

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE- FURG
CURSO DE GESTÃO EM OPERAÇÕES E LOGÍSTICA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

NOME COMPLETO: PAULO CESAR DE ALMEIDA GARCEZ

TÍTULO: Processo de Análise Hierárquica (AHP) em apoio a decisão para aquisição
de um torniquete padrão para o CFN

PÓS-GRADUAÇÃO LATO SENSU

RIO DE JANEIRO, RJ

2024

TERMO DE AUTORIZAÇÃO DE USO E APROVAÇÃO

AUTOR PAULO CESAR DE ALMEIDA GARCEZ

**EMPREGO DO PROCESSO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA (AHP) EM APOIO A
DECISÃO PARA AQUISIÇÃO DE UM TORNIQUETE PADRÃO PARA O CFN**

Autorizo que o presente artigo científico apresentado ao Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* da FURG, como requisito parcial para obtenção do certificado de Especialista em Gestão de Operações e Logística, e aprovado pelos professores responsáveis pela orientação e sua aprovação, seja utilizado para pesquisas acadêmicas de outros participantes deste ou de outros cursos, afim de aprimorar o ambiente acadêmico e a discussão entorno das temáticas aqui propostas.

TÍTULO: PROCESSO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA (AHP) EM APOIO A DECISÃO PARA AQUISIÇÃO DE UM TORNIQUETE PADRÃO PARA O CFN.

AUTOR: PAULO CESAR DE ALMEIDA GARCEZ

ORIENTADOR: MARCELO ESCOBAR

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo selecionar o melhor modelo de torniquete para o uso padronizado pelo Corpo de Fuzileiros Navais (CFN), de modo solucionar a lacuna existente no que se refere principalmente aos primeiros socorros em combate. Utilizando o Processo de Análise Hierárquica (AHP), foi realizada uma análise multicritério considerando critérios e subcritérios, relacionadas a características e funcionamento dos torniquetes, que avaliam e classificam esses equipamentos. A implementação dessa metodologia objetiva fornecer uma base sólida de apoio a tomada de decisão, que possibilita uma melhor escolha do material militar, que garanta o acesso a equipamentos de alta qualidade, que atendam aos padrões internacionais de eficácia e segurança. Foram analisados cinco opções cada um com suas particularidades e desempenho específico em diversos critérios como eficiência, durabilidade, facilidade de aplicação, minimização de complicações e custo. Os resultados indicaram de maneira robusta que o torniquete Combat Application Tourniquet (CAT) é a melhor opção considerando todos os critérios analisados, vencendo com 48,2% as outras alternativas, destacando-se principalmente em termos de eficiência e facilidade de aplicação, seguido pelo Special Operations Forces Tactical Tourniquet (SOFTT-W) com 23,4% e o SAM Extremity Tourniquet (SAM-XT) com 13,7%.

PALAVRAS-CHAVE: Torniquete, Análise multicritério, AHP, Corpo de Fuzileiros Navais.

EMPREGO DO PROCESSO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA (AHP) EM APOIO A DECISÃO PARA AQUISIÇÃO DE UM TORNIQUETE PADRÃO PARA O

Paulo Cesar de Almeida Garcez

Declaro que sou autor(a)¹ deste Trabalho de Conclusão de Curso. Declaro também que o mesmo foi por mim elaborado e integralmente redigido, não tendo sido copiado ou extraído, seja parcial ou integralmente, de forma ilícita de nenhuma fonte além daquelas públicas consultadas e corretamente referenciadas ao longo do trabalho ou daqueles cujos dados resultaram de investigações empíricas por mim realizadas para fins de produção deste trabalho.

Assim, declaro, demonstrando minha plena consciência dos seus efeitos civis, penais e administrativos, e assumindo total responsabilidade caso se configure o crime de plágio ou violação aos direitos autorais. (Consulte a 3ª Cláusula, § 4º, do Contrato de Prestação de Serviços).

RESUMO - uso padronizado pelo Corpo de Fuzileiros Navais (CFN), de modo solucionar a lacuna existente no que se refere principalmente aos primeiros socorros em combate. Utilizando o Processo de Análise Hierárquica (AHP), foi realizada uma análise multicritério considerando critérios e subcritérios, relacionadas a características e funcionamento dos torniquetes, que avaliam e classificam esses equipamentos. A implementação dessa metodologia objetiva fornecer uma base sólida de apoio a tomada de decisão, que possibilita uma melhor escolha do material militar, que garanta o acesso a equipamentos de alta qualidade, que atendam aos padrões internacionais de eficácia e segurança. Foram analisados cinco opções cada um com suas particularidades e desempenho específico em diversos critérios como eficiência, durabilidade, facilidade de aplicação, minimização de complicações e custo. Os resultados indicaram de maneira robusta que o torniquete Combat Application Tourniquet (CAT) é a melhor opção considerando todos os critérios analisados, vencendo com 48,2% as outras alternativas, destacando-se principalmente em termos de eficiência e facilidade de aplicação, seguido pelo Special Operations Forces Tactical Tourniquet (SOFTT-W) com 23,4% e o SAM Extremity Tourniquet (SAM-XT) com 13,7%.

PALAVRAS-CHAVE: Torniquete, Análise multicritério, AHP, Corpo de Fuzileiros Navais.

1. INTRODUÇÃO

Os torniquetes são dispositivos médicos utilizados para controlar hemorragias severas em membros, sendo essenciais em contextos de emergência e combate. A história do uso de torniquetes remonta a tempos antigos, mas seu desenvolvimento e aplicação modernos começaram a ganhar destaque a partir das grandes guerras do século XX.

Durante a Primeira Guerra Mundial (WWI), o uso de torniquetes era comum, embora muitas vezes controverso devido ao risco de complicações como a gangrena. Os soldados frequentemente improvisavam com materiais disponíveis para estancar sangramentos, mas a falta de padronização e conhecimento adequado limitava a eficácia desses dispositivos (Holcomb et al., 2017). Na Segunda Guerra Mundial (WWII), a utilização de torniquetes evoluiu com a introdução de modelos mais avançados, porém, ainda havia uma hesitação significativa no seu uso devido ao receio de danos permanentes aos tecidos (Kragh et al., 2012).

O conflito no Vietnã marcou um ponto de inflexão no uso de torniquetes. O desenvolvimento da medicina de combate e o aumento do conhecimento sobre os benefícios dos torniquetes em situações de sangramento arterial massivo começaram a mudar as percepções negativas. A introdução de torniquetes de borracha foi uma tentativa de melhorar a eficácia e a segurança do dispositivo, mas ainda assim, o uso não era amplamente padronizado (Schwartz et al., 2009).

No século XXI, a experiência norte-americana em conflitos no Oriente Médio, como as guerras no Afeganistão e no Iraque, trouxe uma revolução no uso de torniquetes. Estudos e práticas emergentes durante esses conflitos mostraram que os torniquetes eram ferramentas indispensáveis para a sobrevivência em campo. O Comitê de Trauma do Colégio Americano de Cirurgiões, juntamente com o Exército dos Estados Unidos, revisou e implementou novas diretrizes para o uso de torniquetes, enfatizando sua importância na redução de mortes por hemorragia (Kragh et al., 2008).

O avanço das tecnologias médicas e o desenvolvimento de novos modelos de torniquetes, como o Combat Application Tourniquet (CAT), permitiram um uso mais

eficiente e seguro. Estes dispositivos foram projetados para serem aplicados com uma mão, permitindo que os soldados se auto aplicassem o torniquete em situações de emergência, aumentando significativamente as taxas de sobrevivência em campo (Beekley et al., 2008).

A eficácia dos torniquetes modernos foi amplamente demonstrada em estudos conduzidos pelo Exército dos Estados Unidos. Uma pesquisa realizada por Kragh et al. (2008) revelou que o uso adequado de torniquetes no campo de batalha reduziu a mortalidade por hemorragia de membros em até 85%. Essa mudança de paradigma no uso de torniquetes foi apoiada por treinamentos rigorosos e protocolos padronizados, assegurando que os soldados estivessem preparados para utilizar esses dispositivos de maneira eficaz.

A evolução e a importância dos torniquetes são evidentes quando analisamos sua trajetória desde a Primeira Guerra Mundial até os conflitos contemporâneos no Oriente Médio. A experiência norte-americana no século XXI destaca como o desenvolvimento tecnológico, aliado a treinamentos eficazes e protocolos bem definidos, pode transformar um simples dispositivo médico em uma ferramenta crucial para a sobrevivência em situações críticas. A realidade no CFN é distinta, atualmente, não existe nenhum tipo de torniquete em uso, o que representa uma significativa lacuna na capacidade de resposta emergencial das tropas. A ausência de padronização e de modelos específicos a serem disponibilizados leva a uma situação onde materiais de baixa qualidade podem ser utilizados em momentos críticos, colocando em risco a vida dos militares.

Diante dessa problemática, este trabalho se propõe a aplicar o método AHP (Analytic Hierarchy Process) para a escolha do melhor modelo de torniquete a ser adquirido para o CFN. O método AHP permitirá uma análise multicritério rigorosa, considerando diversos fatores essenciais. A implementação dessa metodologia objetiva fornecer uma base sólida para a tomada de decisão, garantindo que as tropas do CFN tenham acesso a equipamentos de alta qualidade, que atendam aos padrões internacionais de eficácia e segurança.

2. Tipos de Torniquetes

Os torniquetes são instrumentos cruciais em cuidados pré-hospitalares para controlar hemorragias severas. Eles podem ser classificados com base em seu mecanismo de operação e local de aplicação. Os torniquetes pneumáticos funcionam inflando um manguito, enquanto os não-pneumáticos geram pressão através de uma haste ou composição elástica. Além disso, há uma distinção entre torniquetes comerciais, que são projetados e certificados para comercialização, e torniquetes improvisados, feitos com materiais disponíveis no local do incidente (Ronconi et al., 2023).

"Os torniquetes são categorizados com base em seus mecanismos, locais de aplicação pretendidos e disponibilidade comercial" (Ronconi et al., 2023, p. 3).

Essas classificações são essenciais para garantir a eficácia e a segurança dos torniquetes em situações de emergência. A codificação por cores também é utilizada para facilitar a identificação, com cores de alta visibilidade para o ambiente civil e cores de baixa visibilidade para operações militares (Ronconi et al., 2023). Foram abordados o Torniquetes comerciais, não pneumáticos e do tipo membro, denominados comumente como Torniquetes de Combate.

Os torniquetes abordados são os indicados pela Committee on Tactical Combat Casualty Care (CoTCCC), que é uma entidade fundamental no desenvolvimento e implementação de práticas de cuidados médicos em campo de batalha, especialmente para forças militares dos EUA e de nações aliadas.

2.1 Combat Application Tourniquet (CAT)

O Combat Application Tourniquet (CAT) foi desenvolvido pela empresa C-A-T Resources no início dos anos 2000. Ele foi projetado para atender à necessidade de um torniquete que pudesse ser aplicado de maneira rápida e eficaz por soldados no campo de batalha, especialmente em situações de combate intenso. Antes do CAT, muitos torniquetes disponíveis não eram práticos para uso no campo de batalha ou exigiam um alto nível de destreza para serem eficazes. O CAT foi amplamente utilizado durante as guerras no Afeganistão e no Iraque. Sua introdução representou

um avanço significativo no cuidado pré-hospitalar em zonas de combate, tornando-se uma ferramenta essencial para os socorristas militares. Em 2014, um artigo na *Journal of Trauma* afirmou que os torniquetes, especialmente o CAT, foram uma "assinatura de sucesso" no atendimento de traumas no campo de batalha, sendo creditados por salvar entre 1.000 a 2.000 vidas (Butler, 2015).

Comparações entre a geração 6 e a geração 7 do CAT indicam que a versão mais recente (Geração 7) tem um desempenho ligeiramente superior e é mais fácil de usar (Kragh et al., 2016). Estudos demonstraram que o CAT pode ser aplicado com sucesso por leigos após uma breve instrução em vídeo, mostrando maior eficácia em comparação com outros modelos, como o Smart Tactical Application Tourniquet (STAT) (Gabbitas & Carius, 2023). O CAT é projetado para ser aplicado com uma única mão, o que permite que um soldado ferido possa aplicar o torniquete em si mesmo, se necessário.



Figura 1: CAT. Fonte: CAT Resources

2.2 Special Operations Forces Tactical Tourniquet (SOFTT-W)

O Special Operations Forces Tactical Tourniquet (SOFTT) foi desenvolvido pela empresa Tactical Medical Solutions na década de 2000. A versão Wide (SOFTT-W) foi introduzida posteriormente para melhorar a aplicação de pressão e a eficácia no

controle de hemorragias. Este torniquete foi desenvolvido com a colaboração de operadores de forças especiais que precisavam de um dispositivo confiável e durável. O SOFTT-W é frequentemente utilizado por forças especiais e outras unidades militares devido à sua construção robusta e eficácia em campo. Ele tem sido uma escolha popular em missões de alto risco onde a confiabilidade e a eficácia são cruciais.

Estudos indicam que o SOFTT-W pode aplicar menos pressão comparado ao CAT, e é importante ajustar corretamente para evitar falhas na aplicação (Katsnelson et al., 2020). No entanto, continua sendo uma escolha popular em operações militares devido à sua durabilidade e facilidade de uso. A versão Wide foi projetada para distribuir melhor a pressão aplicada, reduzindo o risco de lesões nos tecidos sob o torniquete.

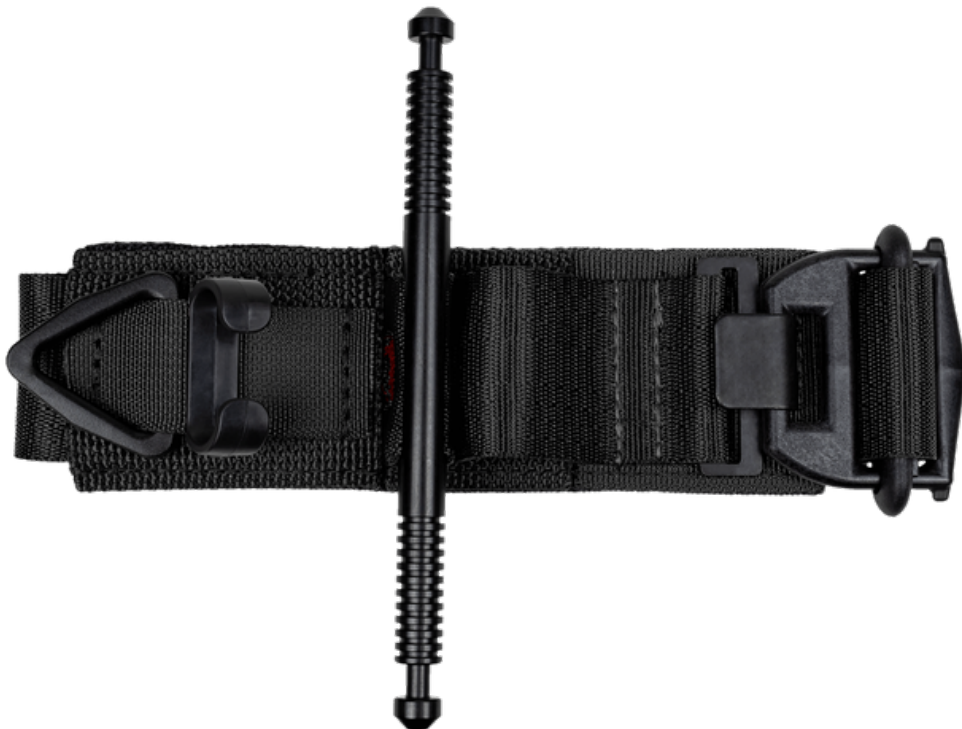


Figura 2: SOFTT-W. Fonte: AlliedMedical

2.3 Tactical Mechanical Tourniquet (TMT)

O Tactical Mechanical Tourniquet (TMT) foi desenvolvido pela empresa Tactical Medical Solutions. Este modelo foi introduzido como uma alternativa confiável ao CAT, com foco em facilidade de uso e eficácia no controle de hemorragias. O TMT tem sido

utilizado em diversas operações militares, com uma aceitação crescente devido ao seu design intuitivo e eficácia comprovada. Ele foi projetado para ser utilizado tanto por profissionais de saúde como por soldados em campo. Em comparação com o CAT mostrou-se eficaz, sendo capaz de ocluir a artéria poplítea (artéria que passa atrás do joelho, continuação da artéria femoral superficial da coxa e é responsável por gerar as artérias que levam sangue ao pé) de forma eficiente. Ele também foi bem avaliado em termos de tempo de aplicação e controle de hemorragia (Beaven et al., 2018).

Em estudos comparativos, alguns usuários preferiram o TMT devido ao seu design e facilidade de uso (Chen et al., 2016). O TMT é conhecido por seu mecanismo de aplicação simplificado, que permite um ajuste rápido e seguro.



Figura 3: SOFTT-W. Fonte: Allied Medical

2.4 SAM Extremity Tourniquet (SAM-XT)

O SAM Extremity Tourniquet (SAM-XT) foi desenvolvido pela empresa SAM Medical. Este torniquete é um modelo mais recente, introduzido para oferecer uma solução eficaz e fácil de usar para o controle de hemorragias. O SAM-XT tem sido adotado tanto em ambientes militares quanto civis devido à sua eficácia e facilidade de uso. Ele é projetado para ser intuitivo, permitindo uma aplicação rápida mesmo sob estresse.

Comparado ao CAT, O SAM-XT demonstrou ser eficaz no controle de hemorragias com boas avaliações em termos de aplicação de pressão e controle de sangramento (Katsnelson et al., 2020). Este torniquete utiliza um mecanismo de

fixação autolock/autotrava que simplifica o processo de aplicação, garantindo que o dispositivo permaneça no lugar e mantenha a pressão necessária para controlar a hemorragia.



Figura 4: SAM-XT. Fonte: SAM Medical

2.5 TX-3

O TX-3 é um modelo de torniquete de última geração desenvolvido com um foco específico na minimização de danos aos tecidos durante seu uso. Este torniquete possui uma banda larga que ajuda a distribuir a pressão de maneira mais uniforme, reduzindo o risco de lesões nos nervos e na pele. O sistema de catraca do TX-3 permite uma aplicação precisa da pressão necessária para controlar a hemorragia, o que é crucial em situações de emergência.

Estudos iniciais indicam que o TX-3 é altamente eficaz na aplicação de pressão suficiente para controlar a hemorragia sem causar danos significativos aos nervos e à pele. Koehler et al. (2015) observaram que, em testes de laboratório, o TX-3 conseguiu ocluir eficazmente o fluxo sanguíneo arterial com uma pressão que minimiza o risco de lesões nos tecidos circundantes. Este torniquete também demonstrou ser seguro para uso prolongado, um fator importante em operações militares e situações de emergência prolongadas, onde a rápida evacuação para atendimento médico pode não ser possível.

Além disso, Spruce (2017) destaca que o TX-3 apresenta uma menor incidência de complicações em comparação a outros torniquetes tradicionais. Isso é atribuído ao seu design ergonômico e ao material utilizado, que foi cuidadosamente selecionado para proporcionar um equilíbrio ideal entre rigidez e conforto. O sistema de catraca é robusto, mas fácil de manusear, permitindo uma aplicação rápida e eficaz mesmo em condições adversas ou sob estresse.

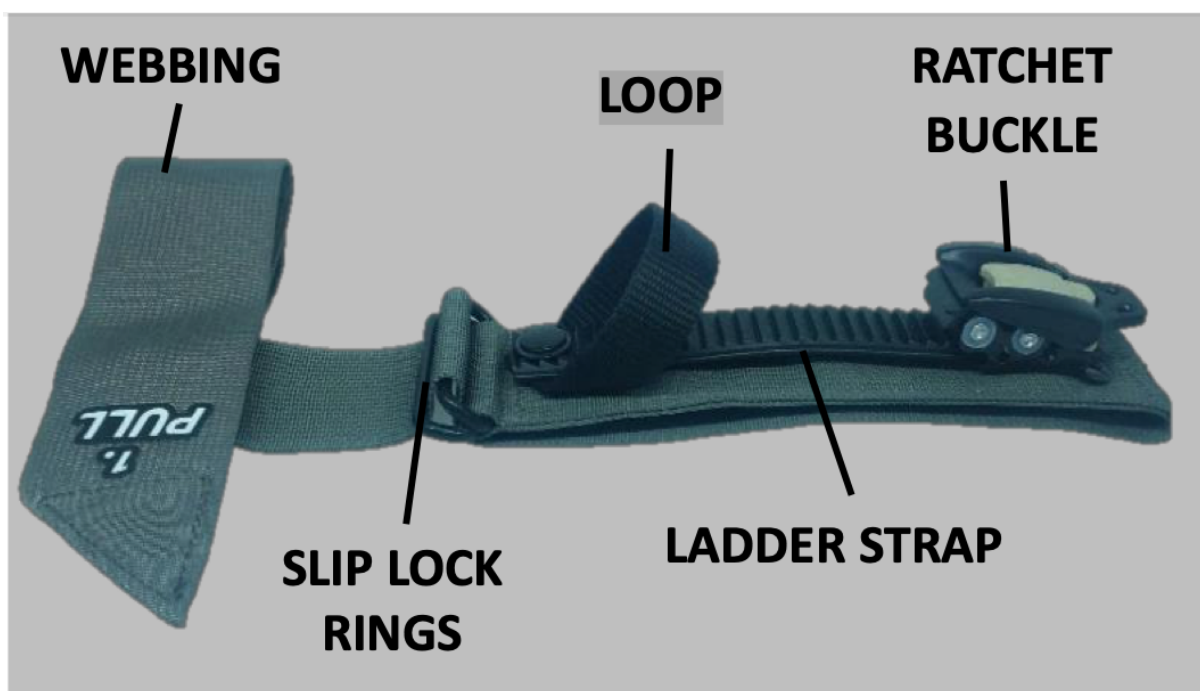


Figura 5: TX-3. Fonte: RevMedX.

3. Apresentação do método de escolha multicritério.

Neste momento será apresentado o método de escolha multicritério para apoio a tomada de decisão, para a seleção do melhor tipo de Torniquete a ser utilizado pelo CFN.

▪ 3.1 Método Analytic Hierarchy Process (AHP)

O Analytic Hierarchy Process (AHP) é um método desenvolvido por Thomas Saaty na década de 1970, amplamente utilizado para decisões que envolvem múltiplos critérios. A metodologia do AHP é baseada em decompor um problema complexo em uma hierarquia de subproblemas mais simples, avaliando-os de forma paritária para obter uma ordem de prioridades. O AHP é aplicado em três etapas. Na

primeira, estrutura-se o problema em níveis hierárquicos: o primeiro nível é o objetivo do problema, o segundo são os critérios, o terceiro os subcritérios e o último as alternativas. Na segunda etapa, definem-se as prioridades e, na terceira e última etapa, testa-se a consistência lógica (SANTOS et al., 2009)

Abaixo, são detalhadas as etapas do método AHP:

1) Estruturação em Níveis Hierárquicos: O problema é estruturado em níveis hierárquicos, o que facilita a melhor compreensão e avaliação da questão a ser resolvida. Para a aplicação desta metodologia, é necessário que tanto as alternativas quanto os critérios e subcritérios (caso sejam necessários) possam ser estruturados de forma hierárquica, sendo o topo da hierarquia representado pelo objetivo da decisão, seguido dos critérios e subcritérios (se houver) e, por último, as alternativas a serem selecionadas. Segundo Bornia e Wernke (2001), a ordenação hierárquica possibilita ao decisor ter “visualização do sistema como um todo e seus componentes, bem como as interações desses componentes e os impactos que eles exercem sobre o sistema”. Compreendendo de forma global o problema e a relação de complexidade, auxilia no entendimento da dimensão e do conteúdo dos critérios, permitindo uma comparação homogênea dos elementos.

2) Definição de Pesos e Prioridades: nesta etapa, os decisores devem atribuir pesos e prioridades aos critérios e subcritérios definidos na estrutura hierárquica.

a) Julgamentos paritários: Os julgamentos paritários envolvem a comparação de pares de critérios para determinar sua importância relativa. Por exemplo, ao comparar a eficácia com a segurança, os decisores devem determinar qual dos dois é mais importante e em que grau. Esses julgamentos são feitos utilizando uma escala de importância que varia de 1 (igual importância) a 9 (importância extrema de um sobre o outro), de acordo com a escala da metodologia de Saaty.

Escala numérica	Escala conceitual	Descrição
1	Igual importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o juízo favorecem uma atividade em relação à outra
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o juízo favorecem fortemente uma atividade em relação à outra
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra. Pode ser demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação a outra, com o mais alto grau de segurança
2, 4, 6, 8	Valores intermediários	Quando se busca uma condição de compromisso entre duas definições

Tabela 1 – Modelo Hierárquico AHP/ Fonte: Adaptação de Saaty, 1991 e Gomes et. Al, 2009.

Para um conjunto de critérios $C_1, C_2, \dots, C_n$ a matriz de comparação paritária A é formada da seguinte maneira:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

Figura 6: Matriz de Comparação Alternativas. Fonte: Autor

Onde a_{ij} representa a importância de C_i em relação a C_j .

A determinação da quantidade de julgamentos necessários para a formulação da matriz de julgamentos é dada pela fórmula genérica $A = n(n-1)/2$, onde n é o número de elementos pertencentes a esta matriz.

De maneira similar, são realizadas comparações aos pares entre as alternativas em cada (sub)critério.

b) Normalização das matrizes de julgamento: Após realizar as comparações paritárias, as matrizes de julgamento são normalizadas para converter

os julgamentos em uma escala comum e uniforme. A normalização é feita dividindo cada elemento da matriz pela soma dos elementos da coluna correspondente:

$$a'_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{kj}}$$

Figura 7: Normalização de a_{ij} . Fonte: Autor.

onde a'_{ij} é o valor normalizado de a_{ij} .

c) Cálculo das prioridades médias locais: As prioridades médias locais são calculadas a partir das matrizes normalizadas. Para cada critério, a prioridade média local w_i é obtida pela média aritmética dos elementos da linha correspondente na matriz normalizada:

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a'_{ij}$$

Figura 8: Cálculo de w_i . Fonte: Autor.

d) Cálculo das prioridades globais: as prioridades globais são determinadas combinando as prioridades locais com os pesos dos critérios a que pertencem. Se w_i representa o peso do critério i e p_{ij} representa a prioridade local do subcritério j do critério i , a prioridade global P_{ij} é dada por:

$$P_{ij} = w_i \times p_{ij}$$

Figura 9: Cálculo de p_{ij} . Fonte: Autor.

3) Consistência Lógica: a consistência lógica é uma verificação crucial no AHP para garantir que os julgamentos paritários feitos são logicamente coerentes. O índice de consistência (IC) e a razão de consistência (RC) são calculados para avaliar a consistência das comparações.

O índice de consistência é dado por:

$$IC = (\lambda_{\max} - n)/(n-1)$$

Onde $\lambda_{\max}$ é o maior valor próprio da matriz de comparação e n é o número de elementos da matriz de julgamentos.

A razão de consistência é calculada como:

$$RC = IC/IR$$

Onde IR é o índice de consistência aleatória (calculado para matrizes quadradas de ordem n), que depende do número de critérios. Um valor de RC menor ou igual a 0,10 é considerado aceitável, indicando que os julgamentos são suficientemente consistentes. Tabela 2 determina os valores de IR em a partir do número de n

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

Tabela 2 – Valores de RI.

4. Aplicação da Metodologia no estudo

Para iniciarmos nosso estudo de caso, tomaremos como objetivo da decisão a escolha de um torniquete de combate moderno, adequado para uso pelo Corpo de Fuzileiros Navais do Brasil, considerando uma ampla gama de critérios técnicos e operacionais. Foram analisadas as capacidades e características técnicas dos torniquetes apresentados. O custo também será um fator importante na avaliação. Ao final do estudo, será fornecido um ranking dos torniquetes avaliados, oferecendo uma análise detalhada que poderá servir como base para futuras decisões de aquisição. Abaixo, serão descritos os critérios, subcritérios, as alternativas e, posteriormente, será apresentado um fluxograma detalhado do processo de decisão.

1) Critérios e subcritérios:

a) Eficácia no Controle da Hemorragia: A capacidade do torniquete de bloquear completamente o fluxo sanguíneo arterial e controlar a hemorragia de maneira eficiente (Martinson et al., 2020).

i) Capacidade de Oclusão Arterial: A eficácia do torniquete em bloquear completamente o fluxo sanguíneo arterial (Martinson et al., 2020).

ii) Taxa de Sucesso: A porcentagem de casos em que o torniquete conseguiu controlar a hemorragia (Kragh et al., 2016).

b) Facilidade de Aplicação: O tempo necessário para aplicar o torniquete corretamente e a complexidade do uso (Gabbittas & Carius, 2023).

i) Tempo de Aplicação: O tempo necessário para aplicar o torniquete corretamente (Gabbittas & Carius, 2023).

ii) Complexidade do Uso: O nível de dificuldade na aplicação do torniquete (Treager et al., 2021).

c) Durabilidade e Confiabilidade: A resistência dos materiais usados no torniquete e o desempenho em condições adversas (Beaven et al., 2018).

i) Material: A resistência e durabilidade dos materiais usados no torniquete (Beaven et al., 2018).

ii) Desempenho em Condições Adversas: A capacidade do torniquete de funcionar em condições extremas (Martinson et al., 2020).

d) Minimização de Complicações: O risco de danos aos nervos e à pele durante o uso do torniquete (Papalia et al., 2014).

i) Risco de Danos aos Nervos: A probabilidade de o torniquete causar danos neurológicos (Papalia et al., 2014).

ii) Risco de Danos à Pele: A probabilidade de o torniquete causar lesões na pele (Tajima, 1983).

e) Custo: O custo inicial de compra do torniquete e os custos associados à manutenção e substituição.

2) Alternativas

a) Combat Application Tourniquet (CAT): R\$ 300,00.

b) Special Operations Forces Tactical Tourniquet (SOFTT-W): R\$ 315,00.

c) Tactical Mechanical Tourniquet (TMT): R\$ 340,00.

d) SAM Extremity Tourniquet (SAM-XT): Preço aproximado: R\$ 360,00.

e) TX-3 (TX3 Tourniquet): R\$ 325,00.

4.1 Construção da Hierarquia

A hierarquia para o AHP é composta pelo objetivo (escolher o melhor torniquete), os critérios e subcritérios, e as alternativas (CAT, SOFTT-W, TMT, SAM-XT, TX-3).

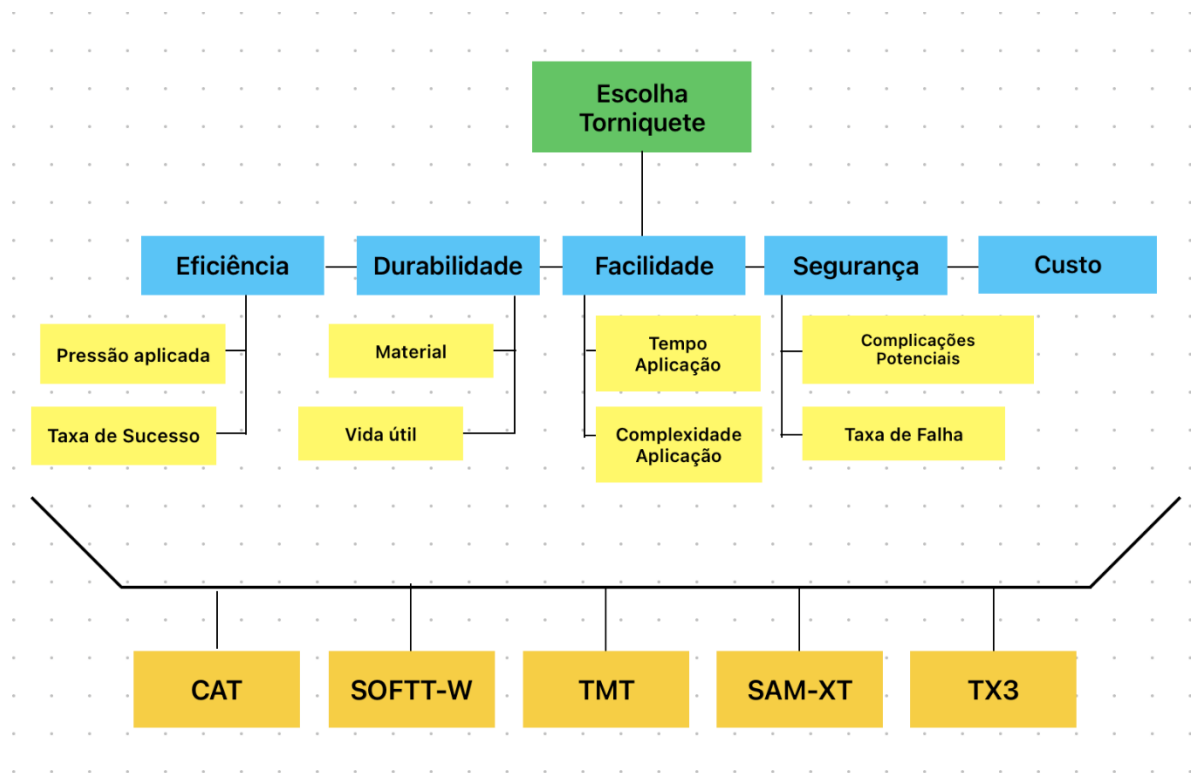


Figura 10: Hierarquia de critérios/subcritérios. Fonte: Autor.

4.2 Matriz de Comparação Par a Par

Atribuímos pesos comparando cada critério e subcritério dois a dois com uma escala de 1 (igual importância) a 9 (extrema importância). As comparações são baseadas na relevância percebida de cada critério para Operadores Especiais e elementos de Infantaria.

Critério	Eficiência	Durabilidade	Facilidade de Aplicação	Minimização de Complicações	Custo
Eficiência	1	4	5	7	8
Durabilidade	1/4	1	3	5	6

Facilidade de Aplicação	1/5	1/3	1	3	4
Minimização de Complicações	1/7	1/5	1/3	1	2
Custo	1/8	1/6	1/4	1/2	1

Tabela 3 - Matriz de Comparação dos critérios. Fonte: Autor.

4.2.1: Normalização da Matriz

Para normalizar a matriz, cada valor é dividido pela soma de sua coluna. Em seguida, a média das linhas é calculada para determinar os pesos dos critérios. Calculando a soma das colunas:

$$\begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{4} & \frac{1}{5} & \frac{1}{7} & \frac{1}{8} \\ 4 & 1 & \frac{1}{5} & \frac{1}{7} & \frac{1}{8} \\ 5 & 4 & 1 & \frac{1}{7} & \frac{1}{8} \\ 7 & 5 & 4 & 1 & \frac{1}{8} \\ 8 & 7 & 5 & 4 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 25 \\ 17.25 \\ 10.4 \\ 5.4286 \\ 1.5 \end{bmatrix}$$

Figura 11: Normalização da Matriz. Fonte: Autor.

Dividimos cada elemento da matriz de comparação pela soma da coluna correspondente.

Critério	Eficiência	Durabilidade	Facilidade de Aplicação	Minimização de Complicações	Custo
Eficiência	0.508	0.582	0.524	0.429	0.36
Durabilidade	0.169	0.145	0.315	0.306	0.28
Facilidade de Aplicação	0.101	0.048	0.105	0.184	0.2
Minimização de Complicações	0.072	0.029	0.035	0.061	0.12
Custo	0.056	0.024	0.021	0.02	0.04

Tabela 3 - Matriz de Normalizada dos Critérios. Fonte: Autor.

Em seguida, para determinarmos o peso de cada critério calculamos a média de cada linha da tabela normalizada, calculando cada elemento:

Critério	Peso
Eficiência	$(0.508 + 0.582 + 0.524 + 0.429 + 0.36) / 5 = 0.481$
Durabilidade	$(0.169 + 0.145 + 0.315 + 0.306 + 0.28) / 5 = 0.243$
Facilidade de Aplicação	$(0.101 + 0.048 + 0.105 + 0.184 + 0.2) / 5 = 0.128$
Minimização de Complicações	$(0.072 + 0.029 + 0.035 + 0.061 + 0.12) / 5 = 0.063$
Custo	$0.056 + 0.024 + 0.021 + 0.02 + 0.04) / 5 = 0.034$

Tabela 4 - Matriz Normalizada dos Pesos. Fonte: Autor.

Compilando os resultados em uma tabela geral:

Critério	Eficiência	Durabilidade	Facilidade de Aplicação	Minimização de Complicações	Custo	Peso
Eficiência	0.508	0.582	0.524	0.429	0.36	0.481
Durabilidade	0.169	0.145	0.315	0.306	0.28	0.243
Facilidade de Aplicação	0.101	0.048	0.105	0.184	0.2	0.128
Minimização de Complicações	0.072	0.029	0.035	0.061	0.12	0.063
Custo	0.056	0.024	0.021	0.02	0.04	0.034

Tabela 5 - Matriz Normalizada de Pesos e Critérios. Fonte: Autor.

Dessa forma podemos observar que o critério Eficiência obteve maior peso que os demais, seguido pelo critério Durabilidade até chegar no último que foi o Custo.

Para garantir a consistência dos julgamentos, foi calculada a Razão de Consistência (RC) para os critérios e subcritérios. A Razão de Consistência (RC) para os critérios foi calculada como 0.063, o que indica que os julgamentos são consistentes, pois a RC é menor que 0.1. Este processo metodológico, baseado na

comparação par a par e normalização, assegura que a escolha do torniquete para o Corpo de Fuzileiros Navais do Brasil seja fundamentada em critérios bem definidos e julgamentos consistentes.

4.3 Comparação Par a Par dos Subcritérios

Realiza-se a comparação par a par dos subcritérios dentro de cada critério. A seguir o critério "Eficiência":

Subcritérios de Eficiência

Subcritério	Pressão Aplicada	Taxa de Sucesso
Pressão Aplicada	1	3
Taxa de Sucesso	1/3	1

Tabela 6- Matriz de Comparação dos subcritérios Eficiência. Fonte: Autor .

Foram realizadas 08 matrizes de comparação (2 subcritérios de Eficiência, 2 de Minimização de Complicações, 2 de Durabilidade, 2 de Facilidade de Aplicação), que foram normalizadas e apresentaram os seguintes resultados:

Subcritérios de Eficiência

- Pressão Aplicada: 0.75
- Taxa de Sucesso: 0.25

Subcritérios de Minimização de Complicações

- Danos aos Nervos: 0.67
- Danos à Pele: 0.33

Subcritérios de Durabilidade

- Material: 0.67
- Desempenho em Condições Adversas: 0.33

Subcritérios de Facilidade de Aplicação

- Tempo de Aplicação: 0.833
- Complexidade de Uso: 0.167

4.4 Comparação das Alternativas

A comparação par a par das alternativas (CAT, SOFTT-W, TMT, SAM-XT) para cada subcritério é realizada. Esta comparação é fruto de pesquisa que foi realizada dentro da preferência dos militares e revisão bibliográfica de artigos frutos da experiência americana. A seguir está o subcritério "Pressão Aplicada":

Alternativa	CAT	SOFTT-W	SAM-XT	TMT	TX-3
CAT	1	3	5	7	8
SOFTT-W	1/3	1	2	5	6
SAM-XT	1/5	1/2	1	3	5
TMT	1/7	1/5	1/3	1	2
TX-3	1/8	1/6	1/5	1/2	1

Tabela 7- Matriz de comparação das alternativas subcritério "Pressão Aplicada".
Fonte: Autor.

Normalizando os valores das Alternativas para Pressão Aplicada:

Alternativa	CAT	SOFTT-W	SAM-XT	TMT	TX-3
CAT	0.373	0.616	0.586	0.424	0.364
SOFTT-W	0.124	0.205	0.234	0.303	0.273
SAM-XT	0.075	0.103	0.117	0.182	0.227
TMT	0.053	0.041	0.039	0.061	0.091
TX-3	0.045	0.034	0.023	0.03	0.045

Tabela 8 - Matriz normalizada das alternativas subcritério "Pressão Aplicada". Fonte: Autor.

Este mesmo procedimento também foi realizado para os outros subcritérios existentes, encontrando os seguintes resultados:

- **Taxa de Sucesso:** CAT: 0.516; SOFTT-W: 0.258; SAM-XT: 0.129; TMT: 0.086; TX-3: 0.032.

Subcritérios de Minimização de Complicações

- **Danos aos Nervos:** CAT: 0.484; SOFTT-W: 0.121; SAM-XT: 0.161; TMT: 0.069; TX-3: 0.036.
- **Danos à Pele:** CAT: 0.48; SOFTT-W: 0.16; SAM-XT: 0.12; TMT: 0.08; TX-3: 0.06.

Subcritérios de Durabilidade

- **Material:** CAT: 0.457; SOFTT-W: 0.242; SAM-XT: 0.144; TMT: 0.059; TX-3: 0.035.
- **Desempenho em Condições Adversas:** CAT: 0.484; SOFTT-W: 0.121; SAM-XT: 0.161; TMT: 0.069; TX-3: 0.036.

Subcritérios de Facilidade de Aplicação

- **Tempo de Aplicação:** CAT: 0.506; SOFTT-W: 0.232; SAM-XT: 0.146; TMT: 0.058; TX-3: 0.032.
- **Complexidade de Uso:** CAT: 0.476; SOFTT-W: 0.119; SAM-XT: 0.158; TMT: 0.071; TX-3: 0.033.
- **Critério Custo:**
Prioridades relativas: CAT: 0.422; SOFTT-W: 0.211; SAM-XT: 0.140; TMT: 0.106; TX-3: 0.084.

4.5 Cálculo do Peso Final das Alternativas

Para realizar o cálculo final, os pesos relativos, fruto da comparação das alternativas dentro dos subcritérios foram multiplicadas pelos pesos relativos de cada subcritério para cada torniquete e então foram somados para obter um peso final representativo para cada alternativa. O peso final reflete a adequação geral de cada torniquete com base em todos os critérios e subcritérios avaliados.

Eficiência

- **Pressão Aplicada:** Peso Normalizado do CAT = 0.472
- **Taxa de Sucesso:** Peso Normalizado do CAT = 0.516

Peso Eficiência CAT = $(0.472 * 0.75) + (0.516 * 0.25) = 0.483$

Realizando o procedimento para todas os critérios encontra-se o peso final para o CAT:

Peso Final CAT=(0.483*0.481)+(0.469*0.243)+(0.495*0.128)+(0.483*0.063)+(0.422*0.034) $\approx$ 0.482. Após a aplicação do procedimento para todas as alternativas, encontra-se o peso final e a melhor opção.

4.6 Resultados Finais

Após a realização de todos os processos das comparações paritárias inter-critérios e intra-critérios, chegamos ao resultado obtido na Tabela de Pesos Finais, onde obtemos o ranking final desejado. O resultado mostrou-se bastante sólido e robusto, com o primeiro colocado destacado significativamente entre os demais. Desta forma não foi necessário a aplicação de uma análise de sensibilidade para verificar a estabilidade da solução encontrada.

Temos então, como melhor opção de torniquete, o CAT (Combat Application Tourniquet), que se destacou em termos de eficiência e facilidade de aplicação, sendo a escolha mais indicada para compor os equipamentos primeiros socorros dos combatentes anfíbios. Esse resultado é justificado pelo fato de que peso da eficiência é predominante e de que o CAT é apresenta maiores peso nesse critério. Devemos salientar que uma mudança de cenário e julgamentos podem levar a diferentes alternativas.

Alternativa	Peso Final
CAT	0.482
SOFTT-W	0.234
SAM-XT	0.137
TMT	0.103
TX-3	0.044

Tabela 9 - Matriz de Resultados. Fonte: Autor.

5. Conclusão

Este trabalho abordou a importância dos torniquetes em operações militares e de primeiros socorros, destacando a sua relevância para salvar vidas em situações

de emergência, principalmente no campo de batalha. A eficácia dos torniquetes em controlar hemorragias severas foi amplamente discutida, reforçando sua função crítica no manejo de lesões traumáticas.

Ao longo do estudo, foram apresentados os diferentes modelos de torniquetes disponíveis no mercado, ressaltando suas características e capacidades tecnológicas. Dentre esses modelos, foram analisados o CAT, SOFTT-W, SAM-XT, TMT e o TX-3, cada um com suas particularidades e desempenho específico em diversos critérios como eficiência, durabilidade, facilidade de aplicação, minimização de complicações e custo.

A metodologia Analytic Hierarchy Process (AHP) foi descrita e aplicada para analisar o caso de estudo, permitindo uma comparação estruturada e objetiva dos critérios e subcritérios relevantes. Este método garantiu que as preferências e necessidades específicas fossem devidamente consideradas, resultando em um ranking que refletiu as avaliações feitas por especialistas.

Após a aplicação do AHP, os resultados indicaram que o torniquete CAT (Combat Application Tourniquet) é a melhor opção considerando todos os critérios analisados, com um peso final de 0.482. Seguindo-se a ele, os torniquetes SOFTT-W, SAM-XT, TMT e TX-3 foram classificados, respectivamente. O CAT destacou-se especialmente em termos de eficiência e facilidade de aplicação, características cruciais para o sucesso na contenção de hemorragias.

Com base neste estudo, podemos concluir que a seleção criteriosa e bem fundamentada de um torniquete é essencial para garantir a eficácia no atendimento de emergências médicas. A escolha do torniquete adequado pode ser a diferença entre a vida e a morte em situações de combate. Assim, o desenvolvimento tecnológico, aliado a treinamentos eficazes e protocolos bem definidos, pode transformar um simples dispositivo médico em uma ferramenta crucial para a sobrevivência em situações de combate. A aplicação do método AHP para a assessoramento da escolha e possível aquisição de torniquetes para o CFN visa preencher uma lacuna crítica, proporcionando às tropas anfíbias uma capacidade aprimorada de resposta a emergências.

▪ REFERÊNCIAS

BEEKLEY, A. C., Sebesta, J. A., Blackbourne, L. H., & Holcomb, J. B. (2008). **Prehospital tourniquet use in Operation Iraqi Freedom: Effect on hemorrhage control and outcomes**. Journal of Trauma and Acute Care Surgery, 64(2), S28-S37.

CAT. [fotografia]. Amazon, 2024. Disponível em: <<https://www.combattourniquet.com/wp-content/uploads/2019/09/INST-000-REV01-CRL.pdf>>, Acesso em: 28 jul. 2024.

SOFTT-W. [fotografia]. Amazon, 2024. Disponível em: <<https://meresupplies.co.uk/shop/softt-special-operations-forces-tactical-tourniquet-black/>>, Acesso em: 30 jul. 2024.

CHEN, J., Benov, A., Nadler, R., Landau, G., Sorkin, A., Aden, J., Kragh, J., & Glassberg, E. (2016). **Testing of Junctional Tourniquets by Medics of the Israeli Defense Force in Control of Simulated Groin Hemorrhage**. Journal of Special Operations Medicine, 16(1), 36-42.

CORDEIRO, R. A.; RIBEIRO, C. C. **Método AHP para apoio à decisão na gestão de projetos de TI**. Revista Gestão & Tecnologia, v. 12, n. 2, p. 42-58, 2012.

FORMIGA, G. J. B.; ANDRADE, C. B. **Utilização do método AHP na tomada de decisão para seleção de fornecedores**. Revista Produção Online, v. 11, n. 4, p. 1048-1068, 2011.

GABBITAS, R., & Carius, B. M. (2023). **Smart Tactical Application Tourniquet Versus Combat Application Tourniquet: Comparing Layperson Applications for Arterial Occlusion After a Video Demonstration**. Cureus, 15.

HOLCOMB, J. B., Goolsby, C., & Martin, M. (2017). **Tourniquet use in civilians: An evidence-based review**. Emergency Medicine Journal, 34(8), 539-545.

KATSNELSON, S., Oppenheimer, J., Gerrasi, R., Furer, A., Wagnert-Avraham, L., Eisenkraft, A., & Nachman, D. (2020). **Assessing the Current Generation of Tourniquets**. Military Medicine.

KRAGH, J. F., Walters, T. J., Baer, D. G., Fox, C. J., Wade, C. E., Salinas, J., & Holcomb, J. B. (2008). **Survival with emergency tourniquet use to stop bleeding in major limb trauma**. *Annals of Surgery*, 249(1), 1-7.

KRAGH, J. F., Walters, T. J., Baer, D. G., Fox, C. J., Wade, C. E., & Holcomb, J. B. (2012). **Practical use of emergency tourniquets to stop bleeding in major limb trauma**. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, 64(2), S38-S49.

KRAGH, J., Moore, V. K., Aden, J., Parsons, D. L., & Dubick, M. (2016). **Short Report Comparing Generation 6 Versus Prototype Generation 7 Combat Application Tourniquet® in a Manikin Hemorrhage Model**. *Journal of Special Operations Medicine*, 16(1), 14-7. D

SAATY, T. L. **Decision making with the analytic hierarchy process**. *International Journal of Services Sciences*, v. 1, n. 1, p. 83-98, 2008.

SAM-XT. [fotografia]. SAM Medical, 2024. Disponível em: <<https://www.sammedical.com/products/sam-xt-tourniquet?variant=18625857323097>>, Acesso em: 28 jul. 2024.

SCHWARTZ, R. B., McManus, J. G., & Swienton, R. E. (2009). *Tactical Emergency Medicine*. Lippincott Williams & Wilkins. Ronconi, R.W.F., Moreira, L.H., Lima, C.J., Pinto Neto, O., & Lazo Osorio, R.A. (2023). **Tourniquets, types and techniques in emergency prehospital care: A narrative review**. *Medical Engineering and Physics*, 111, 103923.

MARTINSON, J. R., Park, H., Butler, F., Hammesfahr, R., Dubose, J., & Scalea, T. (2020). **Tourniquets USA: A Review of the Current Literature for Commercially Available Alternative Tourniquets for Use in the Prehospital Civilian Environment**. *Journal of Special Operations Medicine*, 20(2), 116-122.

TMT. [fotografia]. Allied Medical, 2024. Disponível em: <<https://www.alliedmedical.com/store/pc/Tactical-Mechanical-Tourniquet-TMT-p2866.htm>>, Acesso em: 28 jul. 2024.

TX-3. [fotografia]. RevMed, 2024. Disponível em: <<https://www.revmedx.com/wp-content/uploads/2018/12/Appendix-B-Copy-of-IFU.pdf>>, Acesso em: 30 jul. 2024.

VARGAS, L. G. **An overview of the analytic hierarchy process and its applications.** European Journal of Operational Research, v. 48, n. 1, p. 2-8, 1990.