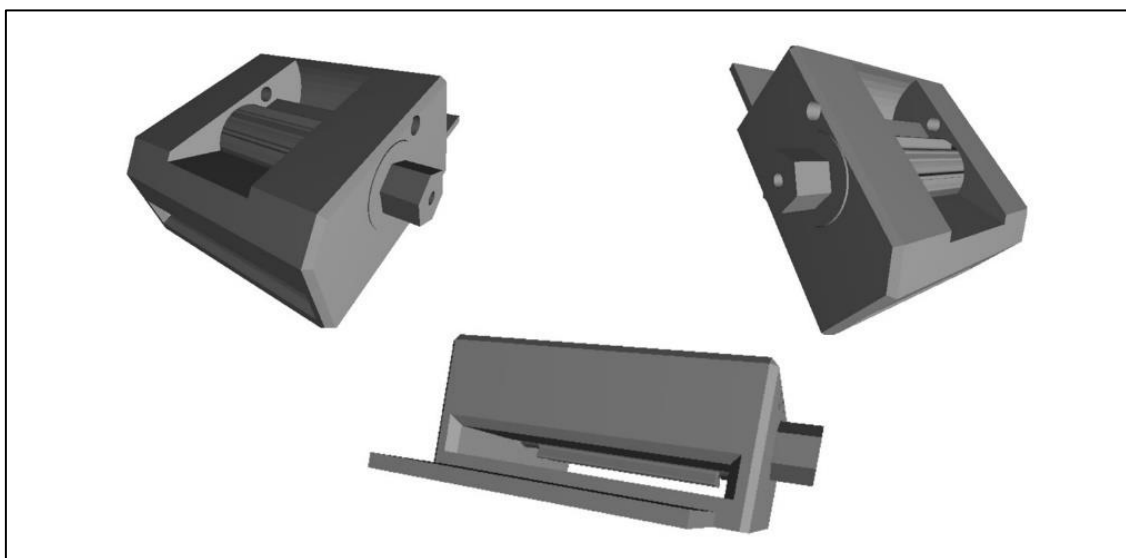


Figura 40 - Detalhes da caixa da trava que permitem visualizar, internamente, a engrenagem que traciona a cremalheira da cinta.

Fonte: o Autor

O novo Sistema de travamento do Segundo modelo do dispositivo conta com um sistema de catraca que está representado na **figura 41**.

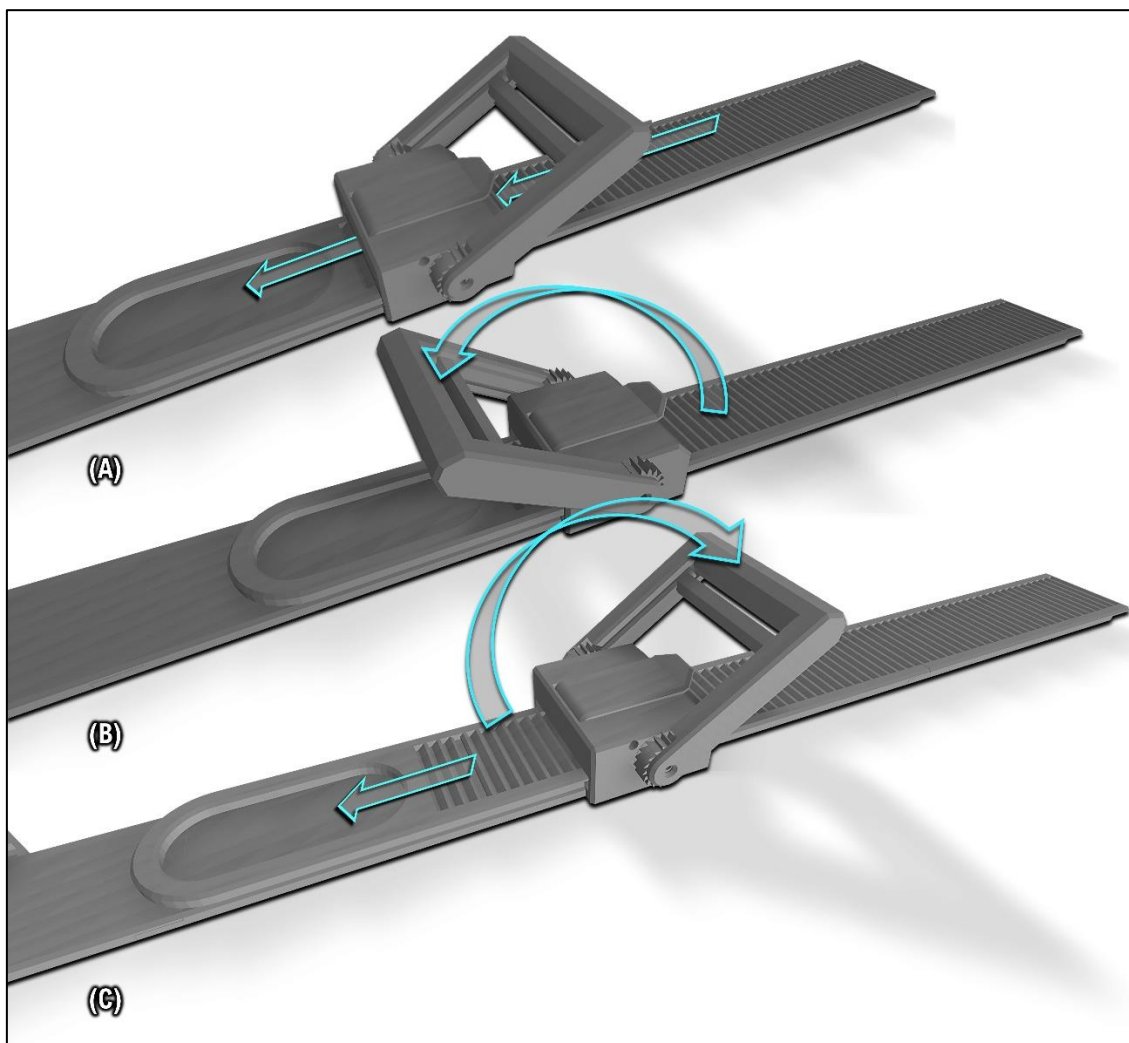


Figura 41 - Detalhe do funcionamento do sistema de catraca adicionado ao novo modelo do TR. Em (A) a alavanca é levantada permitindo a visualização da entrada da caixa por onde entra a extremidade da cinta; em (B) a alavanca é levada para a posição da saída da caixa da trava e o movimento é livre; em (C) a alavanca é levada à sua posição inicial, na abertura da caixa da trava e esse movimento exerce tração na cinta que corre por dentro da trava.

Fonte: o Autor

Os componentes do sistema de catraca desse novo modelo estão apresentados na **figura 42**.

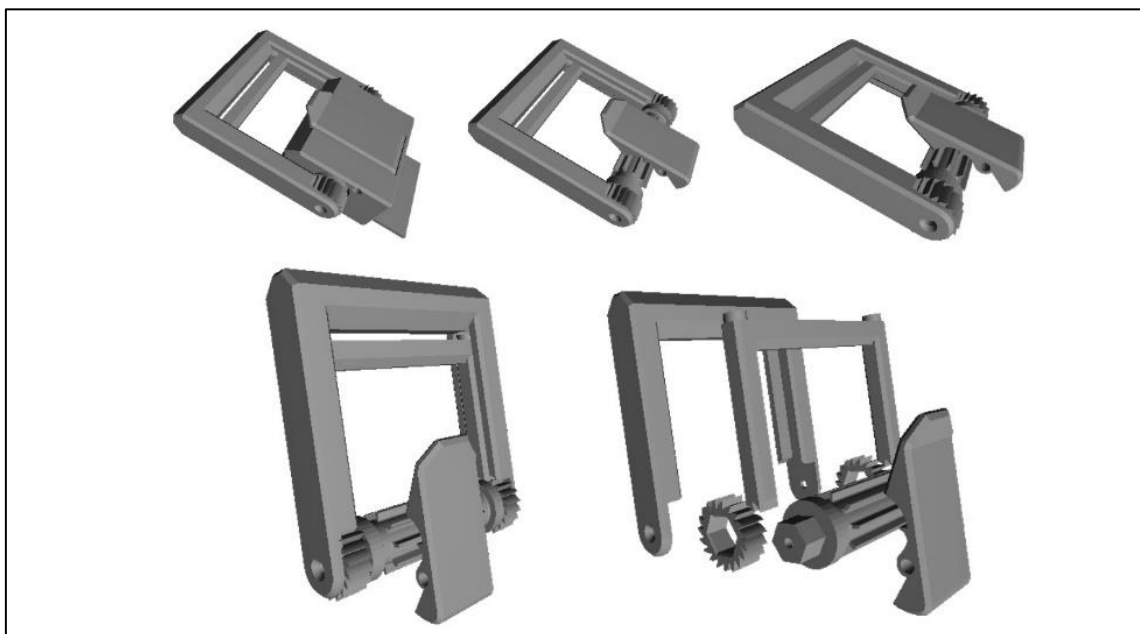


Figura 42 - Detalhe dos componentes do sistema de catraca

Fonte: o Autor

Esse sistema possui controle através de uma trava secundária que atua contra as engrenagens laterais, conforme ilustra a **figura 43**.

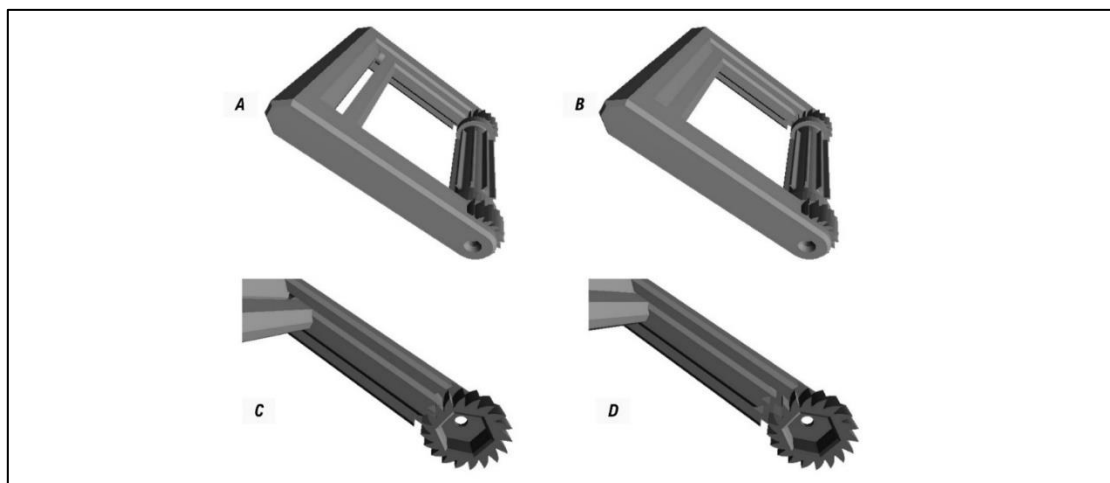


Figura 43 - Detalhes que ilustram o funcionamento do Sistema de catraca.

(A) A trava da catraca está em posição baixa, impedindo a movimentação das engrenagens; (B) a trava da catraca está em posição elevada, liberando a movimentação das engrenagens; (C) detalhe da trava da catraca em posição baixa; (D) detalhe da mesma trava em posição elevada.

Fonte: o Autor

Esse sistema de vantagem mecânica compreende uma alavanca inter-resistente, onde o ponto fixo (*PF*) está localizado no parafuso da engrenagem, bem como no eixo longitudinal da engrenagem interna à caixa. A força de potência (*F_p*) é aplicada na extremidade da alavanca, que ocasiona uma força de tração resultante na cinta, fazendo com que esta aumente seu curso através da caixa.

O braço de potência (*bp*), que representa (*d₁*), é a distância do *PF* até o ponto de aplicação de força na extremidade da alavanca tem ordem de grandeza de 55mm (0.055m). Enquanto o braço de resistência (*br*), que representa (*d₂*), é a distância entre o *PF* e o ápice dos dentes da engrenagem que estão em contato com a trava da catraca, com ordem de grandeza de 7mm (0.0070m).

A vantagem mecânica é demonstrada por:

$$Vm = \frac{bp}{br} = \frac{0,007m}{0,055m} = \frac{7mm}{55mm} = 0,127 \rightarrow < 1$$

A vantagem mecânica do novo sistema, que compreende uma alavanca inter-resistente, é ilustrada na **figura 43**.

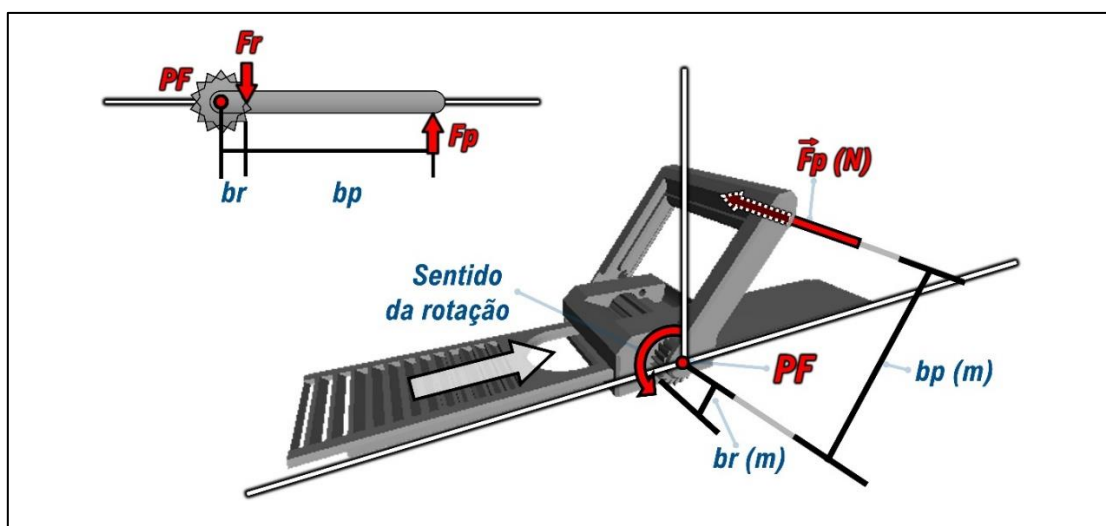


Figura 44 - Vantagem mecânica do novo sistema de tração da cinta por catraca, onde são representados: o ponto fixo (*PF*); a força de potência (*F_p*); a força de tração resultante na cinta representada pela seta branca; o braço de potência (*bp*); e o braço de resistência (*br*).

Fonte: o Autor.

5.8 Segunda prototipação física (segundo modelo)

O segundo modelo também foi prototipado fisicamente, cujo resultado está ilustrado na **figura 45**, que mostra o dispositivo, montado.

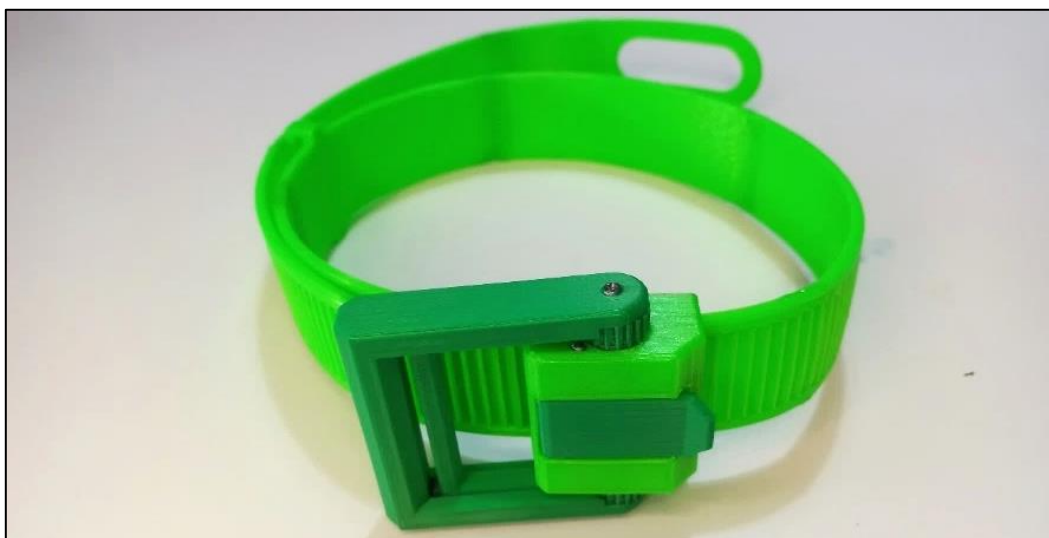


Figura 45 - O segundo protótipo físico montado.

Fonte: o Autor

A **figura 46** apresenta detalhes do segundo modelo prototipado.



Figura 46 - Protótipo do Segundo modelo do TR pronto para testes.

(A) visão geral do dispositivo em posição “fechado”; (B) visão da extremidade da catraca na posição “aberto”; (C) idem ao anterior com detalhe na solda das partes; (D) a extremidade final da cinta e os sulcos da cremalheira da cinta .

Fonte: o Autor

A **figura 47** também apresenta detalhes do novo modelo.

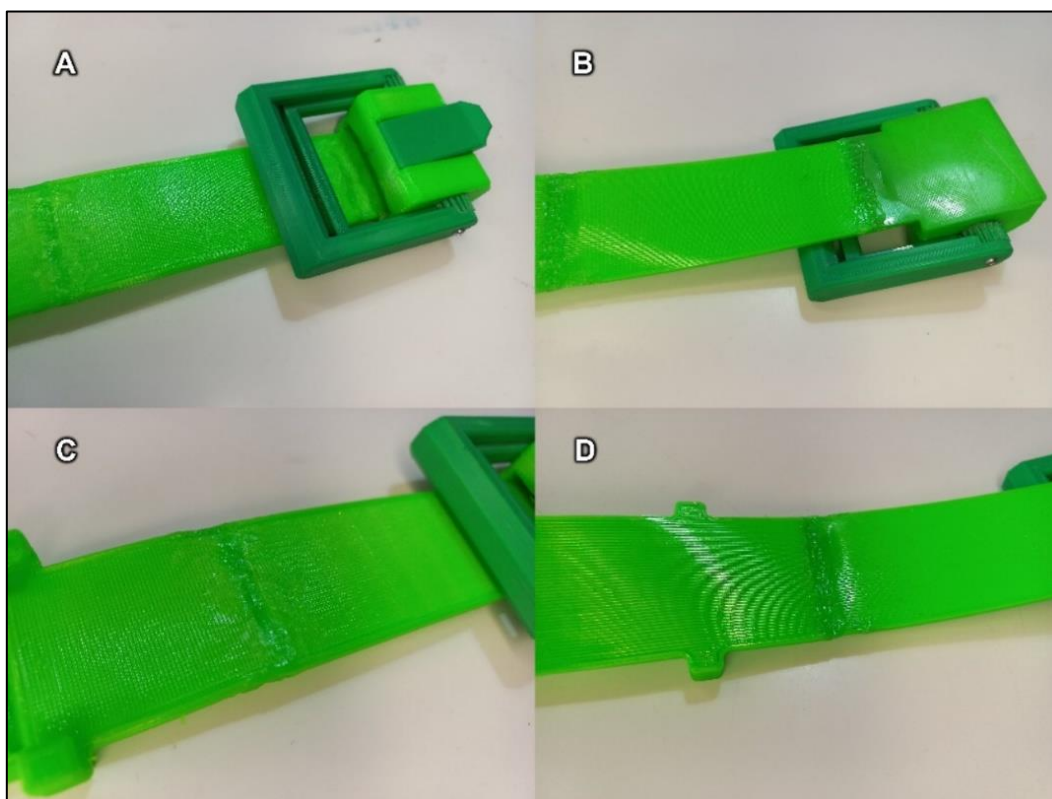


Figura 47 - Protótipo do Segundo modelo do TR pronto para testes. (A) e (B) detalhes em frente e verso da extremidade da catraca e da solda das partes impressas; (C) e (D) detalhe de uma porção da cinta com cremalheira e o verso com detalhe na solda das partes.

Fonte: o Autor

A **figura 48** se propõe a fornecer uma visão geral das dimensões e formas do dispositivo, com relação ao corpo humano.

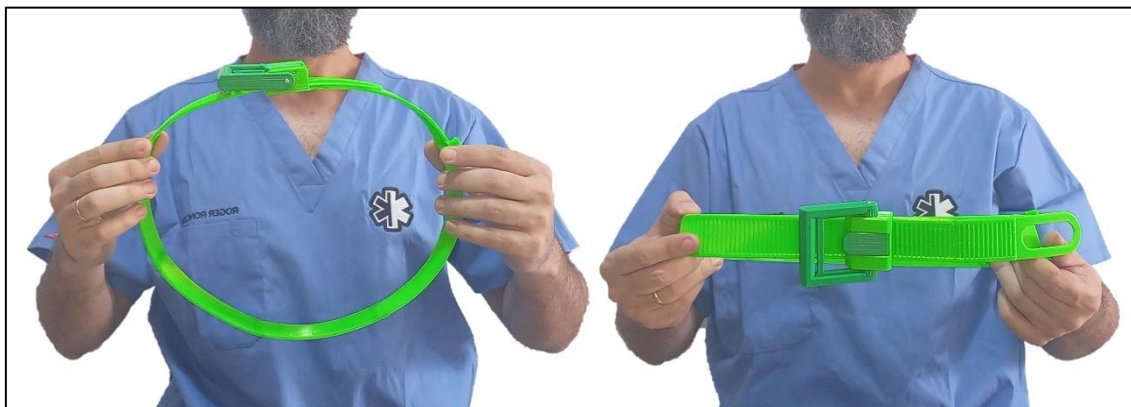


Figura 48 - Visão geral das dimensões do dispositivo.

Fonte: o Autor

O segundo modelo do dispositivo apresenta comprimento total da fita, incluindo o sistema de trava, na ordem de 975mm. As três principais dimensões do TR estão na **figura 49**.

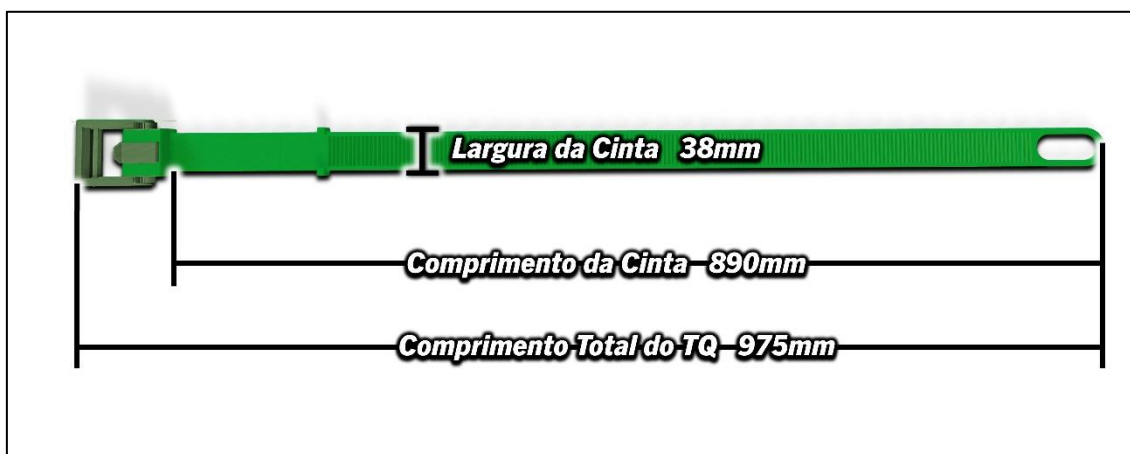


Figura 49 - Principais dimensões do segundo modelo do dispositivo.
Fonte: o Autor.

5.9 Segundo teste de manuseio e técnicas de aplicação

As técnicas de aplicação foram revisadas para todos os tipos de aplicação, aperto e alívio, conforme ilustrado na sequência.

O aperto inicial nesse segundo modelo é produzido através da passagem da extremidade da cinta pela trava. A tração ocorre tanto pela abertura no final da cinta quanto pela alavanca da catraca, mantendo-se acionada a trava da catraca, que permite à cinta o percurso pelo sistema de trava.

Ao contrário do primeiro modelo, neste, a alavanca permanece voltada em direção à extremidade da cinta, para expor a abertura da caixa da trava. Na sequência, a mesma alavanca é trazida em direção à entrada da cinta e é utilizada como abertura de tração, a que não mais existe nesse modelo.

A **figura 50** detalha o procedimento de aplicação e aperto inicial, com ênfase no primeiro momento, de inserção da extremidade da cinta na caixa.

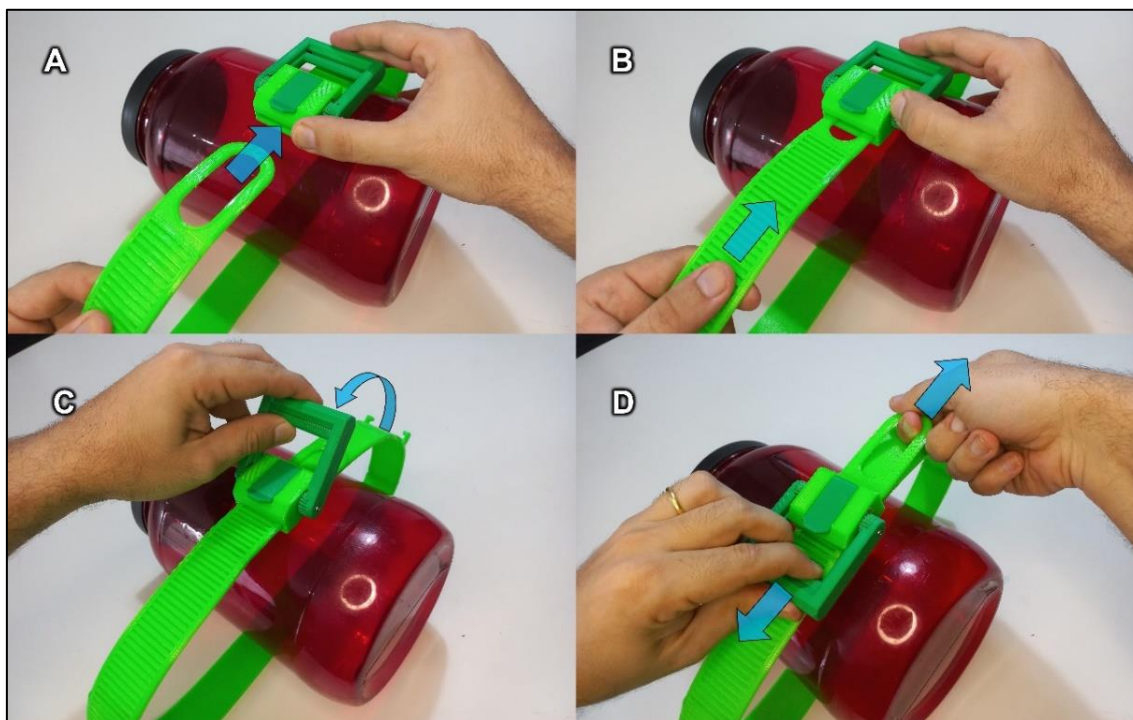


Figura 50 - Sequência do procedimento de aplicação e aperto inicial. (A) e (B) a extremidade final da cinta é passada pela abertura da caixa da trava; (C) a alavanca é tracionada para o lado oposto; (D) com o acionamento da trava da catraca, a alavanca é utilizada como abertura de tração (mão esquerda) enquanto a mão contralateral traciona a abertura de tração da cinta.

Fonte: o Autor

A **figura 51** também ilustra o procedimento de aplicação e aperto inicial, porém com ênfase no manejo da trava da catraca, servindo como pega para tracionar, seguido do procedimento de acionamento da catraca para tração suplementar no sistema.

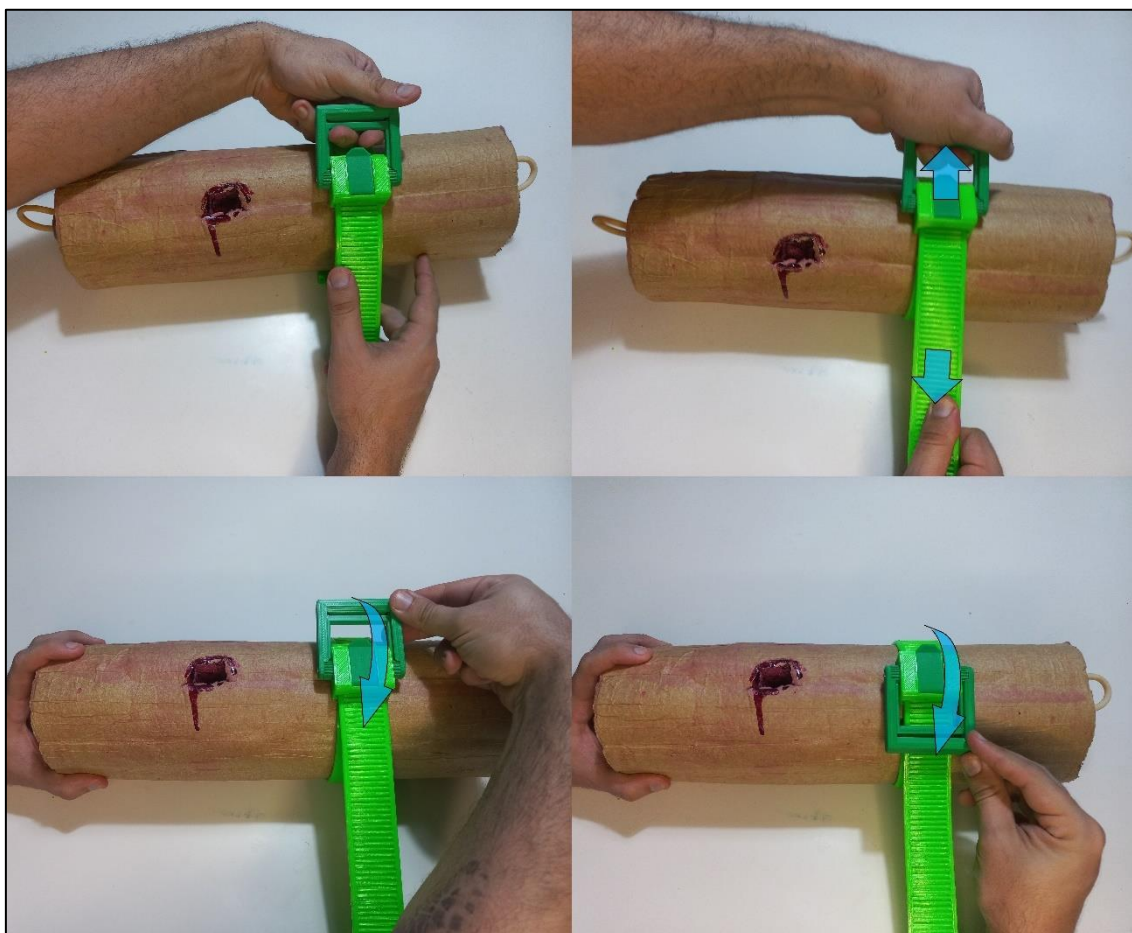


Figura 51 - Tração da fita pelo primeiro aperto (duas mãos) e pelo aperto final (acionando repetidamente a catraca pela alavanca).

Fonte: o Autor

O aperto final se dá por múltiplos acionamentos da alavanca de tração. Quando a alavanca é levada em direção à abertura da caixa da trava, a engrenagem interna roda e traciona a cinta através dos sulcos da cremalheira da cinta.

A figura 52 detalha o procedimento de aperto final.

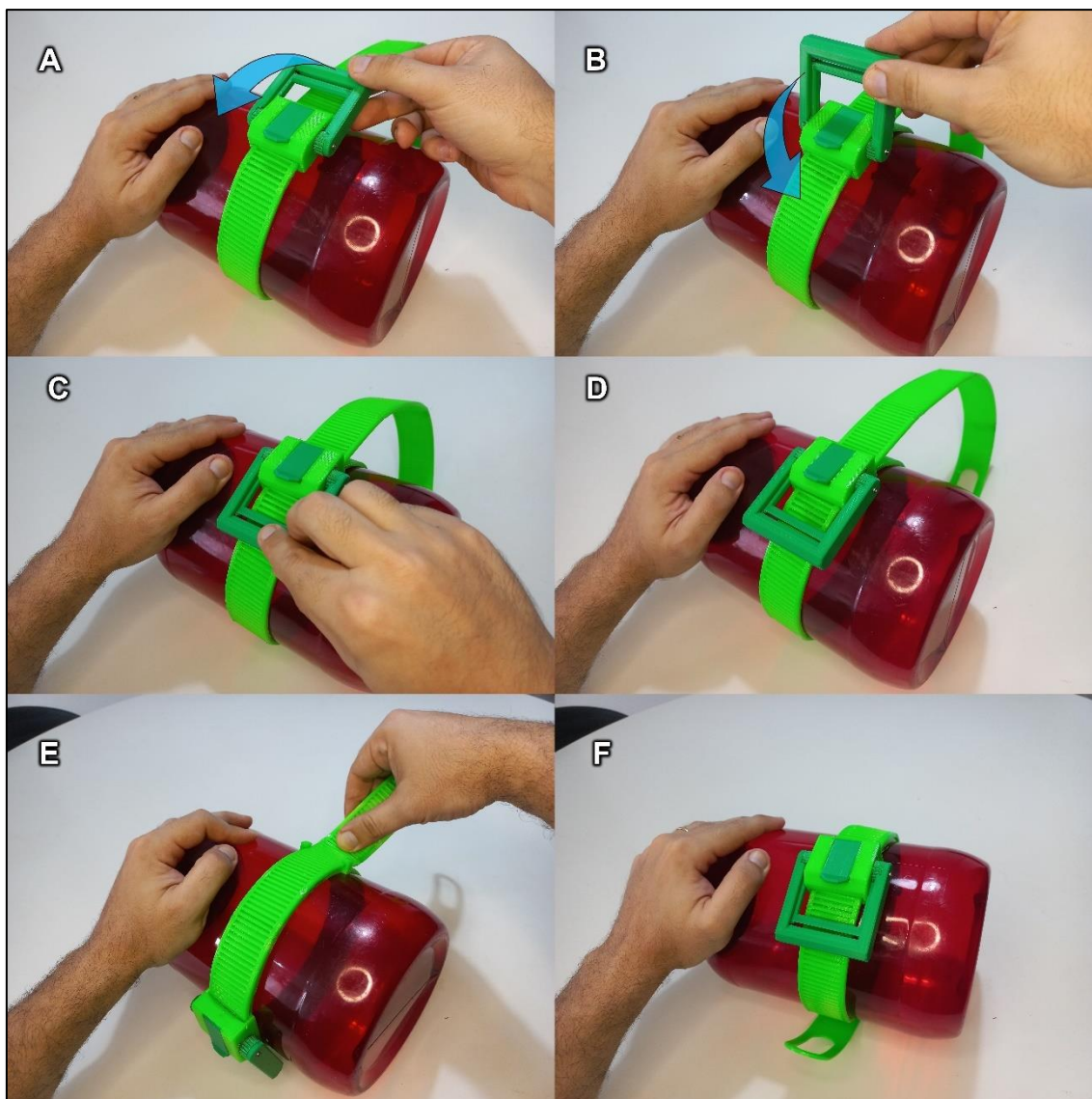


Figura 52 - Sequência do procedimento de aperto final.

(A), (B) e (C) a alavanca é acionada múltiplas vezes, promovendo tracionamento da cinta, apertando toda vez que é trazida no sentido representado em (A); (D) aperto final aplicado; (E) a extremidade da cinta é presa pelos fixadores; (F) TQ aplicado.

Fonte: o Autor

O alívio do sistema de trava, utilizado para remoção do dispositivo ou para reposicionamentos, requer o uso de duas mãos e o acionamento simultâneo da trava principal em soltura e da trava da catraca.

A **figura 53** mostra detalhes sobre o procedimento de alívio da trava e soltura do dispositivo.

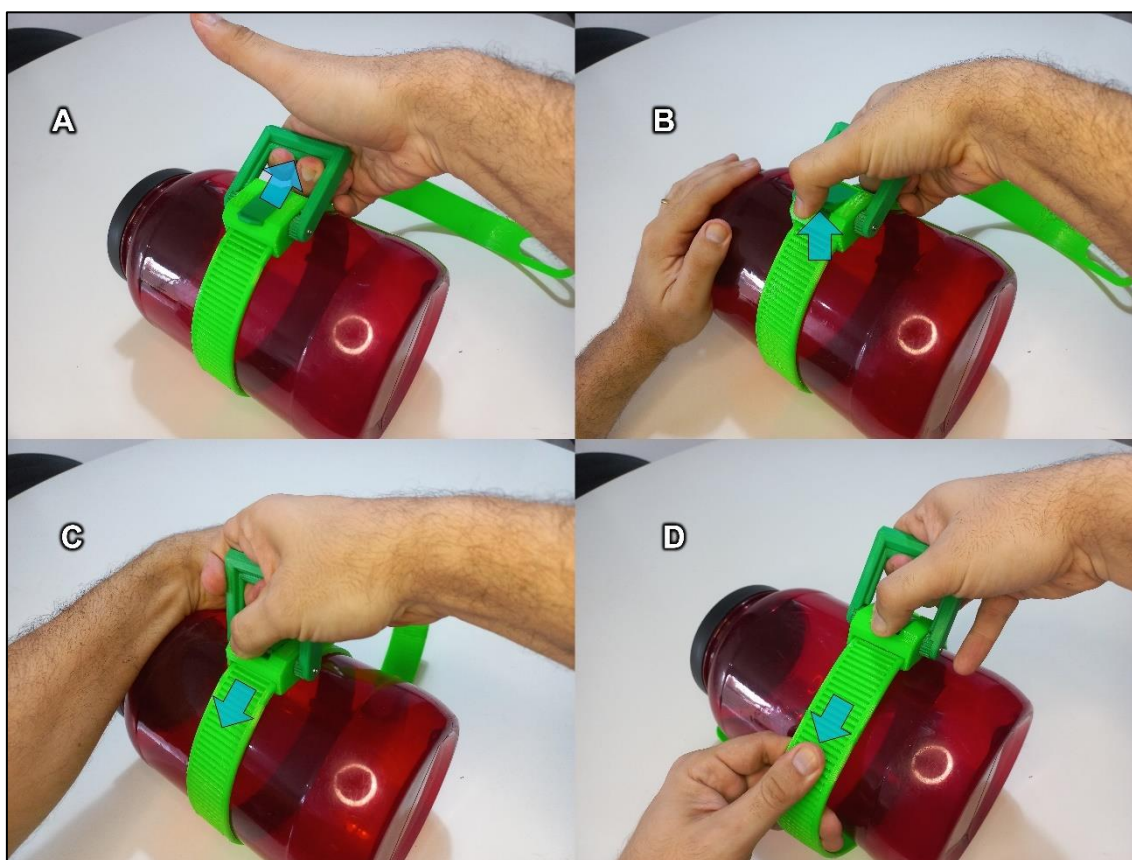


Figura 53 - Sequência do procedimento de alívio e soltura.

(A) é acionada a trava da catraca; (B) com o polegar é acionada a trava principal no sentido de soltura; (C) a outra mão puxa a extremidade da cinta de volta para a caixa da trava; (D) a outra mão puxa a cinta na porção anterior à abertura da caixa da trava.

Fonte: o Autor

Esses procedimentos foram desenvolvidos para serem empregados nas aplicações do TQ pelas técnicas com uma (autoaplicação) e com duas mãos (autoaplicação em membros inferiores e em outras vítimas).

A **figura 54** ilustra a sequência de autoaplicação em membro superior.

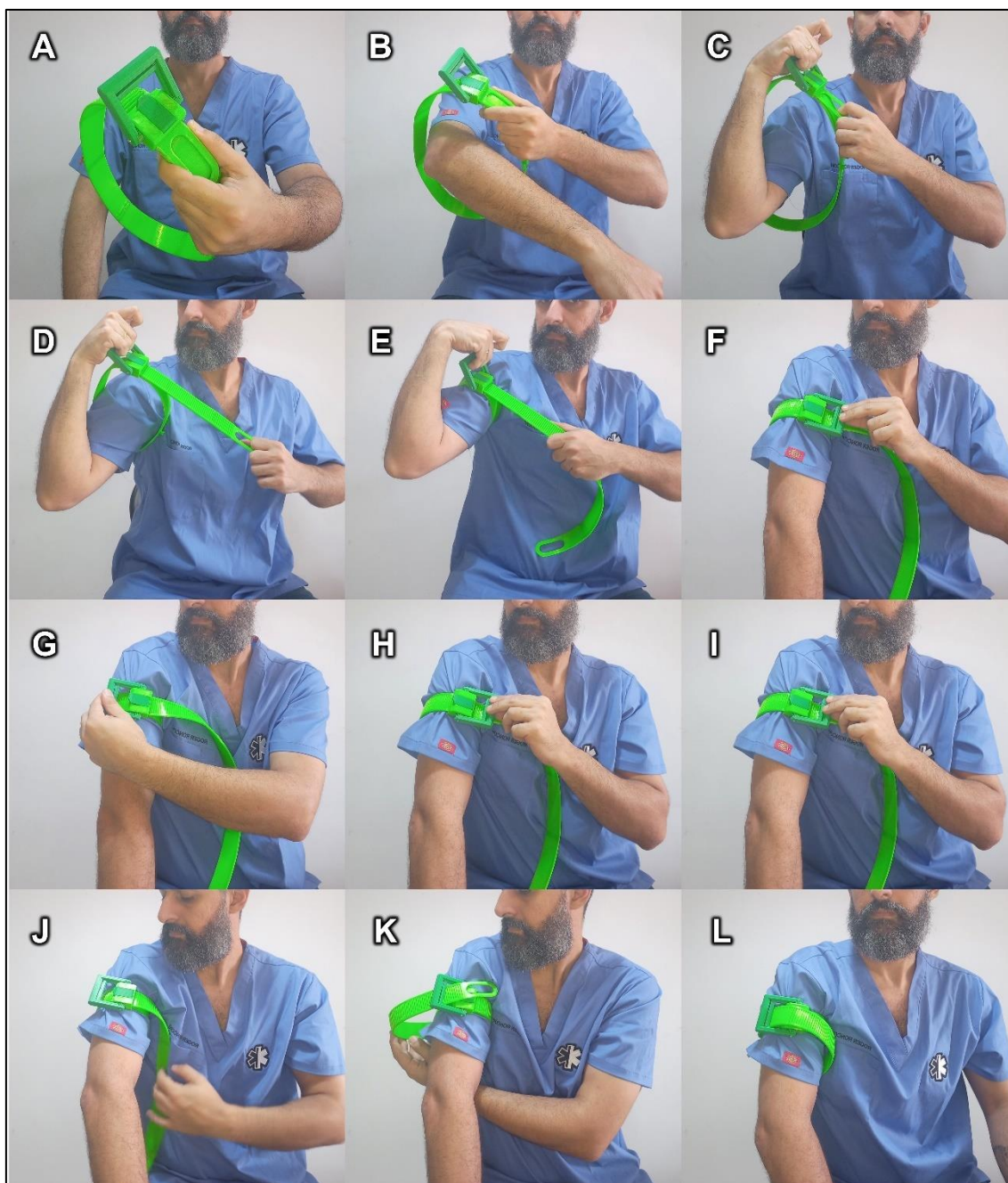


Figura 54 - Sequência da autoaplicação.

(A) TQ na posição “fechado”; (B) é passado pela extremidade do membro superior; (C) e (D) a mão homolateral ao membro afetado aciona a trava da catraca e traciona a alavanca, enquanto a mão contralateral traciona a abertura da extremidade da cinta; (E) são aplicadas trações até que não ocorra mais aperto; (F), (G), (H) e (I) o sistema de catraca é acionado múltiplas vezes até o aperto final; (J) o que sobrou da extremidade da cinta é passado em torno do membro; (K) a extremidade é passada por dentro da alavanca; (L) TQ aplicado.

Fonte: o Autor

Já a **figura 55** ilustra a aplicação em membro inferior com as duas mãos.



Figura 55 - Sequência da autoaplicação com duas mãos.

(A) TQ na posição "aberto"; (B) e (C) a extremidade é passada pela abertura da caixa da trava; (D) e (E) uma das mãos aciona a trava da catraca e traciona a alavanca, enquanto a outra traciona a abertura da extremidade final da cinta; (F) são feitas trações até o máximo aperto; (G), (H), (I) e (J) são feitos múltiplos acionamentos do sistema de catraca através da movimentação da alavanca; (K) o que sobrou da extremidade da cinta é preso no fixador; (L) TQ aplicado.

Fonte: o Autor

5.10 Ajustes finais de peças do segundo protótipo

O projeto das novas peças adicionou dentes à engrenagem central e promoveu inclinação dos mesmos, em angulação próxima à dos sulcos da cremalheira da cinta, conforme ilustrado na **figura 56**.

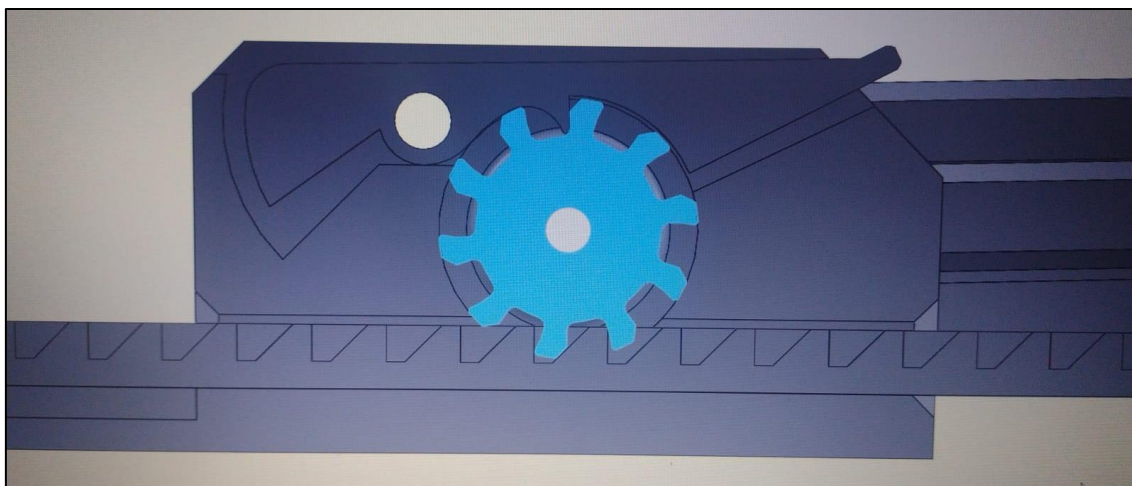


Figura 56 - Visão lateral da Caixa da trava, com a nova engrenagem interna e seus dentes angulados para melhor encaixe na cremalheira da cinta.

Fonte: o Autor

As novas peças produzidas para maior resistência do sistema de tração do segundo protótipo estão na **figura 57**.



Figura 57 – As 3 peças novas, impressas em PETG XT.

Fonte: o Autor

As peças novas montadas no dispositivo aparecem na **figura 58**.

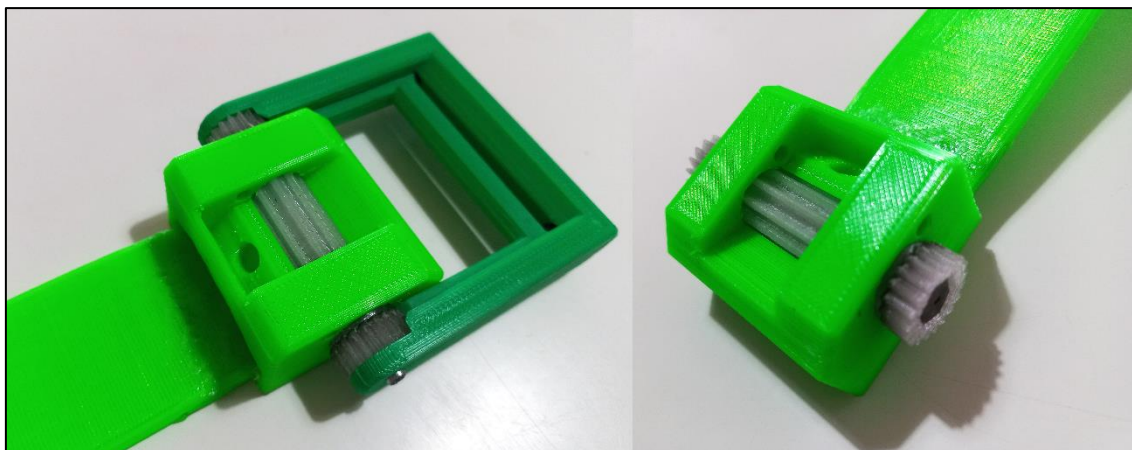


Figura 58 – As novas peças instaladas no segundo protótipo.
Fonte: o Autor

5.11 Identidade visual do novo dispositivo

O novo dispositivo foi designado “Torniquete Rápido” (TR), que visa uma aplicação rápida e intuitiva, cuja versão final e de uso real deveria ser construída preferencialmente em uma única peça e em um único material plástico, preferencialmente dotado de “alma” metálica ou similar. A identidade visual provisória, criada para personalizar e identificar o dispositivo, está representada na **figura 59**.



Figura 59 - Identidade visual provisória do dispositivo designado como “Torniquete Rápido” (TR) e suas duas versões.
Fonte: o Autor.

A identidade visual aplicada ao dispositivo está representada na **figura 60**.

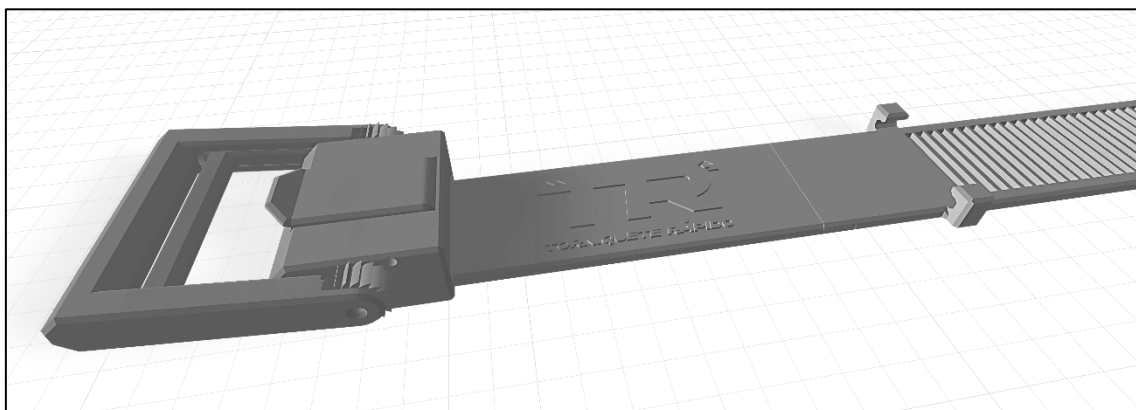


Figura 60 – Dispositivo com a identidade visual.

Fonte: o Autor.

Como no primeiro modelo, foram propostas padronizações de cores, em virtude da função ou aplicabilidade, empregando-se uma cor de alta visibilidade (verde), uma cor de baixa visibilidade (cinza) e uma cor para treinamento (azul), e foi aplicada a identidade visual para visão geral de como seria disposta, conforme **figura 61**.



Figura 61 - Padrões de cor do novo protótipo do TR com a identidade visual, sendo alta visibilidade em verde-limão, baixa visibilidade em cinza e treinamento em azul.

Fonte: o Autor

6. DISCUSSÃO

6.1 Um dispositivo minimalista

A proposta de se desenvolver um TQ de peça única, em único material, visa facilitar o processo produtivo, bem como estimular o desenvolvimento de um design minimalista para o equipamento. Aproximar os resultados a essa proposta foram os desafios principais deste trabalho.

O projeto de um torniquete mais simples que a maioria disponível no mercado, em termos de material e morfologia, conduziu o desenvolvimento do dispositivo deste projeto, inicialmente, em direção à base de uma braçadeira plástica, em que não é empregada uma haste de torção.

Nesse caso, a tração da extremidade da cinta através de um passador com trava unidirecional é que resulta na compressão circunferencial, conforme ilustrado na **figura 62**.

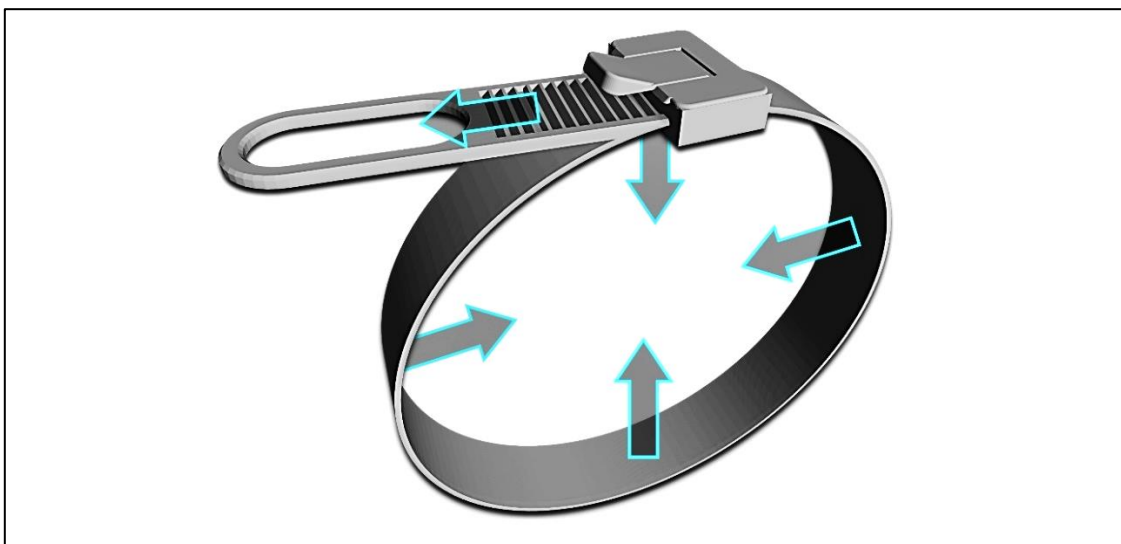


Figura 62 - Compressão circunferencial em razão da tração da extremidade da fita ou cinta, que passa por dentro de uma caixa com sistema de trava.

Fonte: o Autor.

Nesse modelo, a tensão de tração, aplicada na cinta do dispositivo, faz com que ela aumente seu curso através de um sistema de travamento

unidirecional e a redução do comprimento útil da cinta (que envolve o membro) reduz a seção transversal ocupada pelo membro, gerando sua compressão.

Embora TQ-C com haste tenham resultados geralmente melhores (69), sua produção envolve um número maior de materiais e processos (18,121), ocupa um maior volume e tornam-se menos intuitivos para uso do público leigo ou pouco treinado (94).

Além disso, os TQ-C surgiram de experiências militares e sua aplicação, seja civil ou militar, envolve ambientes agressivos, que podem incluir umidade, poeira, sujeira, lama, chuva, radiação solar, calor e frio, água doce e salgada, atrito e outras forças mecânicas, entre outros fatores.

A complexidade do projeto e do número de materiais empregados influencia no comportamento do dispositivo em termos de cenário de aplicação. Por essa razão, seu projeto precisa considerar design e materiais que possam resistir ao emprego em operações especiais (35,122,123).

O projeto do TR baseado na aplicação do mínimo de elementos constituintes e o mínimo de materiais empregados visa um equipamento adequado a todos os tipos de cenários de utilização. A resistência de materiais empregados, para resistir às características supracitadas, é um tema a ser abordado mais à frente no processo de desenvolvimento, quando fossem definidas as fases de produção do dispositivo final.

É necessário que, no caso de o dispositivo atingir uma fase de desenvolvimento final para produção, se faça avaliação e quantificação das tensões mecânicas às quais o material deve ser exposto, para que, através da escolha do material mais adequado, se garanta sua atuação dentro de um regime elástico.

Um dispositivo minimalista pode fornecer, inclusive, mais condições de uso pelo público leigo e menos treinado e aumentar o sucesso da aplicação (62), possibilitando maior agilidade na abordagem de uma hemorragia que ameaça a vida de uma vítima (11,62,122,124).

6.2 Usabilidade e tempo de aplicação

No ambiente civil, infelizmente, os torniquetes são geralmente aplicados fora da melhor janela de oportunidade para controle de hemorragias exsanguinantes. E esse é um motivo importante para se desenvolver dispositivos minimalistas e mais intuitivos e de mecanismos simplificados.

Há evidências de que até os socorristas leigos são capazes de aplicação de TQ-C e, com mínimo treinamento, aumentar muito o sucesso da aplicação (62). Não apenas o tempo que se demora a iniciar o controle de uma hemorragia é importante. O tempo de aplicação que os modelos de TQ-C exigem também é uma variável de extrema importância, principalmente no ambiente tático e nos cenários de confronto (11,62,122,124).

O TQ em formato similar a uma braçadeira plástica se propõe a atender a essa demanda, oferecendo praticidade e agilidade na aplicação, embora com mais vistas ao cenário civil e ao uso por profissionais da área de emergência e resgate.

Os TQ-C mais simples e intuitivos facilitam o treinamento, a operação e possibilitam resultados melhores na aplicação por pessoas com menos conhecimentos e habilidades, inclusive o leigo (23,68,94). Nesse sentido, o TR se mostrou promissor em sua morfologia minimalista.

Quanto ao tempo de aplicação, o modelo de TQ-C mais difundido mundialmente, o *C-A-T*, que costuma ser o TQ-C mais rápido (113) leva em média, aproximadamente, 2,5 a 5,5 segundos para removê-lo do bolso e mais 40 a 60 segundos para aplicar (114).

Em estudo comparativo entre cinco modelos de TQ, sendo quatro TQ-C e um TQ-I, foi utilizado um simulador com fluido e pressão fisiológica, com representação de uma lesão por explosão e amputação transfemoral. Foram verificados os tempos para controlar o sangramento e travar os dispositivos, bem como surgimento de condições de ressangramento. Os TQ com haste de torção consomem, em média, aproximadamente 30 segundos para aplicação e o TQ elástico consomem até 60 segundos. Quando comparados estatisticamente, não

foram observadas diferenças significativas no tempo para parar o sangramento e nem nos tempos de aplicação (127).

Estudos de simulação e testes de eficácia de TQ, em voluntários militares e manequins foram realizados, mas não há estudos amplos de comparação entre modelos de TQ-C ou entre TQ-C e TQ-I. Testes simulados com o TQ-C modelo *C-A-T* mostraram sucesso de aplicação em 92% dos voluntários, com tempo médio de oclusão arterial de 37,5 segundos (62). Alguns estudos sugerem que o *C-A-T* tem, inclusive, melhor resultado de oclusão (128), muito possivelmente relacionados ao seu design de uso mais intuitivo e mais prático do que o *SOFTT* (126).

A variável tempo pode ser estudada quanto ao tempo de aplicação do dispositivo (que envolve desde o seu saque até o final do aperto), bem como quanto ao tempo de oclusão (que se refere ao tempo gasto no aperto final).

Existem muitos torniquetes comercialmente disponíveis, mas nenhuma evidência concreta de simulação e comparação de tempos de aplicação e de oclusão (62). Isso provavelmente ocorre pela dificuldade de se afirmar sobre o tempo de aplicação, dada a variabilidade de cenário, equipamentos, tipo de vestuário ou uniforme, bem como tipo de bolso, mochila ou kits de primeiros socorros, onde incluem-se os de parede.

O primeiro protótipo do TR, em termos de tempo de aplicação, levando-se em consideração a limitação de que os materiais empregados não são os de um possível dispositivo final, apresentou tempo de aplicação bom e dentro dos padrões esperados. Porém, não foram desenvolvidos protocolos de avaliação do tempo, já que não é possível avaliar a oclusão a partir do protótipo e por conta de o material não resistir a múltiplas aplicações no limite da sua resistência.

Avaliações efetivas de tempo de aplicação requerem versões mais adiantadas no processo de produção, com resistência dos materiais mais próxima ou igual a dos materiais de possíveis versões finais. Por outro lado, a usabilidade do formado braçadeira é clara, permitindo facilidade de uso tanto por profissionais, quanto por pessoas com mínimo de treinamento.

6.3 Manuseio e técnicas de aplicação específicas ao primeiro modelo do TR

Durante os testes de acondicionamento, que visam verificar possibilidades de dobrar ou enrolar o dispositivo, imaginando formas de emprego em equipamentos e “porta-torniquetes”, houve um problema estrutural no protótipo. Ao dobrar o TQ as junções das partes do protótipo começaram a romper.

Nesse caso, considerando a resistência do material do protótipo, inferior e com estrutura diferente de uma possível versão final, o dispositivo não foi levado ao limite da flexibilidade, de modo a ser possíveis outros métodos de acondicionamento e redução do espaço ocupado, característica indispensável de um TQ para emprego em APH, principalmente em APH tático e operações especiais.

Foram feitos testes através de aplicação “alto e apertado”, utilizando-se apenas uma das mãos (técnica de autoaplicação que envolve dificuldades importantes no manejo do dispositivo), para desenvolvimento de técnica mais adequada.

A técnica “alto e apertado” foi escolhida por ser a mais recomendada pelas diretrizes (7,9,56,129) e que envolve a aplicação em membro superior e inferior, utilizando uma ou duas mãos.

A autoaplicação de TQ em membro superior é uma técnica empregada para controle de hemorragias em si próprio, em membros superiores (MMSS) e representa a maior dificuldade no uso de um TQ. Requer habilidades com o uso de apenas uma das mãos, contralateral ao membro afetado, bem como familiaridade com o modelo do dispositivo utilizado. Tal técnica é muito ensinada no APH tático, por conta de grande número de lesões em MMSS nos profissionais de segurança pública, feridos em combate (98).

O protótipo do primeiro modelo do TR apresentou importante dificuldade nessa técnica. Isso ocorreu por conta de o dispositivo rodar no membro ao ajuste inicial. Seria necessário um método de aplicação (treinamento

prévio), com adaptação, e a oclusão arterial poderia ser prejudicada por não conseguir atingir pressões ideais.

Tal dificuldade não é exclusiva desse modelo, presente em alguns equipamentos conhecidos (121,126). Alguns fabricantes já desenvolveram melhorias em seus dispositivos, por conta dessa dificuldade, e uma solução encontrada foi a adoção e aplicação de superfície emborrachada na parte interna (em contato com o membro), aumentando a aderência do dispositivo.

Uma solução possível, na aplicação do primeiro modelo, é a utilização da mão do lado afetado (quando possível), bem como o apoio em estruturas ou em membros inferiores (MMII), conforme ilustra a **figura 63**.

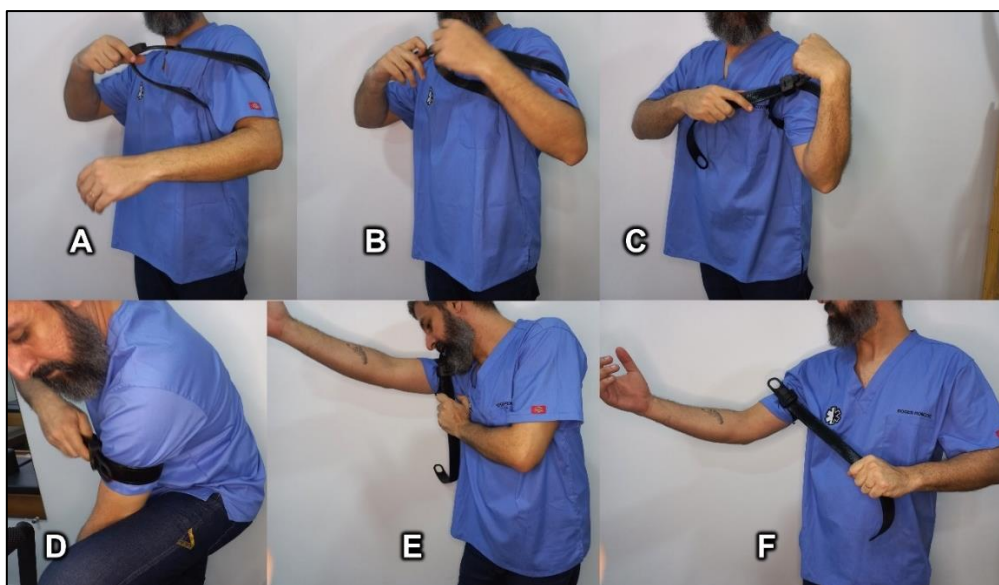


Figura 63 - Técnica de aplicação em si próprio (auto-aplicação) e as dificuldades de fixação, com a necessidade de adaptações no método de emprego do primeiro protótipo do TR.

(A) O TQ roda ao tentar a fixação inicial, sem que a fita deslize pela catraca; (B e C) a exigência de uso das duas mãos, incluindo a do lado afetado quando possível; (D) uso dos MMII para apoiar e pressionar o dispositivo, sendo que a imagem mostra um momento posterior, já que a técnica propõe pressionar o membro inferior contra o dispositivo; (E) a utilização de apoio em estruturas (parede) e dos dentes para fixar alguma parte do dispositivo; (F) a tentativa de adicionar mais pressão tracionando a fita mais vezes.

Fonte: o Autor.

Como já foi abordado, cada modelo de dispositivo tem características próprias e requerem técnicas de uso específicas (35). Alguns operadores adaptam modelos consagrados que apresentam esse problema (entre outros

problemas), através do uso com a boca e os dentes, prendendo alguma parte do dispositivo ou prendendo um cordelete amarrado ao dispositivo e mordendo o cordelete. O treinamento é o que faz a grande diferença, quando se utiliza um dispositivo familiar e com o qual já se desenvolveu habilidades (23).

Foram feitas também aplicações com as duas mãos (técnica utilizada quando o socorrista aplica em outra pessoa e é relativamente mais fácil quanto ao manejo), utilizando o primeiro protótipo, e o resultado foi satisfatório.

A aplicação de TQ com o uso de duas mãos é uma técnica mais empregada por socorristas que atendem outras pessoas, como no caso de socorristas atendendo uma vítima de trauma. Isso tornou o projeto bastante viável para emprego em APH convencional e civil, serviço que requer uma quantidade maior de materiais disponíveis.

No primeiro protótipo do TR, o aperto inicial e o aperto final consistem em um mesmo movimento de aplicação. Os dois tipos de aperto só se diferenciam no caso de o operador do dispositivo puxar a extremidade até um primeiro aperto e, na sequência, (seja pela exigência da segurança do ambiente ou por verificar que não foi suficiente) tracionar mais a fita pela trava em busca de maiores valores de pressão.

Durante os testes de viabilidade e manejo do primeiro modelo, mesmo sem instrumentação e medições de valores pressóricos, observou-se que a capacidade de compressão do dispositivo poderia ser insuficiente, principalmente na autoaplicação com uma das mãos.

A velocidade e a facilidade de aplicação do primeiro protótipo foram promissoras, mas o primeiro modelo prototipado não foi capaz de manter as máximas pressões produzidas pela tração.

Por conta do material utilizado e da configuração de trava e profundidade dos sulcos da cremalheira, surgiu uma demanda de investigação com um material mais próximo do que seria empregado em modelo final, além de melhorias nesses aspectos. Uma possibilidade seria a inclusão de algum sistema de vantagem mecânica, com vistas a aumentar a capacidade de tração da cinta do TQ, seja por uma haste de torção, alavanca ou catraca.

A capacidade de atingir pressões ideais de oclusão arterial é uma necessidade para um dispositivo como esse. Produzir oclusões parciais pode não controlar o sangramento (109,111) e gerar complicações como síndrome compartimental (101).

Sabe-se que os TQ com haste de torção se mostram superiores aos que não a possuem (62), como é o caso do primeiro modelo desenvolvido. A dificuldade do dispositivo em se tracionar a fita do TQ, suficientemente para produzir compressões ideais, conduziu este trabalho ao desenvolvimento do segundo modelo protótipo do TR, com a adição de um sistema de vantagem mecânica.

6.4 Modelo com catraca e vantagem mecânica (segundo modelo do TR)

Foi projetado um novo modelo do TR, agora com um sistema de vantagem mecânica, tendo sido empregado um sistema de catraca, que resultou não apenas em uma nova constituição morfológica, como também em nova forma de aperto e de alívio do sistema. Esse foi concebido para que pudesse aumentar a compressão exercida pelo dispositivo, através da capacidade de se gerar mais tensão na cinta, durante o aperto final.

O novo modelo necessitou da inclusão de peças metálicas (o que não se pretendia no início), tendo sido incluídos parafusos e molas.

O design intuitivo foi ligeiramente prejudicado pela inserção do sistema de catraca e a necessidade de manejos específicos do dispositivo durante aplicação. Isso dificulta a aplicação por pessoas menos treinadas (23,94) no uso específico do modelo e aumenta a indicação desse projeto para uso em APH por profissionais do atendimento de emergência.

Entretanto, é possível melhorar as condições de uso intuitivo pela ergonomia informacional do produto, através de marcações utilizando cores,

setas e instruções objetivas, o que poderia ser realizado em fases de desenvolvimento final.

Nesse sistema de vantagem mecânica, que compreende uma alavanca inter-resistente, a força de potência (F_p) aplicada na extremidade da alavanca resulta em uma força de tração na cinta.

O sistema de catraca do segundo modelo reduziu de forma importante a dificuldade (ao menos nos testes de manuseio) de promover aperto final. Entretanto, exige o uso de duas mãos, mesmo na autoaplicação, o que gera uma limitação em um caso de amputação traumática de um membro superior. Porém, não é diferente de outros modelos que possam apresentar as mesmas limitações, já que o emprego desse tipo de dispositivo tem sempre limitações relacionadas com o tipo de lesão e circunstância (36).

O sistema de catraca permite o aumento da compressão do dispositivo e isso é óbvio, embora ainda qualitativo nesse trabalho (dado que o dispositivo é um protótipo com limitações estruturais).

Porém, a avaliação da compressão gerada por TQ-C é controversa. As tensões em manequins e simuladores de membros isolados dependem de como a resposta se compara à resposta em membros humanos.

Há uma lacuna de dados científicos sobre aplicação de compressão por TQ e uso de manequins e humanos (18), bem como métodos e técnicas de aferição adequados (11,102,110,130). Alguns autores utilizam doppler e oximetria de pulso para avaliar a oclusão vascular (108,131) e adaptações de manguitos de esfigmomanômetro para avaliar de forma indireta a compressão (11,19,130).

A vantagem mecânica de um TQ relaciona-se com o aperto final do dispositivo. Mas antes de se empregar os sistemas de vantagem mecânica, em que a haste de torção é o mais comum, a aplicação envolve o aperto inicial. Este último envolve diferenças significativas de mecanismos entre os modelos, variando entre a aplicação de velcro, atrito, passadores, travas ou a associação de mais de um elemento.

No caso do TR, o aperto inicial é feito pela tração das extremidades (da cinta e da trava da catraca) e o aperto final é feito pelo acionamento da alavanca. O travamento de ambos os movimentos de tração da cinta ocorre pela ação das engrenagens, da trava da catraca e da trava da caixa.

Há dados que sugerem que um TQ deve produzir, de aperto inicial, uma compressão de pelo menos 150mmHg (19998.3 Pa) e com recuo e deformação visíveis da pele (21). A exemplo, no modelo *C-A-T*, um giro de 180° na haste pode ser suficiente para atingir a oclusão arterial, gerando pressões entre 250 e 428mmHg (entre 33330.5 e 57061.81 Pa) em coxas de adultos normotensos (18).

Há relato de TQ que opera no modo pneumático, utilizando um balão para produzir oclusão arterial. Neste equipamento está descrito que a pressão máxima de operação é de 400 mmHg (53328.8 Pa), e seu funcionamento normalmente ocorre em 250 mmHg (33330.5 Pa) (132).

Além disso, a avaliação da distribuição da compressão pela área de contato da aplicação do TQ-C, que possibilita entender melhor o mecanismo de lesões secundárias à aplicação (19), também é representada em poucos estudos, principalmente comparando modelos.

Os TQ-C não elásticos promovem alterações de pressão clinicamente significativas (127), como alterações em função da tensão muscular e são capazes de atingir a oclusão (21,103,109), como já abordado. Mas não há muitos dados quanto aos níveis pressóricos em função do tempo (capacidade de manter a tensão) (20), características que ainda requerem estudos e simulações.

Durante os testes de viabilidade dos dois modelos, os dispositivos foram levados próximos ao máximo de suas capacidades compressivas, por terem sido geradas tensões próximas do máximo a que os materiais suportariam aparentemente, seja pela tração da cinta (primeiro modelo) ou pelo manejo da alavanca (segundo modelo).

Mas embora o modelo melhorado (segundo modelo) seja bastante promissor e bem mais efetivo na forma de aperto, ainda assim os protótipos

iniciais não permitem simulações de uso real em virtude das limitações da estrutura e de resistência dos materiais que os constituem.

Tais testes para serem mais assertivos na avaliação das tensões mecânicas e capacidades de oclusão vascular só poderiam ser conduzidos em fases finais de produção do dispositivo, o que gera uma demanda e perspectiva de pesquisas futuras em função da efetividade do TR para oclusão arterial, já que se baseia em modelo sem haste e com um sistema de vantagem mecânica bastante inovador.

6.5 Ajustes de peças do segundo protótipo

O novo modelo se mostrou superior ao primeiro na possibilidade de gerar pressões adicionais no aperto final, embora o protótipo físico, guardadas as limitações de materiais utilizados, teve dificuldade para produzir apertos como de equipamentos reais.

Ao tracionar a catraca muitas vezes ela atingia um ponto em que a engrenagem rodava, mas não tracionava a cinta. Para resolver ou reduzir o problema, foi impressa uma nova engrenagem com dentes mais alongados, no mesmo material da anterior, o que reduziu, mas não eliminou a limitação. Além disso, houve desgaste do material das engrenagens o que levou à produção dessas peças em novo material (PETG XT), mais resistente e com nova angulação e número de dentes na engrenagem.

Esse material foi desenvolvido para alcançar maior resistência mecânica e química, para aplicações de peças de elevado grau de uso e manipulação e foi implantado nesse projeto para permitir continuidade do manuseio e aumento da vida útil do protótipo.

Mesmo se tratando de um material mais resistente, ainda é um protótipo e não há como se comportar mecanicamente de forma similar a materiais de uso real e da constituição final de um dispositivo. A substituição

dessas peças permitiu que o dispositivo continuasse a ser estudado em seu manuseio.

6.6 Manuseio e técnicas de aplicação específicas ao segundo modelo do TR

O segundo modelo foi testado, da mesma forma que o primeiro, quanto ao seu manuseio, formato, acondicionamento, volume e em aplicações com uma e com as duas mãos.

Ao desenvolver as técnicas de aplicação e de alívio, foi observado que o dispositivo tem muito potencial na aplicação com duas mãos, apresentando facilidade e agilidade de uso.

Na aplicação com uma das mãos foi observada dificuldade em se exigir o uso da mão do lado afetado para prender o dispositivo. Como já discutido, não é uma limitação exclusiva do modelo e nem o torna inaplicável. Porém, sua aplicabilidade é reforçada para uso em APH convencional por profissionais de saúde e resgate que o utilizariam em vítimas, aplicando com as duas mãos.

6.7 Dimensões do TR

Os principais TQ-C com haste de torção (*C-A-T*, *SOFTT*) apresentam largura da fita de 38mm e o TQ-C elástico (*SWAT-T*) apresenta 104mm (103), de forma que a largura da fita deve ser pelo menos 20mm, para uma área de contato ideal (134).

A largura da fita é uma variável relevante, considerando que, em menores valores, ocorre maior pressão e isso pode ocasionar respostas diferentes em termos de lesão vásculo-nervosa secundária (135) e esse é um tema com demanda de novos estudos.

O TR equipamentos foi desenvolvido com a largura da fita principal na ordem de 38mm, similar aos principais disponíveis.

No que se refere ao comprimento da cinta, sua aplicação em situações de membros medianos se equipara aos principais modelos, condição refletida nas aplicações aberto e fechado.

O comprimento da fita é uma variável antropométrica importante (136), pois pode apresentar dificuldade de aplicação em membros com diâmetro acima da média. O TQ-C modelo C-A-T tem 925mm de comprimento (103).

Diâmetros menores de membros também representam uma questão a se considerar, como no caso de vítimas crianças. Em estudo com crianças entre 1 e 8 anos de idade, com aplicação do modelo C-A-T, observou-se resultados de eficiência similares aos de adultos (137).

A área logo após a placa de compressão do TQ deve ser projetada imaginando esse tipo de aplicação, evitando que o dispositivo tenha uma área rígida longa demais, prejudicando o contorno de membros com menores diâmetros. O TR, com cinta constituída em material flexível tende a não ter esse tipo de problema.

6.8 Trabalhos futuros e inclusão no mercado

O uso de C-TQ já foi amplamente estudado sabe-se que eles promovem alterações pressóricas clinicamente significativas (127), podendo atingir a oclusão vascular (20,101,107), conforme já discutido. Porém, durante muitos anos, o objetivo das pesquisas envolvendo TQ foi analisar o impacto de sua utilização em termos de mortalidade.

Além de seu impacto na mortalidade é importante avaliar os resultados após a aplicação dos dispositivos (11,19,21), incluindo outras características, como uso em crianças (72) e em segmentos de ossos duplos, como antebraços e pernas (18), bem como em termos de níveis de pressão por

tempo (capacidade de manter a compressão) (20). Esses temas ainda apresentam lacunas na literatura e requerem mais estudos e simulações.

Há uma necessidade de testes futuros que avaliem as pressões médias e máximas geradas pelo dispositivo nas aplicações com uma e duas mãos, bem como testes de eficácia de oclusão arterial do TR, que podem ser desenvolvidos através do auxílio de voluntários, manequins (138,139) e ecografia doppler (108).

Por conta de tais testes serem possíveis apenas com o material final da produção do dispositivo de uso real e isso envolver investimento na produção de milhares de unidades, essa fase ficou como possibilidade de continuidade do projeto de pesquisa e desenvolvimento.

Um dos problemas de implantação de TQ em sistemas de atendimento de emergência pré-hospitalar é o custo de aquisição, como ocorre com qualquer outro equipamento de uso nesse serviço. Se o processo produtivo desse tipo de material minimalista permitir um custo final viável, isso poderia possibilitar uma maior cobertura do sistema, facilitando a aquisição e disponibilidade de material. Porém, para estimativa de custos e estudos confiáveis de viabilidade é necessário que o projeto já esteja em fase final de produção.

E sobre novos dispositivos, muito tem sido produzido, como melhorias nas fivelas e integração dos sistemas de torque (140), uma caneta que pode servir como haste resistente para o TQ-I (141), marcador de tempo tipo caneta embutido na haste (142), indicador digital de pressão do manguito para TQ-pn (143), novos modelos de sistemas de aperto final, muitas vezes prejudicando até a portabilidade (144), novos mecanismos de tração sem haste, além de inserção de sistemas eletrônicos como registro do tempo de aplicação (145).

Seria útil o desenvolvimento de um TQ automatizado, seja por um sistema mecânico, hidráulico ou pneumático, em termos de mecanismo de aperto circunferencial, atuando simultaneamente com um sensor de pressão para monitorar o estresse mecânico aplicado, a fim de garantir a interrupção do

fluxo e, ao mesmo tempo, manter níveis de compressão que pudessem garantir a integridade dos tecidos biológicos.

A inserção de sensores e controles eletrônicos é uma melhoria viável no desenvolvimento de novos dispositivos, principalmente para uso em APH-C por profissionais de saúde e resgate.

7. CONCLUSÃO

O projeto do TR com sistema de alavanca e catraca, dispositivo pensado para ter um design minimalista e construído com poucas peças e pouca variação de material, se mostrou promissor na efetividade e formas de aplicação.

Seu mecanismo permite aplicações em APH convencional e em outras áreas como APH tático e de aventura, gerando uma demanda e perspectivas de pesquisas futuras em função de validação de sua efetividade para oclusão arterial, bem como comparação com outros dispositivos já disponíveis.

8. REFERÊNCIAS

1. Rothschild HR, Mathieson K. Effects of Tactical Emergency Casualty Care Training for Law Enforcement Officers. *Prehospital and Disaster Medicine*. 2018;33(5):495–500.
2. Bonk C, Weston BW, Davis C, Barron A, McCarty O, Hargarten S. Saving Lives with Tourniquets: A Review of Penetrating Injury Medical Examiner Cases. *Prehospital Emergency Care*. 2020;24(4):494–9.
3. Lima DS, Almeida YA da S, Cid DMC, Cardoso LC, Braga CS, Regis FG de L. Low-cost synthetic tourniquet training model. *Revista do Colegio Brasileiro de Cirurgioes*. 2019;46(6):1–5.
4. Holcomb JB, Butler FK RP. Hemorrhage Control Devices: Tourniquets and Hemostatic Dressings. *Bulletin of the American College of Surgeons*. 2015;100(1):66–77.
5. Scerbo MH, Holcomb JB, Taub E, Gates K, Love JD, Wade CE, et al. The trauma center is too late: Major limb trauma without a pre-hospital tourniquet has increased death from hemorrhagic shock. Vol. 83, *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*. 2017. 1165–1172 p.
6. CORREA, T. C., & Fonseca JPS. CONHECIMENTO DOS ENFERMEIROS INTRA-HOSPITALARES DE UM HOSPITAL PÚBLICO SOBRE ATENDIMENTO PRIMÁRIO DO TRAUMA: XABCDE.
7. NAEMT National Association of Emergency Medical Technicians Ninth Edition. PHTLS: Prehospital Trauma Life Support. 9th Ed. Burlington, MA: Jones & Bartlett Learning; 2018. 762.
8. Co-TCCC Committee on Tactical Combat Casualty Care. Tactical Combat Casualty Care (TCCC) Guidelines 2020. In: TCCC for Medical Personnel (TCCC-MP) [Internet]. 2020 [cited 2021 Dec 7]. p. 19. Available from: <https://learning-media.allogy.com/api/v1/pdf/237e56d8-ebc5-4a86-8b8a-70ea0489e8c2/contents>

9. Co-TECC Committee for Tactical Emergency Casualty Care. Tactical Emergency Casualty Care (TECC). In: Guidelines for BLS/ALS Medical Providers [Internet]. 2019 [cited 2021 Dec 7]. p. 17. Available from: https://www.c-tecc.org/images/4-2019_TECC_ALS_BLS_Guidelines_.pdf
10. Pellegrino JL, Charlton NP, Carlson JN, Flores GE, Goolsby CA, Hoover A v., et al. 2020 american heart association and american red cross focused update for first aid. *Circulation*. 2020.
11. Valliere MJ, Wall PL, Buising CM. From Pull to Pressure: Effects of Tourniquet Buckles and Straps. *J Am Coll Surg* [Internet]. 2018;227(3):332–45. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jamcollsurg.2018.06.005>
12. Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Protocolos de Intervenção para o SAMU 192 - Serviço de Atendimento Móvel de Urgência. In Brasília; 2016 [cited 2021 Dec 12]. p. 482. Available from: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/protocolo_suporte_basico_vida.pdf
13. McNickle AG, Fraser DR, Chestovich PJ, Kuhls DA, Fildes JJ. Effect of prehospital tourniquets on resuscitation in extremity arterial trauma. *Trauma Surgery and Acute Care Open*. 2019;4(1):1–4.
14. Teixeira PGR, Brown CVR, Emigh B, Long M, Foreman M, Eastridge B, et al. Civilian Prehospital Tourniquet Use Is Associated with Improved Survival in Patients with Peripheral Vascular Injury. *J Am Coll Surg*. 2018;226(5):769-776.e1.
15. Kragh JF, Dubick MA. Bleeding Control With Limb Tourniquet Use in the Wilderness Setting: Review of Science. *Wilderness and Environmental Medicine* [Internet]. 2017;28(2):S25–32. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wem.2016.11.006>
16. Kragh JF, Aden JK, Dubick MA. Interoperable Readiness to Use Tourniquets by One's Familiarity With Different Models. *J Spec Oper Med*. 2019;19(4).

17. Cornelissen MP, Brandwijk A, Schoonmade L, Giannakopoulos G, van Oostendorp S, Geeraedts L. The safety and efficacy of improvised tourniquets in life-threatening hemorrhage: a systematic review. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery* [Internet]. 2020;46(3):531–8. Available from: <https://doi.org/10.1007/s00068-019-01202-5>
18. Wall, Piper L.; Bruising, Charisse M; Sahar SM. Review: Getting tourniquets right = getting tourniquets tight. *J Spec Oper Med*. 2019;19(3):52–63.
19. Wall PL, Weasel J, Rometti M, Birkholz S, Gildemaster Y, Grulke L, et al. Pressures Under 3.8cm, 5.1cm, and Side-by-Side 3.8cm-Wide Tourniquets. *J Spec Oper Med*. 2016;16(2):28–35.
20. Rometti MRP, Wall PL, Buising CM, Gildemaster Y, Hopkins JW, Sahr SM. Significant Pressure Loss Occurs Under Tourniquets Within Minutes of Application. *J Spec Oper Med*. 2016;16(4):15–26.
21. Slaven SE, Wall PL, Rinker JH, Halub ME, Hopkins JW, Sahr SM, et al. Initial tourniquet pressure does not affect tourniquet arterial occlusion pressure. *J Spec Oper Med*. 2015;15(1):39–49.
22. Andrade EG, Hayes JM, Punch LJ. Stop the bleed: The impact of trauma first aid kits on post-training confidence among community members and medical professionals. *American Journal of Surgery* [Internet]. 2020;220(1):245–8. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2019.11.028>
23. Schroll R, Smith A, Martin MS, Zeoli T, Hoof M, Duchesne J, et al. Stop the Bleed Training: Rescuer Skills, Knowledge, and Attitudes of Hemorrhage Control Techniques. *Journal of Surgical Research* [Internet]. 2020;245:636–42. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jss.2019.08.011>
24. Nachman D, Dulce D, Wagnert-Avraham L, Gavish L, Mark N, Gerrasi R, et al. Assessment of the Efficacy and Safety of a Novel, Low-Cost,

- Junctional Tourniquet in a Porcine Model of Hemorrhagic Shock. In: *Military Medicine*. 2020.
25. Kragh JF, Swan KG, Smith DC, Mabry RL, Blackbourne LH. Historical review of emergency tourniquet use to stop bleeding. Vol. 203, *American Journal of Surgery*. 2012.
 26. Cornelius B, Campbell R, McGauly P. Tourniquets in Trauma Care: A Review of Application. *Journal of Trauma Nursing*. 2017;24(3):203–7.
 27. Hawk AJ. ArtiFacts: Jean Louis Petit's Screw Tourniquet. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 2016;474(12).
 28. Musmeche C. The Medical Lessons of War. *EMS World*. 2017;46(7).
 29. Caubère A, de Landevoisin ES, Schlienger G, Demoures T, Romanat P. Tactical tourniquet: Surgical management must be within 3 hours. *Trauma Case Reports*. 2019;22(July):100217.
 30. Cornelius B, Campbell R, McGauly P. Tourniquets in Trauma Care: A Review of Application. Vol. 24, *Journal of Trauma Nursing*. Lippincott Williams and Wilkins; 2017. p. 203–7.
 31. Cornelius B, Campbell R, McGauly P. Tourniquets in Trauma Care: A Review of Application. *Journal of Trauma Nursing*. 2017;24(3):203–7.
 32. McNickle AG, Fraser DR, Chestovich PJ, Kuhls DA, Fildes JJ. Effect of prehospital tourniquets on resuscitation in extremity arterial trauma. *Trauma Surgery and Acute Care Open*. 2019;4(1):1–4.
 33. Hawkins SC, Simon RB. Ten Myths about Medical Emergencies and Medical Kits. *Advances in Archaeological Practice*. 2021;9(1).
 34. Butler FK. Tactical Combat Casualty Care: Beginnings. Vol. 28, *Wilderness and Environmental Medicine*. 2017.
 35. Martinson J, Park H, Butler FK, Hammesfahr R, DuBose JJ, Scalea TM. Tourniquets USA: A Review of the Current Literature for Commercially Available Alternative Tourniquets for Use in the Prehospital Civilian

- Environment. Vol. 20, Journal of special operations medicine : a peer reviewed journal for SOF medical professionals. 2020.
36. Goodwin T, Moore KN, Pasley JD, Troncoso R, Levy MJ, Goolsby C. From the battlefield to main street: Tourniquet acceptance, use, and translation from the military to civilian settings. *J Trauma Acute Care Surg.* 2019;87(1S Suppl 1).
 37. A. S, A. Y, E.N. B, A. S, A. S, A. S, et al. Point of injury tourniquet application during Operation Protective Edge - What do we learn? *Journal of Trauma and Acute Care Surgery.* 2017;83(2).
 38. Barnard LM, Guan S, Zarmer L, Mills B, Blackwood J, Bulger E, et al. Prehospital tourniquet use: An evaluation of community application and outcome. In: *Journal of Trauma and Acute Care Surgery.* 2021.
 39. Eilertsen KA, Winberg M, Jeppesen E, Hval G, Wisborg T. Prehospital Tourniquets in Civilians: A Systematic Review. Vol. 36, *Prehospital and Disaster Medicine.* 2021.
 40. Ross EM, Redman TT, Mapp JG, Brown DJ, Tanaka K, Cooley CW, et al. Stop the Bleed: The Effect of Hemorrhage Control Education on Laypersons' Willingness to Respond During a Traumatic Medical Emergency. *Prehospital and Disaster Medicine.* 2018;33(2):127–32.
 41. Smith LA, Caughey S, Liu S, Villegas C, Kilaru M, Gupta A, et al. World trauma education: Hemorrhage control training for healthcare providers in India. *Trauma Surgery and Acute Care Open.* 2019;4(1):2018–20.
 42. Andrade EG, Hayes JM, Punch LJ. Stop the bleed: The impact of trauma first aid kits on post-training confidence among community members and medical professionals. *American Journal of Surgery.* 2020;220(1):245–8.
 43. Cornelissen MP, Brandwijk A, Schoonmade L, Giannakopoulos G, van Oostendorp S, Geeraedts L. The safety and efficacy of improvised tourniquets in life-threatening hemorrhage: a systematic review. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery.* 2020;46(3):531–8.

44. Smith LA, Caughey S, Liu S, Villegas C, Kilaru M, Gupta A, et al. World trauma education: Hemorrhage control training for healthcare providers in India. *Trauma Surgery and Acute Care Open*. 2019;4(1):2018–20.
45. Ross EM, Redman TT, Mapp JG, Brown DJ, Tanaka K, Cooley CW, et al. Stop the Bleed: The Effect of Hemorrhage Control Education on Laypersons' Willingness to Respond During a Traumatic Medical Emergency. *Prehospital and Disaster Medicine*. 2018;33(2):127–32.
46. Sarani B, Shapiro GL, Geracci JJ, Smith ER. Initial Care of Blast Injury: TCCC and TECC. Managing Dismounted Complex Blast Injuries in Military & Civilian Settings. 2018;15–27.
47. Rothschild HR, Mathieson K. Effects of Tactical Emergency Casualty Care Training for Law Enforcement Officers. *Prehospital and Disaster Medicine*. 2018;33(5):495–500.
48. Lima DS, Almeida YA da S, Cid DMC, Cardoso LC, Braga CS, Regis FG de L. Low-cost synthetic tourniquet training model. *Revista do Colegio Brasileiro de Cirurgioes*. 2019;46(6):1–5.
49. Nieto Caballero S, Sánchez-Arévalo Morato S, Steiner Sanko J, Pardo Ríos M. «Pit Crew» approach in prehospital trauma life support. *Atencion Primaria*. 2021;53(4):9–11.
50. Pellegrino L, Charlton NP, Hoover A V. DESTAQUES das Atualizações Direcionadas para Primeiros Socorros de 2020 da American Heart Association e da Cruz Vermelha Americana. 2020.
51. NATIONAL ASSOCIATION OF EMERGENCY MEDICAL TECHNICIANS. TCCC-MP Guidelines and Curriculum. <https://www.naemt.org/education/naemt-tccc/tccc-mp-guidelines-and-curriculum>. 2021.
52. Giebner SD. The Transition to the Committee on Tactical Combat Casualty Care. Vol. 28, *Wilderness and Environmental Medicine*. Elsevier Ltd; 2017. p. S18–24.

53. Greydanus DJ, Hassmann LL, Butler FK. Quality Assurance in Tactical Combat Casualty Care for Medical Personnel Training 16 April 2020. *J Spec Oper Med.* 2020;20(2).
54. Treager C, Lopachin T, Higgins S, Friedrich E, Stuart S. 334 A Comparison of Novel Tourniquet Designs. *Annals of Emergency Medicine.* 2020 Oct;76(4):S129.
55. Montgomery HR, Hammesfahr R, Fisher AD, Cain JS, Greydanus DJ, Butler FK, et al. 2019 Recommended Limb Tourniquets in Tactical Combat Casualty Care. *J Spec Oper Med.* 2019;19(4):27–50.
56. Defense Health Agency. Deployed Medicine. TCCC Guidelines. <https://www.deployedmedicine.com/content/40>. 2021.
57. Beaven A, Ballard M, Sellon E, Briard R, Parker PJ. The Combat Application Tourniquet Versus the Tactical Mechanical Tourniquet. *J Spec Oper Med.* 2018;18(3).
58. Kragh JF, Newton NJ, Tan AR, Aden JK, Dubick MA. New and Established Models of Limb Tourniquet Compared in Simulated First Aid. *J Spec Oper Med.* 2018;18(2).
59. Brasil. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária/Diretoria Colegiada. Instrução Normativa IN Nº 101, de 30 de AGOSTO de 2021 [Internet]. Vol. Nº 165, Imprensa Nacional. Diário Oficial. DOU de 31/08/21 . 2021 [cited 2021 Dec 12]. p. 121. Available from: http://www.cvs.saude.sp.gov.br/zip/U_IN-MS-ANVISA-101_300821.pdf
60. Brasil. Ministério da Saúde. Centro de Vigilância Sanitária. Produtos para Saúde [Internet]. [cited 2021 Dec 12]. Available from: http://www.cvs.saude.sp.gov.br/apresentacao.asp?te_codigo=3
61. Cremonini C, Nee N, Demarest M, Piccinini A, Minneti M, Canamar CP, et al. Evaluation of the efficacy of commercial and noncommercial tourniquets for extremity hemorrhage control in a perfused cadaver model. *J Trauma Acute Care Surg.* 2021;90(3).

62. Hay-David AGC, Herron JBT, Thurgood A, Whittle C, Mahmood A, Bodger O, et al. A Comparison of Improvised and Commercially Available Point-of-Wounding Tourniquets in Simulated Traumatic Amputation with Catastrophic Hemorrhage. *Military Medicine*. 2020;185(9–10).
63. 魏亚图. Research Progress on the Application of Pneumatic Tourniquet in Total Knee Arthroplasty. *Advances in Clinical Medicine*. 2021;11(04).
64. Elbadrawy RE, Aboelela MA. Gradual versus intermittent release of tourniquet in total knee arthroplasty surgery, effects on hemodynamics and acid base parameters: a prospective randomized controlled study. *Egyptian Journal of Anaesthesia*. 2021;37(1).
65. Hester A, Robinson C, Kinser R, Wall P, Hopman L. Increasing confidence in performance of non-pneumatic limb tourniquets. In: *ASTM Special Technical Publication*. 2019.
66. Schauer SG, April MD, Fisher AD, Cunningham CW, Gurney J. Junctional Tourniquet Use During Combat Operations in Afghanistan: The Prehospital Trauma Registry Experience. *J Spec Oper Med*. 2018;18(2).
67. Schauer SG, Naylor JF, Uhaa N, April MD, de Lorenzo RA. An Inventory of the Combat Medics' Aid Bag. *J Spec Oper Med*. 2020;20(1).
68. Flecha I, Naylor JF, Schauer SG, Curtis RA, Cunningham CW. Combat lifesaver-trained, first-responder application of junctional tourniquets: A prospective, randomized, crossover trial. *Mil Med Res*. 2018;5(1).
69. Altamirano MP, Kragh JF, Aden JK, Dubick MA. Role of the Windlass in Improvised Tourniquet Use on a Manikin Hemorrhage Model. *J Spec Oper Med*. 2015;15(2):42–6.
70. Zengin EÇ, Gülman B, Erdoğan M, Sezgin H, Çiraklı A, Pişkin A. The timing of tourniquet release in total knee arthroplasty and its influence on blood loss. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Tıp Dergisi*. 2012;29(2).

71. NORTH AMERICAN RESCUE. Combat Application Tourniquet (C-A-T) Tactical Black [Internet]. [cited 2022 Jan 9]. Available from: <https://www.narescue.com/combat-application-tourniquet-c-a-t.html>
72. TACMED SOLUTIONS. SOF® Tourniquet [Internet]. [cited 2022 Jan 9]. Available from: <https://tacmedsolutions.com/collections/medical-supplies/products/sof-tourniquet>
73. SAM MEDICAL. SAM XT Tourniquet [Internet]. [cited 2022 Jan 9]. Available from: <https://www.sammedical.com/products/sam-xt-tourniquet?variant=18625881342041>
74. SOS Survival Products. SWAT Tourniquet Tactical Black [Internet]. [cited 2022 Jan 9]. Available from: <https://www.sosproducts.com/SWAT-T-SWAT-Tourniquet-Tactical-Black-p/461056.htm>
75. DELFI MEDICAL. EMT Emergency & Military Tourniquet. Saving Lives in the Field [Internet]. [cited 2022 Jan 9]. Available from: <http://www.delfimedical.com/emergency-military-cuff/>
76. Smith AA, Ochoa JE, Wong S, Beatty S, Elder J, Guidry C, et al. Prehospital tourniquet use in penetrating extremity trauma: Decreased blood transfusions and limb complications. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*. 2019;86(1):44–51.
77. Kauvar DS, Dubick MA, Walters TJ, Kragh JF. Systematic review of prehospital tourniquet use in civilian limb trauma. Vol. 84, *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*. Lippincott Williams and Wilkins; 2018. p. 819–25.
78. Michelle H. Scerbo, MD, Jacob P. Mumm, MD, Keith Gates, MD, Joseph D. Love, DO, Charles E. Wade, PhD, John B. Holcomb, MD, and Bryan A. Cotton, MD M. Safety and Appropriateness of Tourniquets in 105 Civilians. *Prehosp Emerg Care*. 2016;20(6):712–22.
79. Beaucreux C, Vivien B, Miles E, Ausset S, Pasquier P. Application of tourniquet in civilian trauma: Systematic review of the literature. Vol. 37,

- Anaesthesia Critical Care and Pain Medicine. Elsevier Masson SAS; 2018. p. 597–606.
80. Scerbo MH, Holcomb JB, Taub E, Gates K, Love JD, Wade CE, et al. The trauma center is too late: Major limb trauma without a pre-hospital tourniquet has increased death from hemorrhagic shock. Vol. 83, *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*. 2017. 1165–1172 p.
 81. Valliere MJ, Wall PL, Buising CM. From Pull to Pressure: Effects of Tourniquet Buckles and Straps. *J Am Coll Surg*. 2018;227(3):332–45.
 82. Gibson R, Aden JK, Dubick MA, Kragh JF. Preliminary Comparison of Pneumatic Models of Tourniquet for Prehospital Control of Limb Bleeding in a Manikin Model. *J Spec Oper Med*. 2016;16(2):21–7.
 83. Kragh JF, Mabry RL, Parsons DL, Broussard DW, Aden JK, Dubick MA. Learning Curves of Emergency Tourniquet Use Exploring for Utility in Training. *J Spec Oper Med*. 2016;16(4):7–14.
 84. Schroll R, Smith A, Martin MS, Zeoli T, Hoof M, Duchesne J, et al. Stop the Bleed Training: Rescuer Skills, Knowledge, and Attitudes of Hemorrhage Control Techniques. *Journal of Surgical Research*. 2020;245:636–42.
 85. Piper L Wall, Charisse M Bruising, Lisa Grulke, Alexander Troester, Nicholas Bianchina, Shannon White, Rosemarie Freymark, Ali Hassan, James W Hopkins, Catherine Hackett Renner SMS. Effectiveness of pulse oximetry versus doppler for tourniquet monitoring. *J Spec Oper Med*. 2017;17(1):36–44.
 86. Kasem SA, Al Menesy T, Badawy AA, Abd Elmawgoud A, Adel G, Badawy YA. Comparison between two mathematical methods to estimate arterial occlusion pressure and tourniquet effectiveness in lower limb surgery: a prospective, randomized, double blind, comparative study. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*. 2020;34(4):675–81.
 87. Slaven SE, Wall PL, Rinker JH, Halub ME, Hopkins JW, Sahr SM, et al. Initial tourniquet pressure does not affect tourniquet arterial occlusion pressure. *J Spec Oper Med*. 2015;15(1):39–49.

88. Piper L Wall, Charisse M Bruising, Emma Hingtgen, Alex White JJ. Limb Position Change Affects Tourniquet Pressure. *J Spec Oper Med*. 2021;21(1):11–7.
89. Rometti MRP, Wall PL, Buising CM, Gildemaster Y, Hopkins JW, Sahr SM. Significant Pressure Loss Occurs Under Tourniquets Within Minutes of Application. *J Spec Oper Med*. 2016;16(4):15–26.
90. Wall PL, Weasel J, Rometti M, Birkholz S, Gildemaster Y, Grulke L, et al. Pressures Under 3.8cm, 5.1cm, and Side-by-Side 3.8cm-Wide Tourniquets. *J Spec Oper Med*. 2016;16(2):28–35.
91. Baruch EN, Kragh JF, Berg AL, Aden JK, Benov A, Shina A, et al. Confidence–Competence Mismatch and Reasons for Failure of Non-Medical Tourniquet Users. *Prehospital Emergency Care*. 2017 Jan 2;21(1):39–45.
92. Goralnick E, Chaudhary MA, McCarty JC, Caterson EJ, Goldberg SA, Herrera-Escobar JP, et al. Effectiveness of instructional interventions for hemorrhage control readiness for laypersons in the public access and tourniquet training study (PATTS) a randomized clinical trial. *JAMA Surgery*. 2018 Sep 1;153(9):791–9.
93. McCarty JC, Hashmi ZG, Herrera-Escobar JP, de Jager E, Chaudhary MA, Lipsitz SR, et al. Effectiveness of the American College of Surgeons Bleeding Control Basic Training among Laypeople Applying Different Tourniquet Types: A Randomized Clinical Trial. *JAMA Surgery*. 2019;154(10):923–9.
94. Dennis A, Bajani F, Schlanser V, Tatebe LC, Impens A, Ivkovic K, et al. Missing expectations: Windlass tourniquet use without formal training yields poor results. In: *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*. Lippincott Williams and Wilkins; 2019. p. 1096–103.
95. McCarty JC, Caterson EJ, Chaudhary MA, Herrera-Escobar JP, Hashmi ZG, Goldberg SA, et al. Can they stop the bleed? Evaluation of tourniquet

- application by individuals with varying levels of prior self-reported training. *Injury*. 2019 Jan 1;50(1):10–5.
96. Katsnelson S, Oppenheimer J, Gerrasi R, Furer A, Wagnert-Avraham L, Eisenkraft A, et al. Assessing the Current Generation of Tourniquets. *Military Medicine*. 2020;185(3–4).
 97. Harcke HT, Lawrence LL, Gripp EW, Kecskemethy HH, Kruse RW, Murphy SG. Adult tourniquet for use in school-age emergencies. *Pediatrics*. 2019;143(6).
 98. Kragh JF, Aden JK, Dubick MA. Deliberate Practice in Combat Application Tourniquet Placement by Loop Passage. *J Spec Oper Med*. 2019 Sep 1;19(3):45–50.
 99. Volkmar AJ, Day MA, Fleury IG, Lawler EA, Seering M, Caldwell LS. Safety and Efficacy of Forearm Tourniquet Compared to Upper Arm Tourniquet for Local Intravenous Regional Anesthesia in Hand Surgery: A Randomized Clinical Trial. *Iowa Orthop J*. 2021 Jan 1;41(1):177–81.
 100. Vaughn N, Rajan N, Darowish M. Intravenous Regional Anesthesia Using a Forearm Tourniquet: A Safe and Effective Technique for Outpatient Hand Procedures. *Hand*. 2020 May 1;15(3):353–9.
 101. Sabate-Ferris A, Pfister G, Boddaert G, Daban JL, de Rudnicki S, Caubere A, et al. Prolonged tactical tourniquet application for extremity combat injuries during war against terrorism in the Sahelian strip. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*. 2021;
 102. Wall PL, Coughlin O, Rometti M, Birkholz S, Gildemaster Y, Grulke L, et al. Tourniquet pressures: strap width and tensioning system widths. *J Spec Oper Med*. 2014;14(4).
 103. Wall PL, Duevel DC, Hassan MB, Welandar JD, Sahr SM, Busing CM. Tourniquets and occlusion: The pressure of design. *Military Medicine*. 2013 May;178(5):578–87.

104. Wall PL, Buising CM, Donovan S, McCarthy C, Smith K, Renner CH. Best Tourniquet Holding and Strap Pulling Technique. *J Spec Oper Med*. 2019;19(2).
105. Rohrich C, Plackett TP, Scholz BM, Hetzler MR. Proficiency in Improvised Tourniquets for Extremities: A Review. Vol. 19, *Journal of special operations medicine: a peer reviewed journal for SOF medical professionals*. NLM (Medline); 2019. p. 123–7.
106. Caubère A, de Landevoisin ES, Schlienger G, Demoures T, Romanat P. Tactical tourniquet: Surgical management must be within 3 hours. *Trauma Case Reports* [Internet]. 2019;22(July):100217. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.tcr.2019.100217>
107. Wall PL, Sahr SM, Buising CM. Different Width and Tightening System: Emergency Tourniquets on Distal Limb Segments. *J Spec Oper Med*. 2015 Dec 1;15(4):28–38.
108. Wall P, Buising C, Grulke L, Troester A, Bianchina N, White S, et al. Effectiveness of Pulse Oximetry Versus Doppler for Tourniquet Monitoring. Vol. 17, *Journal of Special Operations Medicine : a Peer Reviewed Journal for SOF Medical Professionals*. 2017. p. 36–44.
109. Tuncali B, Boya H, Kayhan Z, Arac S. Tourniquet pressure settings based on limb occlusion pressure determination or arterial occlusion pressure estimation in total knee arthroplasty? A prospective, randomized, double blind trial. *Acta Orthopaedica et Traumatologica Turcica*. 2018;52(4).
110. Tuncali B, Boya H, Kayhan Z, Araç Ş, ÇAmurdan MAK. Clinical utilization of arterial occlusion pressure estimation method in lower limb surgery: Effectiveness of tourniquet pressures. *Acta Orthopaedica et Traumatologica Turcica*. 2016;50(2):171–7.
111. Kasem SA, al Menesy T, Badawy AA, Abd Elmawgoud A, Adel G, Badawy YA. Comparison between two mathematical methods to estimate arterial occlusion pressure and tourniquet effectiveness in lower limb surgery: a

- prospective, randomized, double blind, comparative study. *J Clin Monit Comput.* 2020;34(4):675–81.
112. Wall PL, Duevel DC, Hassan MB, Welander JD, Sahr SM, Buising CM. Tourniquets and occlusion: The pressure of design. *Military Medicine.* 2013 May;178(5):578–87.
 113. DeWolf JT, Mazurek DF, P Beer F, Johnston JR ER. *Mecânica dos Materiais.* 8th ed. Porto Alegre: AMGH; 2021.
 114. Abdala MRWS. *Ciência e engenharia de materiais 4.* Ciência e engenharia de materiais 4. 2018.
 115. Lázaro SR, Ribeiro RAP, Lacerda LH da S. *TEORIA DO FUNCIONAL DA DENSIDADE E PROPRIEDADES DOS MATERIAIS. TEORIA DO FUNCIONAL DA DENSIDADE E PROPRIEDADES DOS MATERIAIS.* 2018.
 116. VARUSTELEKA Military and Outdoors Specialists. CAT Combat Application Tourniquet Gen 7. <https://www.varusteleka.com/en/product/cat-combat-application-tourniquet-gen-7/35895>. 2022.
 117. My Medic. SOF® TACTICAL TOURNIQUET. <https://mymedic.com/products/sof-tactical-tourniquet>. 2022.
 118. Rescue Essentials. SAM XT Tourniquet. <https://www.rescue-essentials.com/sam-xt-tourniquet/>. 2022.
 119. Sapesca. TORNQUETE T-APH COYOTE DESMODUS. <https://www.sapesca.com.br/torniquete-t-aph-coyote-desmodus>. 2022.
 120. Safe Combat. Torniquete SWAT-T. <https://www.safecombat.com.br/torniquete-swat-t>. 2022.
 121. Glick CY, Furer MA, Glassberg CE, Sharon R, Ankory MR. Comparison of Two Tourniquets on a Mid-Thigh Model: The Israeli Silicone Stretch and Wrap Tourniquet vs. the Combat Application Tourniquet. In: *Military Medicine.* Oxford University Press; 2018. p. 157–61.

122. McCarty JC, Hashmi ZG, Herrera-Escobar JP, de Jager E, Chaudhary MA, Lipsitz SR, et al. Effectiveness of the American College of Surgeons Bleeding Control Basic Training among Laypeople Applying Different Tourniquet Types: A Randomized Clinical Trial. *JAMA Surgery*. 2019 Oct 1;154(10):923–9.
123. Theodoridis CA, Kafka KE, Perez AM, Curlee JB, Yperman PCJ, Oppermann N, et al. Evaluation and Testing of Junctional Tourniquets by Special Operation Forces Personnel: A Comparison of the Combat Ready Clamp and the Junctional Emergency Treatment Tool. *J Spec Oper Med*. 2016;16(1).
124. Lutz N, Labrousse T, Borowko R, Lecurou A, Lefort H. The ABC's of the tactical tourniquet. *Revue de l'Infirmiere*. 2021 Aug 1;70(273):21–2.
125. Potac M, Humlicek V, Zdara J, Ruzicka M, Blazek P, Vankova J. Assessment of the tourniquets application time, effectiveness and simplicity. *Military Medical Science Letters (Vojenske Zdravotnicke Listy)*. 2021;90(3):137–45.
126. Treager C, Lopachin T, Mandichak S, Kinney B, Bohan M, Boboc M, et al. A comparison of efficacy, efficiency, and durability in novel tourniquet designs. *J Trauma Acute Care Surg*. 2021 Aug 1;91(2S Suppl 2):S139–45.
127. Hay-David AGC, Herron JBT, Thurgood A, Whittle C, Mahmood A, Bodger O, et al. A Comparison of Improvised and Commercially Available Point-of-Wounding Tourniquets in Simulated Traumatic Amputation with Catastrophic Hemorrhage. *Military Medicine*. 2020 Sep 1;185(9–10):E1536–41.
128. Ellis J, Morrow MM, Belau A, Sztajnkrzyer LS, Wood JN, Kummer T, et al. The Efficacy of Novel Commercial Tourniquet Designs for Extremity Hemorrhage Control: Implications for Spontaneous Responder Every Day Carry. *Prehospital and Disaster Medicine*. 2020 Jun 1;35(3):276–80.

129. Sarani B, Shapiro GL, Geracci JJ, Smith ER. Initial Care of Blast Injury: TCCC and TECC. Managing Dismounted Complex Blast Injuries in Military & Civilian Settings. 2018;15–27.
130. WALL 2021 Limb Position Change Affects Tourniquet Pressure.pdf.
131. Sanak T. An Evaluation Concerning Tourniquets Application in a Simulated Tactical Environment. Turkish Journal of Trauma and Emergency Surgery. 2017;
132. McEwen JA, Jameson M. Surgical Tourniquet Cuff System. Patent Number: US8721678B2. United States; 2009.
133. Wall PL, Sahr SM, Buising CM. Different Width and Tightening System: Emergency Tourniquets on Distal Limb Segments. J Spec Oper Med. 2015 Dec 1;15(4):28–38.
134. Rohrich C, Plackett TP, Scholz BM, Hetzler MR. Proficiency in Improvised Tourniquets for Extremities: A Review. Vol. 19, Journal of special operations medicine: a peer reviewed journal for SOF medical professionals. NLM (Medline); 2019. p. 123–7.
135. Wall PL, Sahr SM, Buising CM. Different Width and Tightening System: Emergency Tourniquets on Distal Limb Segments. J Spec Oper Med. 2015 Dec 1;15(4):28–38.
136. Çatma MF, Öztürk A. The effect of tourniquet type and thigh conicity on the length of hamstring autograft. Journal of Orthopaedic Surgery. 2018 Sep 1;26(3).
137. Kelly JR, Levy MJ, Reyes J, Anders J. Effectiveness of the combat application tourniquet for arterial occlusion in young children. Journal of Trauma and Acute Care Surgery. 2020 May 1;88(5):644–7.
138. Altamirano MP, Kragh JF, Aden JK, Dubick MA. Role of the Windlass in Improvised Tourniquet Use on a Manikin Hemorrhage Model. J Spec Oper Med. 2015 Jun 1;15(2):42–6.

139. Gibson R, Aden JK, Dubick MA, Kragh JF. Preliminary Comparison of Pneumatic Models of Tourniquet for Prehospital Control of Limb Bleeding in a Manikin Model. *J Spec Oper Med*. 2016;16(2):21–7.
140. Larson KP, Thompson JA, Doherty J. Support strap with integrated windlass tourniquet. Patent Number: US20210259395A1. United States; 2020.
141. Strattner C. Tourniquet Windlass Device. Patent Number: US20190216471A1. United States; 2019.
142. Hill MA. Windlass Tourniquet With Embedded Writing Implement. Patent Number: US20180168663A1. United States; 2016.
143. McEwen JA, Inkpen KB, Glinz KL, Jameson M. Emergency and military tourniquet for pre-hospital use. Patent Number: US6746470B2. United States; 2002.
144. 蕭德興. Pressure tourniquet. Patent Number: TWM602400U. Taiwan; 2020.
145. Dimino MJ, Dimino MC, Dimino A. Intuitively and rapidly applicable tourniquets. Patent Number: US10925617B2. 2021.