

## Teoria do Caos e o Processo Decisório Militar: explorando novos paradigmas para a arte da guerra

*Chaos Theory and Military Decision-Making Process: exploring new paradigms for the art of war*

### RESUMO

O perene fenômeno da guerra ocasiona uma permanente possibilidade do surgimento dos imponderáveis de diversas matizes na área do conflito, formando o conjunto caótico existente em qualquer Teatro de Operações. A Teoria do Caos é um dos mais importantes estudos científicos da atualidade, com aplicações em praticamente todas as áreas do conhecimento humano, incluindo a Arte da Guerra. Este artigo explora como a Teoria do Caos pode ser aplicada à Doutrina Militar, indicando sua relevância para a evolução da Arte da Guerra. O objetivo é teorizar sobre a aplicação da Teoria do Caos na Doutrina Militar, explorando como seus princípios podem ser integrados ao processo decisório, e como isso pode contribuir para a evolução da Arte da Guerra. Para tanto, o trabalho de Tôrres, em “Teoria da complexidade: uma nova visão de mundo para a estratégia”, é importante para esclarecer pontos da Teoria do Caos. No que tange à aplicabilidade da Teoria do Caos à Arte da Guerra, Kolenda mostra-se crucial na sua obra: *Transforming How We Fight: A Conceptual Approach*. O manual militar MD35-10-G.102: Glossário das Forças Armadas, de Brasil, define termos pertinentes a este trabalho. A pesquisa se baseia em uma revisão teórica que conecta princípios do caos a aspectos da doutrina militar, proporcionando uma nova perspectiva sobre a adaptação e resposta a situações de incerteza e complexidade da não-linearidade no Teatro de operações.

**Palavras-chave:** Teoria do Caos. Arte da Guerra. Caosplexo; Modelagem.

### ABSTRACT

The perennial phenomenon of war creates a permanent possibility for the emergence of imponderables of various shades in the conflict area, forming the chaotic set that exists in any Theater of Operations. Chaos Theory is one of the most important scientific studies today, with applications in practically all areas of human knowledge, including the Art of War. This article explores how Chaos Theory can be applied to Military Doctrine, indicating its relevance for the evolution of the Art of War. The objective is to theorize about the application of Chaos Theory in Military Doctrine, exploring how its principles can be integrated into the decision-making process, and how this can contribute to the evolution of the Art of War. To this end, Torres' work, in “Complexity Theory: A New Worldview for Strategy”, is important for clarifying points of Chaos Theory. Regarding the applicability of Chaos Theory to the Art of War, Kolenda proves to be crucial in his work: *Transforming How We Fight: A Conceptual Approach*. The military manual MD35-10-G.102: Glossary of the Armed Forces, of Brazil, defines terms relevant to this work. The research is based on a theoretical review that connects principles of chaos to aspects of military doctrine, providing a new perspective on adaptation and response to situations of uncertainty and complexity of non-linearity in the Theater of Operations.

**Keywords:** Chaos Theory. Art of War. Chaosplex. Modeling.

**Carlos Eduardo Gomes de Queiroz**  
Escola Preparatória de Cadetes do  
Exército - EsPCEX, Campinas, São  
Paulo, SP, Brasil

Email: [carlosqueiroz88@gmail.com](mailto:carlosqueiroz88@gmail.com)

ORCID:

<https://orcid.org/0009-0000-5223-8027>

Received:	12 Aug 2024
Reviewed:	Aug/Dec 2024
Received after revised:	17 Feb 2025
Accepted:	27 Feb 2025



**RAN**

**Revista Agulhas Negras**  
eISSN (online) 2595-1084

<http://www.ebrevistas.eb.mil.br/aman>



<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



## 1 Introdução

A Teoria do Caos é característica inerente aos sistemas não lineares, que se tornam imprevisíveis, ainda que determinísticos, e sugere que pequenas mudanças no início de um evento podem trazer consequências enormes e desconhecidas com o passar do tempo. Essa ideia foi descrita pela primeira vez pelo matemático e astrônomo francês Jules Henri Poincaré (1854 - 1912) e ganhou destaque no início da década de 1960 com o meteorologista e matemático americano Edward Lorenz (1917 – 2008). É uma área da Matemática que se preocupa com a compreensão e análise de sistemas dinâmicos complexos e não-lineares. Esses sistemas são caracterizados por sua alta sensibilidade às condições iniciais, o que significa que pequenas variações nas condições iniciais podem levar a grandes diferenças nos resultados finais.

Henri Poincaré percebeu ao estudar a estabilidade do Sistema Solar, no qual o Sol e Júpiter atuavam gravitacionalmente sobre uma massa infinitesimal, como um asteroide, descreveu órbitas com grandes variações de comportamento a partir de pequenas variações das condições iniciais. Em um de seus volumes do *Les methodes nouvelles de la Mécanique Céleste*, publicado entre os anos de 1892 e 1899, Poincaré comentou que é “[...] impressionante a complexidade desta figura, que eu nem mesmo tento desenhar. Nada é mais adequado para nos dar uma ideia da complicação do problema dos três corpos e, em geral, de todos os problemas de Dinâmica [...]” (Poincaré, 1899).

Durante o século XX, desde o seu princípio, os conceitos científicos passaram por mudanças importantes, resultantes de três pesquisas que modificaram paradigmas. A primeira pesquisa revolucionária foi efetivada por Albert Einstein, divulgada por meio de três artigos durante o ano de 1905. Tôrres (2005, p. 4) escreveu que as pesquisas de Einstein “[...] abalou os alicerces da física newtoniana. Não a desqualificou, mas a complementou e mostrou que não existe somente uma perspectiva para explicar a realidade”. A Física Quântica e, particularmente, o seu princípio da incerteza foi a segunda mudança. Formulado por Werner Heisenberg, pois, segundo ele, a realidade é incerta, imprecisa e imprevisível: “A realidade emerge do relacionamento entre o sujeito observador, a observação e o objeto ou fato observado. O Universo não é composto somente de matéria e energia, e sim, de matéria, energia e, principalmente, de relacionamentos” (Zurek, 1983). A descoberta e decodificação do DNA por James Watson e Francis Crick foi a terceira (Ferreira, 2003) e mostrou “[...] que o que impulsiona o universo, por meio de todas as transformações e da manifestação de todas as formas de vida é a informação” (Poincaré, 1899). Segundo Tôrres (Idem), essas três mudanças geraram uma quarta – a Teoria da Complexidade:

As três primeiras mudanças – Trabalhos de Albert Einstein, Física Quântica e Descoberta e Decifração do DNA – culminaram com a quarta grande mudança do século XX: em meados dos anos 60 (sic), surgiram estudos sobre **Teoria do Caos**, Fractais, Teoria das Catástrofes e



Lógica *Fuzzy*, dentre outras, que em conjunto levam o nome de Teoria da Complexidade (grifo do autor).

Destarte, a Teoria do Caos ressurgiu na década de 1960 com o norte-americano Edward Lorenz, que estudava modelos matemáticos de previsão do tempo. Ele descobriu que pequenas variações nos dados de entrada do modelo poderiam levar a grandes diferenças nas previsões do tempo. Lorenz cunhou a célebre frase, para descrever essa situação “É como se o bater das asas de uma borboleta no Brasil causasse, tempos depois, um tornado no Texas” (Marquezi, 2008).

Na Estratégia Militar, a Teoria do Caos tem sido empregada para compreender e analisar sistemas militares complexos e não-lineares (Bousquet, 2009), bem como para desenvolver novas estratégias militares (Marieto; Sanches; Meirelles, 2011). Para a Arte da Guerra, a Teoria do Caos pode ser aplicada para analisar como pequenas alterações nas condições iniciais de uma batalha podem levar a grandes mudanças nos resultados finais. A compreensão dessas mudanças pode ajudar a desenvolver novas ferramentas dentro do processo decisório militar que levem em consideração a complexidade e a incerteza da dinâmica no campo de batalha.

Para tanto, a Teoria do Caos preocupa-se com a análise de sistemas complexos que têm muitos elementos interconectados e interdependentes. Estes sistemas são frequentemente caóticos e imprevisíveis, mas podem ter padrões emergentes que podem ser estudados e compreendidos. Tem sido utilizada para analisar e prever fenômenos complexos e não-lineares em todas essas áreas, e tem levado a novas descobertas e *insights* em muitos campos, particularmente, no campo operacional militar. Oferece uma nova perspectiva para a compreensão e a aplicação da Doutrina Militar. No contexto da Força Terrestre, em que a adaptação a situações dinâmicas e incertas é crucial, os conceitos do caos podem ser particularmente úteis no processo decisório. Este artigo tem como objetivo teorizar sobre a aplicação da Teoria do Caos na Doutrina Militar, explorando como seus princípios podem ser integrados ao processo decisório, e como isso pode contribuir para a evolução da Arte da Guerra. O estudo baseia-se em uma análise teórica das fontes de consulta pertinentes e sugere que esses conceitos podem oferecer novas maneiras de abordar os desafios contemporâneos no Teatro de Operações (TO). Ao modelar resultados obtidos, percebe-se que eles poderiam fornecer *insights* valiosos para o desenvolvimento de sistemas de monitoramento e tomada de decisões mais eficazes em ambientes militares complexos e dinâmicos.

A trilha metodológica para este trabalho de pesquisa envolve a definição de etapas específicas que orienta a condução do estudo, desde a revisão da literatura até a conseguinte análise dos resultados. A revisão da literatura intenta ser abrangente e relacionada à Teoria do Caos, aprendizado de máquina, redes de sensores militares e processamento de sinais caóticos, bem como, identificar, dentro dos limites de alcance deste autor e as fontes por ele acessadas, estudos anteriores que



abordaram a aplicação da Teoria do Caos em redes de sensores e comunicações militares, bem como o uso de algoritmos de aprendizado de máquina neste contexto. Em seguida, buscou-se a definição de conceitos-chave, ou seja, os principais conceitos teóricos, incluindo os princípios da Teoria do Caos relevantes para a pesquisa, os algoritmos de aprendizado de máquina considerados e os desafios específicos enfrentados em redes de sensores militares para a condução do processo decisório. De forma concomitante, foram inseridos conceitos militares esclarecedores. Para tanto, foi imprescindível a coleta de dados e usar conjuntos de dados disponíveis publicamente que representam cenários militares relevantes. Em continuação, foi realizada a análise e a interpretação dos resultados, em que os resultados das coletas dos dados necessários obtidos serviram para interpretar as descobertas em relação aos objetivos da pesquisa, para vislumbrar *insights* e tendências observadas, destacando os pontos fortes e limitações das modelagens baseados na Teoria do Caos.

Por fim, a título de conclusão, resumem-se as descobertas do estudo e apresentam-se as conclusões sobre a possibilidade da eficácia dos algoritmos de aprendizado de máquina baseados em Teoria do Caos na detecção e adaptação a padrões complexos em dados de redes de sensores militares, bem como oferecer recomendações para futuras pesquisas e possíveis aplicações práticas dos resultados no ambiente operacional militar que possa configurar uma evolução na Arte da Guerra.

## 2 Definição de Conceitos-Chave dentro da Teoria do Caos

### 2.1 Conceito de Atratores

Não há um único indivíduo que tenha definido atratores fixos e atratores cíclicos, pois esses conceitos emergiram da pesquisa coletiva e colaborativa de diversos cientistas e matemáticos ao longo do tempo. Pesquisadores como Edward Lorenz, Mitchell Feigenbaum, Benoit Mandelbrot e muitos outros contribuíram para o desenvolvimento da Teoria do Caos e da compreensão dos atratores em sistemas dinâmicos não lineares. Atratores são padrões ou conjuntos de estados para os quais um sistema dinâmico tende a evoluir ao longo do tempo, independentemente das condições iniciais exatas. Em outras palavras, eles representam estados ou comportamentos estáveis ou recorrentes para um sistema, mesmo que o sistema seja intrinsecamente caótico ou complexo. Existem dois tipos principais de atratores: o atrator ponto (ou fixo) e o atrator de ciclo (ou periódico) (Marinho *et al.*, 2022, pp. 46-68).

1. Atrator Ponto (Fixo): neste caso, o sistema converge para um único ponto ou valor ao longo do tempo. Isso significa que, independentemente de onde você inicie o sistema, ele eventualmente atingirá esse ponto estável. Um exemplo simples é um pêndulo em repouso – não importa o quão longe você o mova, ele sempre retornará ao ponto de repouso.



2. Atrator de Ciclo (Periódico): o sistema oscila ou repete em um padrão periódico. O sistema não converge para um ponto, mas sim para um conjunto de pontos que são visitados repetidamente em sequência. Um exemplo é o movimento de um pêndulo que balança de um lado para o outro, retornando ao mesmo ponto em intervalos regulares.

Além desses atratores, existem os chamados “atratores estranhos” que são característicos de sistemas caóticos. Eles exibem uma forma complexa e fractal no espaço de fases, o que significa que o sistema pode passar por trajetórias que nunca se repetem exatamente. Um exemplo famoso de um atrator estranho é o Atrator de Lorenz, que foi descoberto por Edward Lorenz enquanto estudava a dinâmica atmosférica.

O atrator caótico ou estranho, imagine-se a cada volta do pêndulo, alguém dê um “peteleco” na bolinha do pêndulo com forças diferentes, as órbitas formadas pela ação do pêndulo seriam diferentes. O “peteleco” se processa como uma força aleatória a cada volta, a velocidade e a posição do pêndulo serão diferentes a cada vez. O espaço de fase parece aleatório e caótico, mas limitado a um certo intervalo. Difícil explicar a atração do pêndulo nos sistemas. (Marinho *et al.*, 2022).

Os atratores estranhos são uma característica fascinante e fundamental dos sistemas dinâmicos caóticos na Teoria do Caos. Podem surgir em sistemas não-lineares, nos quais pequenas variações nas condições iniciais podem levar a trajetórias completamente diferentes ao longo do tempo. Pode-se auferir sobre os atratores estranhos:

- Geometria Fractal: a forma dos atratores estranhos geralmente exhibe propriedades fractais, o que significa que eles têm padrões detalhados e autossimilares em diferentes escalas. Esta complexidade fractal é uma indicação da rica variedade de comportamentos que o sistema pode exibir, mesmo que eles estejam contidos dentro de um espaço limitado.

- Não Periódico, mas delimitado: ao contrário dos atratores de ciclo, nos quais o sistema repete padrões periódicos, os atratores estranhos são não periódicos. Isso significa que suas trajetórias nunca se repetem exatamente, mas ainda assim estão confinadas a uma região limitada do espaço de fases.

- Sensibilidade às condições iniciais: a principal característica que leva à formação de atratores estranhos é a sensibilidade às condições iniciais. Pequenas mudanças nas condições iniciais podem levar a trajetórias completamente diferentes, o que é conhecido como o “Efeito Borboleta”. Essa sensibilidade extrema é uma das razões pelas quais os atratores estranhos são tão complexos e difíceis de prever.

- Exemplos Notáveis: o Atrator de Lorenz, mencionado anteriormente, é um exemplo notável de um atrator estranho. É um sistema de equações diferenciais que modela a convecção térmica na atmosfera. Outro exemplo é o Mapa Logístico, atividade de imenso valor militar, que é uma equação iterativa simples usada para modelar populações em crescimento.



- Implicações Teóricas e Práticas: a descoberta e estudo de atratores estranhos têm implicações profundas para a compreensão de sistemas dinâmicos complexos e para a previsão do comportamento de tais sistemas. Eles destacam as limitações da previsibilidade a longo prazo, mesmo em sistemas determinísticos, e têm aplicações em várias áreas, incluindo meteorologia, economia, biologia, física e engenharia.

Eles representam os padrões subjacentes que emergem em sistemas caóticos, oferecendo uma maneira de visualizar e analisar a complexidade inerente a esses sistemas. A complexidade do campo de batalha, causada pela imensa quantidade de variáveis a serem consideradas, e durante o processo decisório, agravados pelo fato de que o decisor do partido oponente é um ser humano e dono de suas vontades, sendo assim o conceito de atratores mais indicado a este estudo é o de “atratores estranhos”.

## 2.2 Conceito de Fractais

Outro conceito importante na Teoria do Caos é o de fractais (Feder, 1988). São estruturas geométricas que exibem autossimilaridade em diferentes escalas. Isso significa que um fractal possui padrões semelhantes, não importa o quão profundamente você amplie ou reduza a escala de observação. Em outras palavras, partes menores do fractal se assemelham à sua estrutura geral, independentemente do nível de detalhe. Os fractais podem ser encontrados em várias formas naturais e objetos do mundo real. Um exemplo clássico é o conjunto de Mandelbrot, que é gerado a partir de uma simples equação matemática, mas exibe uma complexidade infinita e belos padrões recursivos quando explorado em diferentes escalas. Outros exemplos incluem formações de nuvens, montanhas, árvores, sistemas vasculares, entre outros. O conjunto de Mandelbrot é um dos fractais mais conhecidos e estudados na matemática e na computação gráfica. Ele foi descoberto por Benoît B. Mandelbrot (1982), em 1980, e é gerado a partir de uma simples equação iterativa. O conjunto é representado no plano complexo, onde cada ponto é associado a um número complexo. Se a sequência permanecer limitada, o ponto correspondente no plano complexo é considerado parte do conjunto de Mandelbrot. Caso contrário, se a sequência se afastar para o infinito, o ponto não faz parte do conjunto. O conjunto de Mandelbrot é uma representação impressionante da interação entre a simplicidade matemática da equação e a complexidade infinita de seus padrões autossimilares.

A autossimilaridade dos fractais é um conceito poderoso, pois desafia nossa noção tradicional de dimensões inteiras. Por exemplo, um fractal pode ocupar um espaço no plano com uma dimensão fractal que não é um número inteiro. Isso porque a noção de dimensão em um fractal é mais flexível, considerando a quantidade de detalhes presentes em diferentes escalas.

Neste sentido, pode-se fazer uma correlação entre os fractais e a Doutrina Militar, haja vista que os fractais têm autossimilaridade em diferentes escalas, enquanto a doutrina militar muitas vezes enfatiza a necessidade de as forças armadas serem capazes de se adaptar a uma ampla gama de



ambientes e cenários operacionais, desde o nível tático até o estratégico. A capacidade de identificar padrões e responder de maneira flexível a mudanças é essencial tanto na compreensão dos fenômenos fractais quanto na aplicação eficaz da doutrina militar; são frequentemente associados à resiliência e à robustez, pois exibem padrões repetidos que resistem a mudanças e perturbações. Da mesma forma, a doutrina militar busca desenvolver forças que sejam resilientes e capazes de manter a eficácia mesmo diante de adversidades e incertezas. Isso envolve a capacidade de se adaptar rapidamente a novas situações e de recuperar-se de eventos inesperados; são estruturas eficientes que maximizam o uso de recursos disponíveis. Da mesma forma, a doutrina militar enfatiza a importância da eficiência na alocação de recursos, como pessoal, equipamentos e suprimentos, para maximizar a capacidade operacional das forças. e são frequentemente usados na análise de sistemas complexos, e a doutrina militar também envolve a compreensão e a análise sistemática de sistemas, como as interações entre forças amigáveis e oponentes, o ambiente operacional e, de forma relevante, fatores políticos e sociais.

Embora a correlação entre fractais e doutrina militar possa não ser imediatamente óbvia, ambos conceitos compartilham princípios fundamentais de adaptação, resiliência e eficiência na abordagem de sistemas complexos e dinâmicos.

### 2.3. Sensibilidade às Condições Iniciais

Um dos aspectos mais interessantes da Teoria do Caos é a hipersensibilidade às condições iniciais (Marietto; Sanches; Meirelles, 2011, pp. 66-93). Significa que pequenas variações nos parâmetros iniciais de um sistema podem levar a grandes mudanças no comportamento do sistema ao longo do tempo. Tal característica é especialmente relevante em sistemas complexos, como o clima, a economia e, como veremos neste trabalho, a Arte da Guerra. Em outras palavras, a hipersensibilidade às condições iniciais implica que mesmo as mínimas diferenças entre as condições iniciais de um sistema podem levar a resultados drasticamente diferentes. Isto ocorre porque os sistemas dinâmicos, que são caracterizados pela presença de um grande número de variáveis interdependentes, são extremamente complexos e podem exibir comportamentos caóticos que são altamente sensíveis às condições iniciais. Por exemplo, o movimento de um pêndulo duplo pode parecer previsível, mas se a posição inicial de um dos pêndulos for levemente alterada, ele pode levar o sistema para uma posição muito diferente da anterior. Na Doutrina Militar, a hipersensibilidade às condições iniciais pode ser usada para entender como pequenas mudanças no campo de batalha, ao desencadear as operações, podem levar a grandes diferenças nos resultados finais de uma batalha. Esta compreensão pode ajudar a desenvolver análises mais adaptáveis e flexíveis, influenciando sobremaneira o processo decisório.



Existe um termo bastante comum e coloquial entre os planejadores militares que ilustra muito bem essa hipersensibilidade: todo planejamento, por melhor e mais detalhado que seja, não resiste ao “primeiro tiro disparado”.

### 3 Aplicação da Teoria do Caos às Simulações de Guerra

Para esta vertente de aplicabilidade da Teoria do Caos, é marcante a necessidade do entendimento do conceito de “caosplexidade” (Rosen, 2008). A sua definição está na combinação das teorias da complexidade e do caos, que pode ser o denominador comum para as inúmeras formas de manifestações coletivas que fogem ao senso comum de causa-efeito. A partir desta perspectiva, é possível analisar fenômenos da modernidade, como o comportamento adaptativo complexo emergente de grupos de atores, incluindo as forças antagônicas.

[...] Trabalhos de Albert Einstein, Física Quântica e Descoberta e Decifração do DNA – culminaram com a quarta grande mudança do século XX: em meados dos anos 60, surgiram estudos sobre Teoria do Caos, Fractais, Teoria das Catástrofes e Lógica Fuzzy, dentre outras, que em conjunto levam o nome de Teoria da Complexidade. Surgiu, então, principalmente no mundo acadêmico, e já com grande aceitação e aplicação no mundo empresarial e em todas as demais áreas, a visão complexa de mundo (Tôrres, 2005).

Na análise das ações com foco nas militares, a abordagem de “caosplexidade” pode ser funcional para entender o comportamento adaptativo complexo emergente de grupos de atores em situações de conflito intenso e de guerra. Isto envolve a compreensão das múltiplas variáveis e interações que moldam o comportamento dos agentes envolvidos, como os comandantes militares, as organizações civis, inclusive as midiáticas, os grupos armados adversários e as forças externas que podem influenciar o conflito.

Portanto, a análise de “caosplexidade” pode ajudar a desenvolver decisões militares mais adaptáveis e flexíveis, que levam em conta a complexidade e a imprevisibilidade das situações enfrentadas durante um conflito bélico. Esta abordagem pode ser útil para entender os efeitos emergentes de diferentes variáveis no comportamento dos agentes envolvidos, o que pode permitir que os comandantes militares antecipem e respondam de forma mais eficaz às mudanças no campo de batalha.

#### 3.1. Auto-Organização e Redes

Um aspecto importante da “caosplexidade” é a auto-organização dos grupos de atores, que, sem um controle central, constituem uma coletividade com novos padrões de comportamento e que se utilizam da informação para aprender e evoluir. Essa auto-organização pode ser observada em



diversas situações, como, por exemplo, em redes de comunicação e cooperação entre militares e civis, bem como em redes de insurgentes e terroristas. Isto significa que as redes de comunicação e cooperação devem ser igualmente adaptáveis e flexíveis para lidar com a dinâmica altamente volátil no ambiente operacional, configurando-se como decisivas. Redes de insurgentes e terroristas também podem ser vistas como exemplos de auto-organização em sistemas complexos. Tais grupos, muitas vezes, operam em ambientes de alta incerteza e são altamente adaptáveis, o que pode torná-los difíceis de combater.

Desta feita, a “caosplexidade”, a auto-organização dos grupos de atores e as redes de comunicação e cooperação são interdependentes e podem ter implicações importantes para a estratégia militar e a tomada de decisões em situações de guerra. Compreender essas dinâmicas pode ser fundamental para o sucesso em conflitos modernos, em que a complexidade e a incerteza são uma constante.

### 3.2. Não-Linearidade e Sensibilidade a Pequenas Variações

O comportamento dos grupos que seguem uma lógica de não-linearidade é muito sensível a pequenas variações dos parâmetros que os regulam. Esta característica tem implicações importantes para a Arte da Guerra, uma vez que ações aparentemente insignificantes podem ter efeitos imprevisíveis e de grande magnitude. O comportamento dos grupos que seguem uma lógica de não-linearidade, como os sistemas dinâmicos caóticos, é muito sensível às pequenas variações dos parâmetros que os regulam. Exemplificando, uma pequena variação na direção do vento pode fazer com que uma cortina de fumaça, causada no intuito de camuflar uma ação tática, seja eficiente ou se dissipe, condicionando o sucesso ou o fracasso.

Tal característica tem implicações importantes para a Doutrina Militar, pois as condições de uma operação militar são extremamente complexas e dinâmicas. A sensibilidade às condições iniciais significa que os comandantes militares devem levar em conta uma grande variedade de fatores e antecipar uma ampla gama de possibilidades para se adaptar às mudanças que podem ocorrer no teatro de operações. A não-linearidade denota que as relações de causa e efeito nem sempre são claras e previsíveis. Pequenas mudanças em um sistema podem levar a grandes mudanças em seu comportamento e essas mudanças podem não ser facilmente explicáveis ou compreensíveis por meio de modelos lineares. Os comandantes militares devem estar preparados para lidar com situações em que a lógica causal não é clara e nas quais é necessária uma abordagem mais adaptável e flexível.

Pelo exposto, a sensibilidade às condições iniciais e a não-linearidade dos sistemas caóticos podem gerar implicações importantes para a Arte da Guerra, exigindo dos comandantes militares uma abordagem mais adaptável, flexível e sensível às mudanças dinâmicas.



## 4 Evolução da Arte da Guerra

A Arte da Guerra tem evoluído ao longo dos séculos haja vista, particularmente, a incorporação de novas tecnologias e abordagens operacionais. A Teoria do Caos oferece uma perspectiva única para analisar essa evolução e compreender como as ações militares, mesmo as mais bem planejadas e detalhadas podem ter consequências imprevisíveis.

### 4.1. Clausewitz, a Guerra e a Teoria do Caos

Carl von Clausewitz afirmou que a guerra é um ato de violência destinado a forçar o inimigo a fazer a nossa vontade. A Teoria do Caos pode ser aplicada ao pensamento de Clausewitz (2017), sugerindo que a guerra é um sistema complexo e não-linear, em que pequenas variações nas condições iniciais podem levar a resultados imprevisíveis e de grande magnitude. O prussiano explorou profundamente os Princípios da Guerra e da Estratégia Militar. É importante perceber que há certos paralelos e analogias que podem ser traçados entre seus conceitos e os princípios da Teoria do Caos:

1. Complexidade e Incerteza: tanto a Teoria do Caos quanto o pensamento de Clausewitz reconhecem a complexidade e a incerteza inerentes aos sistemas dinâmicos. Enquanto a Teoria do Caos explora a imprevisibilidade de sistemas não-lineares, Clausewitz enfatiza a natureza imprevisível da guerra, onde inúmeras variáveis interagem de maneira dinâmica.

2. Sensibilidade às Condições Iniciais: a Teoria do Caos destaca a sensibilidade extrema às condições iniciais como um fator que leva a resultados imprevisíveis. Clausewitz também reconhece a importância das condições iniciais em situações de conflito, onde pequenas mudanças no início de um conflito podem levar a desdobramentos completamente diferentes.

3. Emergência de Padrões Complexos: tanto na Teoria do Caos quanto na guerra, pode haver a emergência de padrões complexos a partir de interações aparentemente não-lineares. Na guerra, táticas, estratégias e ações individuais combinam-se para formar padrões de batalhas e campanhas, assim como sistemas não-lineares geram atratores estranhos com padrões complexos.

4. Adaptação e Flexibilidade: Clausewitz enfatiza a importância da adaptação e da flexibilidade na condução da guerra, reconhecendo que os planos podem ser afetados por uma série de fatores imprevistos. Da mesma forma, a Teoria do Caos destaca a necessidade de flexibilidade ao lidar com sistemas complexos e dinâmicos.

5. Não-Linearidade: os contextos reconhecem a não-linearidade das interações e dos resultados. Na guerra, pequenas mudanças podem levar a resultados desproporcionalmente grandes. Na Teoria do Caos, sistemas não-lineares podem gerar comportamentos imprevisíveis.

Dos atuais cenários, vistos nos teatros de operações na Ucrânia e na Faixa de Gaza, depreende-se a necessidade de atualizar a percepção do conceito de Guerra Total (Borges de Macedo, 2018),



pois, de fato, as inovações tecnológicas e informacionais ultrapassam de longe a capacidade de renovar a metodologia do processo decisório. O intenso uso de drones – inclusive “kamikazes” –, de armas cibernéticas, de mídias sociais manipuláveis, de *fake news*, de inteligência artificial para gerar sons e imagens quase reais, de modos cada vez mais ousados e inovadores de disseminar o terror, dentre outros tantos, coloca em xeque a capacidade adaptativa dos decisores em todos os níveis.

Clausewitz concentrou-se principalmente na guerra e na doutrina militar, os princípios que ele delineou podem ser interpretados de forma mais ampla, aplicando-se a contextos complexos e dinâmicos em geral. Essas correlações destacam a complexidade inerente a sistemas dinâmicos, sejam eles na guerra ou em fenômenos naturais, que a Teoria do Caos busca compreender. KOLENDA (2003, p. 112, grifo do autor) faz a seguinte observação, diante do pensamento de Clausewitz, sobre o uso amplo das tecnologias pelas forças militares:

Clausewitz descreveu a natureza dos Estados combatentes em termos da “trindade” e do “triângulo”, e da força das forças armadas no que diz respeito ao tamanho físico, aos fatores morais e ao relativo gênio dos seus comandantes. Embora tal quadro não seja perfeito, capta “pontos de atração” significativos que, em conjunto, influenciam o grau de resiliência do sistema. Os combatentes devem cultivar e manter a resiliência atendendo a estes pontos de atração nos níveis estratégico, operacional e tático. Será extremamente importante para o processo de transformação militar desenvolver os fatores que influenciam a moral, a coesão e a liderança com a mesma quantidade de energia e entusiasmo agora dedicados à tecnologia.

#### 4.2. Guerra Híbrida e Revoluções Coloridas

A guerra híbrida é uma combinação de revoluções coloridas e guerras não convencionais, que visa alinhar estados e sociedades aos interesses da política de segurança e defesa. Combina manifestações não violentas com ações militares diretas e indiretas e pode ser analisada à luz da Teoria do Caos, uma vez que as ações aparentemente desconectadas podem ter efeitos imprevisíveis e de grande magnitude, os quais são também conhecidos como os “imponderáveis da guerra”. A guerra híbrida refere-se a conflitos que combinam táticas militares convencionais e não convencionais, bem como elementos políticos, econômicos, psicológicos e de informação. Trata-se de um tipo de conflito que não se encaixa nas categorias tradicionais de guerra e paz. Segundo Guindo, Martínez e Gonzáles (2015, p. 4, grifo dos autores), Mattis y Hoffman fez a primeira referência à denominação de guerra híbrida, por meio do artigo publicado em 2005, na revista *Proceedings*, sob o título *Future Warfare: The Rise of Hybrid Wars*.

Mattis e Hoffman, em "*Future Warfare: O Surgimento das Guerras Híbridas*", alertam que, em relação aos Estados Unidos, sua superioridade militar criaria uma lógica que impeliaria atores estatais e não estatais a abandonar métodos tradicionais de guerra e buscar capacidades ou combinações de tecnologias e táticas para obter vantagem sobre seus adversários. Essa lógica não se encaixava na classificação de ameaças emergentes apresentada na Estratégia



Nacional de Defesa dos EUA, publicada em março do mesmo ano, que distinguia entre tipos de guerra tradicional, irregular, catastrófica e disruptiva.<sup>1</sup>

É possível argumentar que a guerra híbrida envolve uma combinação de táticas não convencionais, revoluções coloridas e guerras não convencionais, que incluem táticas como o terrorismo, a guerrilha e o uso de forças irregulares. No entanto, é importante ressaltar que a guerra híbrida é uma abordagem adaptativa que pode envolver uma variedade de táticas e estratégias diferentes, dependendo do contexto em que ocorre (Sharp, 1983, p. 42).

Se o poder de um governante precisa ser controlado mediante a retirada do apoio e da obediência, a não-cooperação e a desobediência devem ser generalizadas e devem ser mantidas em face da repressão destinada a forçar uma volta à submissão. Contudo, uma vez que tenha ocorrido uma grande redução ou mesmo o fim do receio dos súditos e uma vez que haja disposição de sofrer sanções como preço pela mudança, tornam-se possíveis a desobediência em larga escala e a não-cooperação. Essa ação torna-se então politicamente significativa, e a vontade do governante é frustrada em proporção ao número de súditos desobedientes e ao grau de sua dependência deles. A resposta ao problema do poder sem controle pode, portanto, residir na aprendizagem de como conseguir e preservar essa retirada, apesar da repressão.

As revoluções coloridas são um tipo de movimento social que visa promover mudanças políticas por meio do uso de táticas não violentas, como manifestações, greves e desobediência civil. Surgiram pela primeira vez na década de 1980 na Europa Oriental, quando movimentos como o “Solidariedade” na Polônia e a Revolução de Veludo na antiga Tchecoslováquia usaram táticas não violentas para desafiar regimes autoritários. Elas geralmente envolvem a mobilização em massa da sociedade civil, muitas vezes liderada por grupos da oposição e apoiada por atores externos, como organizações não governamentais e governos estrangeiros, que buscam minar regimes hostis e promover mudanças políticas favoráveis aos seus interesses. Embora as revoluções coloridas sejam geralmente não violentas, elas ainda podem ser consideradas uma forma de guerra, pois têm o objetivo de desafiar e mudar o equilíbrio de poder existente ao buscar minar a estabilidade e a coesão interna de um Estado, criando condições favoráveis para uma intervenção militar ou para o fortalecimento de grupos de oposição armados.

## 5 Implicações Doutrinárias da Teoria do Caos

1 No original: *Mattis y Hoffman em Future Warfare: The Rise of Hybrid Wars, al hablar de los Estados Unidos, advertían que la superioridad de este último crearía una lógica que impulsaría a los actores estatales y no estatales a abandonar el modo tradicional de hacer la guerra y a buscar una capacidad o algún tipo de combinación de tecnologías y tácticas que les permitiera obtener una ventaja sobre su adversario. Una lógica que no encontraba acomodo en la clasificación de las amenazas emergentes que apareció en la Estrategia Nacional de Defensa de los Estados Unidos publicada en marzo de ese mismo año, y que distinguía entre tipos de guerra tradicional, irregular, catastrófica y disruptiva.*



A Teoria do Caos pode ter implicações importantes para a doutrina militar, uma vez que sugere que as ações aparentemente insignificantes podem causar efeitos imprevisíveis e de grande monta. Traduz-se que os planejadores militares devem estar atentos às possíveis consequências não intencionais de suas ações ou, particularmente, efeitos colaterais e devem, também, buscar adaptar-se rapidamente às mudanças no ambiente operacional. Algumas implicações estratégicas da Teoria do Caos: sensibilidade às condições iniciais é um princípio central da Teoria do Caos. Destaca a importância de compreender que pequenas variações no início de um processo podem levar a resultados drasticamente diferentes ao longo do tempo; planejamento adaptativo haja vista a natureza imprevisível de sistemas caóticos sugere que abordagens rígidas de planejamento podem ser inadequadas. A estratégia precisa ser adaptativa e flexível para lidar com a incerteza e a complexidade inerentes. Isso é relevante em ambientes militares, empresariais e sociais; tomada de decisões mesmo com conhecimento completo das regras de um sistema, prever seu comportamento a longo prazo pode ser impossível devido à sensibilidade às condições iniciais. Isso ressalta a necessidade de tomar decisões com base em informações atualizadas e flexíveis, especialmente em ambientes voláteis; medidas de controle para entender como mudanças pequenas podem influenciar um sistema complexo; exploração de oportunidades emergentes em sistemas caóticos pode ser visto como uma fonte de oportunidades. Aqueles que conseguem identificar e explorar essas oportunidades podem obter vantagens operacionais; gerenciamento de risco significa que os riscos não podem ser totalmente eliminados, apenas gerenciados; e diversificação e redundância para fazerem face a falhas em uma parte do sistema que podem afetar outras partes de maneiras imprevisíveis, a fim de mitigar impactos indesejados.

No geral, as implicações doutrinárias da Teoria do Caos destacam a necessidade de abordagens flexíveis, adaptativas e orientadas a dados para lidar com a complexidade e a imprevisibilidade dos sistemas dinâmicos, pois é relevante em várias áreas onde a incerteza é um fator significativo. A sensibilidade às condições iniciais e a não-linearidade parecem ser razoáveis para serem avaliadas no contexto da guerra e da doutrina militar, onde pequenas ações ou decisões no início de um conflito podem ter grandes consequências no resultado final. A não-linearidade, por sua vez, implica que as relações entre diferentes variáveis não são necessariamente proporcionais ou previsíveis.

É realmente instigante como a Teoria do Caos pode ser aplicada a uma variedade de campos, incluindo o processo decisório. Permite uma compreensão mais profunda da dinâmica dos sistemas complexos, que podem ser utilizados para aprimorar as estratégias em diferentes áreas.



### 5.1. Incerteza e Previsões

A Teoria do Caos sugere que, mesmo que o nosso determinismo e o planejamento sejam perfeitos, existem lacunas no nosso conhecimento na hora de prever o futuro. Isso tem implicações importantes para a tomada de decisões militares, uma vez que os planejadores devem estar preparados para lidar com a incerteza e adaptar-se às mudanças no ambiente operacional.

Por sua vez, Kolenda (2003, p. 101) elenca os cinco postulados críticos sobre a natureza da guerra, as quais indicam os seus extremos graus de incerteza e de imprevisibilidade: a informação na guerra é “essencialmente dispersa”; a guerra é caótica; os combatentes na guerra são sistemas adaptativos complexos; a guerra é um fenômeno não-linear; e a guerra é o reino da incerteza. Em seguida, Kolenda (*ibidem*) indica que esses postulados sugerem que as forças armadas serão mais eficazes se dominarem os seguintes conceitos: descentralização (criar e explorar uma vantagem de conhecimento através da capacitação em níveis apropriados); complexidade (obter uma vantagem de complexidade maximizando o número de significados e interações completas com as quais o inimigo deve lidar simultaneamente ou quase); resiliência (manter o equilíbrio e explorar a instabilidade e a desordem no inimigo); e tempo (sustentar uma intensidade de operações ao longo do tempo com a qual o inimigo não consegue lidar). A fim de complementar e facilitar o sentido da “caosplexidade” que o comandante militar se depara enquanto decide, abre-se a oportunidade de ilustrar o processo decisório efetuado pelos comandantes militares, após a análise e a exposição, por parte de seu estado-maior. Do manual MD 35-10-G.102 (Brasil, 2015, p. 83), extrai-se a definição de “DECISÃO”, segundo o Ministério da Defesa brasileiro:

1. Expressão clara e precisa de como um comandante ou chefe militar resolveu cumprir sua missão ou solucionar determinado problema. 2. Plano de ação realizável, com o qual o Comandante pretende cumprir sua missão, não condicionada a formas rígidas, devendo ser redigido como uma afirmação breve, expondo de forma clara, simples e concisa a linha de ação selecionada.

Ao folhear algumas páginas após, é possível pinçar uma outra expressão, de grande valia para este trabalho: “PROCESSO DECISÓRIO – Conjunto de ações realizadas pelo comandante e seu estado-maior para a tomada e execução das decisões.” (Idem, p. 225). Para a execução desse processo decisório, o citado conjunto de ações é resultado da análise dos seguintes fatores, que são debatidos de forma sistemática e exaustiva e cartesiana, os quais são destacados abaixo:

FATORES DA DECISÃO – Sistematização do estudo de uma situação de combate que é dividida cartesianamente para maior detalhamento de cada questão. As partes constitutivas deste estudo são os fatores da decisão: **a missão, o inimigo, o terreno e as condições meteorológicas, os meios e o tempo disponível** (Idem, p. 117, grifo do autor).



Dos fatores listados acima, é plausível caracterizar como complexos, porém, detentores de um certo determinismo finalístico, ou seja, baixa possibilidade de serem caóticos: a missão (factual), o terreno (baixa mutabilidade natural), os meios (disponibilidade concreta) e o tempo – ou espaço temporal (determinado). Por outro lado, os seguintes fatores podem ser muito bem caracterizados como complexos e de alta propensão ao caos, pois denotam grandes incertezas: o inimigo (dono de sua vontade) e as condições meteorológicas (alta mutabilidade natural). Todo este trabalho de estudo pormenorizado do arcabouço de problemas complexos e caóticos, sendo estes de maior ou de menor intensidade, foi alvo de compreensão original por Sun Tzu, que assim se expressou:

O bom estrategista, para vencer uma batalha, faz antes muitos cálculos no seu templo, pois sabe que eles são a chave que conduzirá à vitória. É calculando e analisando que o estrategista vence previamente a guerra, na simulação do seu templo [...] (Tzu, 2007, pp. 27-28)

Fica perceptível que o conceito de “caosplexidade”, que combina as teorias da complexidade e do caos, tem implicações importantes para a tomada de decisões militares na guerra. A incerteza é um componente fundamental da “caosplexidade” e a não-linearidade e a sensibilidade às condições iniciais tornam impossível prever o comportamento de um sistema complexo de forma exata. Isso significa que a tomada de decisões militares deve ser baseada em previsões probabilísticas, levando em conta diferentes cenários possíveis e suas respectivas variáveis, resultantes do estudo comparativo entre as linhas de ação disponíveis ao decisor, segundo os fatores da decisão, e as linhas de ação opostas, que podem ser adotadas pelo oponente, com uma dose de incerteza considerável.

A “caosplexidade” pode ser aplicada à análise do campo de batalha, ajudando a identificar padrões emergentes e comportamentos adaptativos complexos dos atores envolvidos. Ao entender a “caosplexidade” nas operações militares, os comandantes podem tomar decisões mais informadas e estratégicas, levando em conta as incertezas e as diferentes possibilidades. A “caosplexidade” também pode ser usada para desenvolver decisões adaptativas, que são essenciais na guerra moderna, onde o TO é complexo e em constante mudança. Decisões adaptativas levam em conta a incerteza e a imprevisibilidade do campo de batalha, permitindo que os militares se ajustem às mudanças e tomem decisões informadas em tempo real.

## 5.2. Adaptabilidade e Aprendizado

A Teoria do Caos também tem implicações importantes para o aprendizado e a adaptabilidade da força militar. Os sistemas não-lineares e complexos, como a guerra, requerem que os atores envolvidos aprendam com as experiências passadas e se adaptem rapidamente às mudanças no ambiente operacional. Isto significa que as forças devem estar constantemente buscando incorporar



novas tecnologias, abordagens estratégicas e informações para se manterem eficazes no campo de batalha. São caracterizados por sua imprevisibilidade e sua sensibilidade às condições iniciais, o que torna impossível prever com exatidão o comportamento desses sistemas. Além disso, são altamente adaptativos e evolutivos, o que significa que estão em constante mudança. Na guerra, os atores envolvidos precisam aprender com as experiências passadas e se adaptar rapidamente às mudanças no ambiente operacional, a fim de permanecerem eficazes e relevantes.

A capacidade de aprender com as experiências passadas e se adaptar rapidamente às mudanças é essencial na guerra moderna, que é caracterizada por sua complexidade e imprevisibilidade. Decisões adaptativas permitem que os militares se ajustem às mudanças no campo de batalha e tomem-nas em tempo real, o que pode ser crucial para o sucesso em situações de combate. Sendo assim, a aprendizagem contínua e a adaptação rápida também são importantes na guerra de informações, que é uma parte essencial da guerra híbrida. Os atores envolvidos na guerra de informações precisam ser capazes de identificar rapidamente as mudanças nas percepções públicas e adaptar suas estratégias de comunicação em conformidade. A capacidade de aprender e adaptar-se é essencial na guerra moderna, especialmente em situações de combate e na guerra de informações.

## 6 Tecnologias e Ferramentas Baseadas na Teoria do Caos

A aplicação de tecnologias e ferramentas baseadas na Teoria do Caos para o processo decisório militar em situações de guerra pode trazer *insights* valiosos e estratégias inovadoras. Fuqua (2009, p. 24) discute em seu trabalho a validade do uso de ferramentas baseadas na Teoria do Caos para solucionar problemas. Ele faz a seguinte observação:

Os dois pontos para os planejadores são: primeiro, que a detecção do caos não foi desenvolvida para uso prático e, segundo, que o caos é um componente de um sistema aberto complexo e os requisitos de dados normalmente impediriam seu uso na resolução adaptativa de problemas. Cada método discutido investiga o comportamento *in sílica* ou *in vitro* e não *in situ*, uma vez que os planejadores militares operam no mundo real. Este fato deve desencorajar a utilização destes métodos na resolução de problemas dentro da complexidade inerente aos sistemas adaptativos.

Entretanto, este trabalho teoriza o uso das referidas ferramentas para auxiliar no processo decisório e, sendo assim, não para solucionar problemas militares. Seguem algumas teorizações sobre como essas abordagens poderiam ser utilizadas nas diferentes formas de guerra:

- Guerra Clássica – análise de vulnerabilidades complexas: pode ser empregada para analisar as vulnerabilidades complexas das operações militares, considerando interações imprevisíveis e efeitos não lineares; e planejamento Adaptativo: a constante imprevisibilidade na guerra clássica sugere a necessidade de planejamento adaptativo. A Teoria do Caos pode auxiliar na criação de



cenários dinâmicos para testar diferentes estratégias em resposta a mudanças de cenário em tempo real.

- Guerra Híbrida – identificação de causas e efeitos não lineares: pode ajudar a identificar causas e efeitos não lineares em cenários de guerra híbrida, onde a influência de ações psicológicas e informacionais pode ser complexa e sutil; e detecção de padrões emergentes: sistemas caóticos frequentemente geram padrões emergentes. Ferramentas baseadas na Teoria do Caos podem ser usadas para detectar padrões de influência, mudanças repentinas de opinião pública e reações imprevistas.

- Revoluções Coloridas – modelagem de dinâmicas sociais: podem ser empregadas para modelar as dinâmicas sociais e políticas em revoluções coloridas, considerando a sensibilidade às condições iniciais e os efeitos não lineares de ações e eventos; e previsão de desdobramentos: embora a Teoria do Caos ressalte a imprevisibilidade, abordagens computacionais avançadas podem ser usadas para simular diferentes cenários de desdobramento de eventos, fornecendo *insights* sobre possíveis trajetórias.

Em todas essas formas de guerra, as tecnologias e ferramentas baseadas na Teoria do Caos podem ajudar a informar o planejamento estratégico, a tomada de decisões e a compreensão das dinâmicas complexas em jogo. No entanto, é importante ressaltar que a aplicação da Teoria do Caos na tomada de decisões militares requer uma combinação de conhecimento sólido da teoria, da doutrina militar e da análise precisa de dados em tempo real. Assim sendo, a ética e as implicações legais da aplicação de tais abordagens devem ser consideradas de forma cuidadosa.

Algumas dessas tecnologias e ferramentas incluem simulações computacionais avançadas (a utilização de *softwares* de simulação que incorporam princípios da Teoria do Caos para modelar cenários de guerra, permitindo a visualização e previsão de desdobramentos complexos. Essas simulações podem considerar interações não-lineares, sensibilidade às condições iniciais e padrões emergentes: análise de Redes Sociais e Propagação de Informação (ferramentas de análise de redes sociais podem usar conceitos da Teoria do Caos para identificar influenciadores-chave, pontos de virada e mudanças de opinião em cenários de guerra informacional e híbrida); inteligência artificial e aprendizado de máquina (algoritmos de IA e aprendizado de máquina podem ser treinados para reconhecer padrões complexos em dados de guerra, identificando tendências não lineares e ajudando na tomada de decisões estratégicas); análise de *Big Data* e sensoriamento remoto (o processamento de grandes volumes de dados de várias fontes pode ser aplicado com conceitos da Teoria do Caos para identificar padrões ocultos, como movimentos de tropas inesperados ou comportamentos suspeitos; modelagem de sistemas complexos (utilização de modelos matemáticos de sistemas complexos, como redes logísticas e cadeias de suprimentos, incorporando elementos da Teoria do Caos para identificar pontos críticos, sensibilidades e possíveis cenários de falhas); tomada de



decisões adaptativas (desenvolvimento de algoritmos de tomada de decisões adaptativas que levam em consideração a incerteza e a imprevisibilidade da Teoria do Caos, ajustando estratégias conforme os desdobramentos); e análise de vulnerabilidades (aplicação de análises de vulnerabilidades baseadas na Teoria do Caos para identificar possíveis pontos de entrada, falhas e efeitos cascata em sistemas inimigos).

É importante notar que a aplicação dessas tecnologias e ferramentas requer uma compreensão sólida da Teoria do Caos, bem como conhecimento especializado em conflitos armados e estratégia militar. Além disso, questões éticas e legais, abrangidas no Direito Internacional Humanitário, mais precisamente nos artigos do Direito Internacional dos Conflitos Armados, devem ser consideradas ao aplicar essas abordagens na arte da guerra. Contudo, Kolenda (2003, p. 114) faz a seguinte ressalva quanto ao uso das novas tecnologias:

A melhoria tecnológica é importante mas, se for perseguida isoladamente, só nos levará até certo ponto. Devemos simultaneamente examinar as capacidades operacionais desejadas e os conceitos culturais e intelectuais que expressam a forma como queremos lutar. A interação sinérgica de análise e síntese entre categorias amplas leva a uma inovação que é maior do que qualquer abordagem isolada pode contribuir por si só.

Falharemos se nos concentrarmos exclusivamente na tecnologia.

Um dos problemas com a evolução tecnológica e as revoluções nos assuntos militares é que as primeiras organizações a experimentar tais mudanças não necessariamente as enfrentam de forma mais eficaz. A mudança tecnológica e conceptual deve ser integrada de uma forma consistente com a natureza duradoura da guerra.

### 6.1. Modelos de Simulação

Modelos de simulação baseados na Teoria do Caos podem ser usados para analisar o comportamento de sistemas complexos, como a guerra, e prever possíveis resultados com base em diferentes cenários e condições iniciais. Esses modelos podem ser úteis para planejadores militares na tomada de decisões e na avaliação de possíveis consequências de suas ações, sejam as esperadas, as desejáveis ou as inevitáveis.

Uma publicação que pode ser útil para entender melhor os modelos de simulação baseados na Teoria do Caos é o livro *Nonlinear Dynamics and Chaos: With Applications to Physics, Biology, Chemistry, and Engineering* (Dinâmica Não Linear e Caos: Com Aplicações em Física, Biologia, Química e Engenharia), escrito por Steven H. Strogatz (2018). Embora o foco principal do livro seja a aplicação da Teoria do Caos em várias áreas das ciências naturais, ele também aborda a modelagem e a simulação de sistemas dinâmicos não-lineares.

Na publicação, Strogatz explica os fundamentos da dinâmica não-linear e da Teoria do Caos de maneira acessível, introduzindo os leitores aos conceitos-chave e fornecendo exemplos práticos de aplicação. Ele abrange tópicos como a sensibilidade às condições iniciais, atratores estranhos e padrões complexos, bem como a construção e a análise de modelos de simulação. Embora o foco



principal do livro seja em uma variedade de disciplinas científicas, a compreensão dos modelos de simulação baseados na Teoria do Caos que podem ser aplicados em diferentes contextos é abordada de maneira sólida, que pode ser usada na modelagem e simulação de sistemas complexos, incluindo cenários militares e de tomada de decisões.

Na prática, os modelos de simulação permitem que os militares testem diferentes cenários de combate, analisando o comportamento dos sistemas em diferentes condições. Por exemplo, é possível simular como uma batalha evoluiria caso uma determinada tática fosse adotada, ou como as forças se comportariam diante de um ambiente operacional específico. Permitem que os militares avaliem diferentes estratégias e táticas em um ambiente virtual antes de aplicá-las na prática. Isto tem potencial de reduzir os riscos e os custos associados a experimentos no mundo real e permitir que a Força Terrestre se prepare de forma mais eficiente para os desafios que podem enfrentar.

Um exemplo de modelo de simulação é o *Warfighter Simulation (WARSIM)*, desenvolvido pelo Exército dos Estados Unidos da América. O WARSIM permite que os militares simulem combates em um ambiente virtual, avaliando diferentes estratégias e táticas, testando cenários e treinando para situações de combate realistas. O modelo WARSIM pode oferecer ferramentas de simulação que auxiliam líderes militares a criar condições bem realistas para diferentes propósitos, como ensino, treinamento militar, ensaios de missões entre outras.

Paine e Dietrik (2015) ilustram muito bem a validade do uso dessa ferramenta e a sua potencialidade nos seguintes termos:

O WARSIM é um programa fundamental para a formação dos atuais e futuros comandantes e estados-maiores das forças do Exército. É um componente crítico da Federação de Treinamento Construtivo do Exército (ACTF) que ajudará a provocar uma segunda revolução no treinamento militar. O WARSIM cumprirá os requisitos do Exército para treinar as suas forças em todos os aspectos de comando e controle. Os modelos ACTF fornecerão funcionalidade completa de treinamento para treinamento de simulação baseada em computador de líderes e estados-maiores de combate em todo o Exército, espectros conjuntos, interagências, intergovernamentais e multinacionais. As contribuições do WARSIM para o treinamento do Exército de hoje e das forças futuras de amanhã estão apenas começando a ser concretizadas (Paine e Dietrik, 2015, pp. 12-13).

Os modelos de simulação são uma ferramenta importante baseada na Teoria do Caos que permite que a Força Terrestre analise e teste diferentes cenários de combate, avalie estratégias e táticas e treine para situações de combate mais próximas do real. É importante ressaltar que a aplicação da Teoria do Caos em contextos militares requer uma compreensão profunda tanto da teoria quanto das particularidades do campo militar e é importante considerar as implicações éticas e legais ao empregar tais abordagens.

## 6.2. Redes de Sensores e Comunicações



Na obra de Strogatz (2018), é possível perceber que redes de sensores e comunicações baseadas na Teoria do Caos podem ser usadas para melhorar a coleta de informações e a comunicação entre diferentes atores militares e civis. Tais redes podem ser auto-organizadas e adaptáveis, permitindo uma melhor coordenação e compartilhamento de informações em tempo real. Consistem em sensores distribuídos em uma determinada área que se comunicam entre si para coletar dados e fornecer informações em tempo real. As informações podem ser usadas para monitorar o ambiente, detectar mudanças e facilitar sobremaneira o processo de tomada de decisões.

A Teoria do Caos pode ser aplicada nessas redes de sensores e comunicações para permitir a detecção de padrões e mudanças em dados complexos e não-lineares, como os gerados por sensores. Pode ser usada para projetar algoritmos de roteamento eficientes e escaláveis que são capazes de lidar com a complexidade das redes de sensores e comunicações. As redes de sensores e comunicações baseadas na Teoria do Caos têm outras aplicações, incluindo monitoramento ambiental, vigilância e segurança, controle de tráfego, gerenciamento de desastres e monitoramento de saúde. Podem ser utilizadas em aplicações militares, como a detecção de ameaças e a vigilância de fronteiras, como os sensores do Sistema de Vigilância da Amazônia (SIVAM). A aplicação em redes de sensores e comunicações oferece muitas vantagens, incluindo a capacidade de lidar com dados caóticos e complexos, maior eficiência e escalabilidade e melhor tomada de decisão em tempo real. Com o desenvolvimento contínuo dessa tecnologia, é provável que as redes de sensores e comunicações baseadas na Teoria do Caos se tornem ainda mais importantes e comuns em uma variedade de setores e indústrias.

### 6.3. Inteligência Artificial e Aprendizado de Máquina

A Teoria do Caos também tem aplicações na inteligência artificial e no aprendizado de máquina, que podem ser usados para analisar grandes volumes de dados e identificar padrões e tendências em sistemas complexos, como a guerra. Essas tecnologias podem ajudar os planejadores militares a tomarem decisões bem embasadas por informações confiáveis e adaptarem-se rapidamente às mudanças no ambiente operacional. A ideia seria utilizar os princípios da Teoria do Caos para criar algoritmos de aprendizado de máquina que sejam capazes de reconhecer e adaptar-se a padrões complexos e imprevisíveis nos dados. Para tanto, Strogatz (Idem) pode ser um ponto de partida para clarificar o estudo, posto que é o pesquisador mais diretamente associado a conceitos de sistemas dinâmicos, incluindo a Teoria do Caos, e suas aplicações em engenharia e ciências naturais.

Por exemplo, em redes neurais, a Teoria do Caos é utilizada para otimizar a conectividade entre os neurônios, de forma a aumentar a capacidade da rede de detectar padrões em dados não-lineares. A Teoria do Caos tem sido aplicada em algoritmos de clusterização e classificação de dados, que são capazes de lidar com a complexidade e imprevisibilidade dos dados não-lineares.



Também é possível utilizar a Teoria do Caos em algoritmos de previsão de séries temporais, que são capazes de prever o comportamento de sistemas não-lineares. Os algoritmos podem ser aplicados em diversas áreas, como previsão de mercado financeiro, previsão de demanda em sistemas de logística, previsão de demanda energética, entre outras. A Teoria do Caos pode ter implicações significativas para a área de inteligência artificial e aprendizado de máquina. Por serem capazes de lidar com grandes volumes de dados e analisar padrões em sistemas complexos, essas tecnologias têm sido cada vez mais utilizadas na análise e previsão de eventos na guerra. Uma das principais aplicações da Teoria do Caos na IA é o reconhecimento de padrões. Os sistemas de aprendizado de máquina podem ser treinados para identificar padrões em dados que, à primeira vista, parecem ser aleatórios ou não-lineares. Fato que permitiria que os analistas identificassem tendências em eventos relacionados à guerra, como movimentos de tropas, ataques terroristas etc. Outra aplicação da Teoria do Caos na IA é a possibilidade de previsão de eventos futuros. A análise de dados históricos pode ser usada para criar modelos preditivos que identificassem possíveis cenários futuros. Esses modelos podem ajudar os decisores militares a tomarem decisões informadas com base em dados e evidências.

Destarte, a Teoria do Caos tem implicações importantes para a IA e o aprendizado de máquina. Essas tecnologias podem ser usadas para analisar grandes volumes de dados e identificar padrões e tendências em sistemas complexos, como a guerra. Isso pode ajudar os decisores militares a tomar decisões informadas com base em dados e evidências sólidas, o que pode levar a resultados melhores e mais eficazes em conflitos armados.

## 7 Sugestões de Modelagens Aplicadas

Vários estudos acadêmicos foram elaborados com a finalidade de explorarem o uso da teoria do caos em jogos de simulação de guerra. Um destes é o artigo intitulado *Chaos Theory and Strategic Thought* de Alan Beyerchen (publicado na Revista *Parameters* em 1992), no qual é discutido como a Teoria do Caos pode ser usada para melhorar a modelagem e simulação de situações de guerra complexas em jogos. O artigo discute como a gamificação pode se beneficiar da Teoria do Caos ao criar simulações mais realistas e complexas para o treinamento militar, permitindo que os jogadores experimentem a complexidade e a imprevisibilidade da guerra de maneira controlada e educacional.

A teoria de Andreas Tolk, em seu livro *Engineering Principles of Combat Modeling and Distributed Simulation*, conecta-se à Teoria do Caos para criar simulações de conflitos militares mais precisas e realistas. Tolk modela operações militares complexas com interações dinâmicas e modelos baseados em agentes, enquanto a Teoria do Caos explora imprevisibilidade e comportamentos emergentes em sistemas não lineares. Ao integrar essas abordagens tornaria as simulações mais



dinâmicas, exigindo decisões adaptativas, treinando jogadores para tomar decisões em ambientes caóticos.

As duas modelagens sugeridas podem ser baseadas no modelo ACSM desenvolvido por Robert Axelrod, que é uma técnica de modelagem baseada na teoria dos sistemas complexos adaptativos. Originalmente foi criado para simular a evolução da cooperação em situações sociais, mas tem sido aplicado em diferentes áreas, incluindo a guerra. Na modelagem de sistemas complexos adaptativos, é necessário considerar a interação dinâmica entre vários atores, como tropas, comandantes, civis, insurgentes e forças oponentes. Tais atores possuem diferentes *modi operandi* e objetivos e suas ações podem influenciar e serem influenciadas pelas ações ou omissões dos outros atores, sejam eles internos ou externos.

O modelo ACSM pode ser utilizado para simular essas interações complexas, permitindo que os tomadores de decisão compreendam melhor as dinâmicas do conflito. Por exemplo, é possível modelar diferentes estratégias militares, como a utilização de drones, o uso de técnicas e táticas de guerrilha, bem como o emprego de comandos e de forças especiais, e analisar os efeitos dessas ações em diferentes cenários. O modelo ACSM também pode ser utilizado para analisar a evolução das relações entre diferentes atores no conflito. Por exemplo, é possível modelar a cooperação entre forças aliadas, a influência de grupos insurgentes sobre as populações locais, ou o efeito de ações militares em relação à opinião pública.

## 8 Considerações Finais

A Teoria do Caos e a Arte da Guerra estão intrinsecamente relacionadas, uma vez que ambas lidam com sistemas complexos e imprevisíveis. A aplicação dessa teoria ao estudo e planejamento das operações militares pode oferecer *insights* valiosos sobre a natureza e evolução da Doutrina Militar, bem como fornecer ferramentas e tecnologias para melhorar a eficácia da Força Terrestre. Ao compreender e abraçar a complexidade e a não-linearidade inerentes à guerra é possível desenvolver estratégias e decisões militares mais adaptáveis e eficazes para enfrentar os desafios do século XXI. Por seu lado, para a Teoria do Caos, os processos e as mudanças decorrentes tornam-se atratores, gerando uma nova ordem, ou seja, um processo desencadeia outros derivados.

Considerando a peculiaridade humana de possuir uma imensa capacidade de criar conexões e significados novos, tal fato sugere que os processos gerenciados por humanos têm absolutas possibilidades de serem fortemente não-lineares. Por definição, os processos decisórios são realizados para minimizar a incerteza do combate e, por fim, gerar uma ordem de operações detalhada, na qual as possibilidades do inimigo são amplamente discutidas tomando por base suposições, contudo, conforme o jargão castrense: o inimigo é dono de suas ações. A Teoria do Caos tem a possibilidade



de ser uma ferramenta poderosa, por meio de suas modelagens, e de fornecer uma visão valiosa para o processo de tomada de decisão militar durante o caos da guerra, pois destaca a importância da sensibilidade às condições iniciais e da incerteza inerente aos sistemas complexos, como a guerra.

O artigo buscou explorar as implicações da Teoria do Caos para a Doutrina Militar, teorizando sobre como seus princípios podem ser aplicados na organização e no emprego da Força Terrestre. A pesquisa demonstrou que a Teoria do Caos pode fornecer uma estrutura teórica valiosa para lidar com a complexidade e a incerteza inerentes às operações militares, oferecendo *insights* que podem enriquecer o processo decisório e a Doutrina Militar. Embora o estudo seja teórico e não apresente resultados empíricos, ele sugere que a integração dos conceitos de caos na doutrina militar tem o potencial de promover inovações significativas. Portanto, mais pesquisas são necessárias para validar estas ideias em contextos práticos.

Ao usar as modelagens como simulações baseadas na Teoria do Caos e IA, os militares podem coletar e analisar grandes volumes de dados, identificar padrões emergentes e tendências, e testar diferentes linhas de ação em cenários simulados. Isso pode ajudar a informar o processo de tomada de decisão e pode fornecer uma base mais sólida para as escolhas militares. No entanto, é importante ressaltar que, apesar dessas ferramentas serem úteis, elas não substituem a importância da experiência humana e da intuição no processo de tomada de decisão militar, particularmente diante de cenários altamente voláteis gerados nos contextos da Guerra Híbrida e das Revoluções Coloridas. A Teoria do Caos destaca a importância de reconhecer os limites da previsibilidade e da certeza na guerra. Os militares devem estar preparados para lidar com as incertezas e o caos e ter flexibilidade suficiente para se adaptar às mudanças imprevisíveis do campo de batalha. Esse estado pode ser alcançado por meio de treinamento e preparação adequados, além de manter a capacidade de análise crítica e de tomar decisões rápidas e eficazes em situações complexas e imprevisíveis.

Conclui-se, conforme proposto como objetivo deste trabalho, que a Teoria do Caos tem grande possibilidade de ser utilizada como uma ferramenta poderosa no processo decisório e, por conseguinte, na Doutrina Militar para enfrentar as incertezas e as complexidades inerentes à guerra. Por meio da compreensão dos sistemas não-lineares e complexos, como a guerra, é possível adaptar-se rapidamente às mudanças do ambiente operacional e aprender com as experiências passadas e impactar na Arte da Guerra.



## Referências

- BEYERCHEN, A. *Chaos Theory and Strategic Thought. Parameters*, v. 22, n. 3, p. 26-37. Pensilvania: U.S. Army War College Press, 1992.
- BORGES DE MACEDO, P. E. V. A guerra e a violência na política em Clausewitz / *Clausewitz' war and violence in politics. REVISTA QUAESTIO IURIS*, vol. 11, n. 04, p. 2916–2947, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.12957/rqi.2018.37233>. Acesso em: 04 abr. 2024.
- BOUSQUET, A. *The Scientific Way of Warfare*. Londres: Hurst Publishers, 2009. 288 p.
- BRASIL. **MD35-10-G.102: Glossário das Forças Armadas**. 5ª. Ed. Brasília. [s.n]. 2015.
- FEDER, J., *Fractals*, New York: Plenum Press, 1988, 325 p.
- FERREIRA, R. **Watson & Crack**: a história da descoberta do DNA. São Paulo: Odysseus, 2003. 132 p.
- FUQUA, D. O. *Understanding the Role of Chaos Theory in Military Decision Making*. 2009, 54 p. Dissertação (Mestrado em *Advanced Military Studies*) - *School of Advanced Military Studies*, 54 p., Fort Leavenworth, KS, 2009.
- GUINDO, M. G.; MARTÍNEZ, G.; & GONZÁLEZ, V. *La Guerra Híbrida: nociones preliminares y su repercusión en el planeamiento de los países y organizaciones occidentales*. Granada: Instituto Español de Estudios Estratégicos, 2015. 36 p.
- HEISENBERG, W. The physical content of quantum kinematics and mechanics. In: WHEELER, J. A.; ZUREK, W. H. (org.). *Quantum theory and measurement*. Princeton: Princeton University Press, 1983. p. 62-84.
- KOLENDA, C. D. *TRANSFORMING HOW WE FIGHT: A Conceptual Approach. Naval War College Review*, vol. 56, n. 2, primavera 2003, p. 100–122. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/26393987>. Acesso em: 14 mar. 2024.
- LORENZ, E. N. *Deterministic nonperiodic flow. Journal of atmospheric sciences*, v. 20, n. 2, p. 130-141, mar. 1963.
- MANDELBROT, B. B. Rev. *The fractal geometry of nature*, San Francisco: WH Freeman.1982, 504 p.
- MARIETTO, M. L., SANCHES, C., & MEIRELES, M. TEORIA DO CAOS: UMA CONTRIBUIÇÃO PARA A FORMAÇÃO DE ESTRATÉGIAS. *Revista Ibero Americana de Estratégia*, vol. 10, n. 3, p. 66-93, setembro-dezembro 2011. Disponível em <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=331227120005>. Acesso em: 15 mai. de 2023.
- MARINHO, L. L., *et al.* Caos em circuitos elétricos: uma abordagem inicial. **Revista do Professor de Física**, v. 6, n. 1, p. 46-68, 2022.
- MARQUEZI, D. Edward Norton Lorenz – O Criador da Teoria do Caos. **Revista Época**, [s.d.] 2008.
- PAINE, E., DIETRIK, K. *WARSIM Enters the Scene in Army Training, The Journal of Defense Software Engineering*, p. 12-13, setembro de 2015. Disponível em: <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA489499.pdf>. Acesso em: 16 de abr. de 2024.
- POINCARÉ, J. H. *Les methodes nouvelles de la Mécanique Céleste*, Paris: Gauthier-Vilars, 1899. 408 p.
- ROSEN, S. M. *The Self-Evolving Cosmos: A Phenomenological Approach to Nature's Unity-in-Diversity*. Albany: State University of New York Press, 2008. 290 p.
- SHARP, G. **Poder, luta e defesa**: Teoria e prática da ação não-violenta. Tradução: Getulio Bertelli. São Paulo: Edições Paulinas, 1983. 274 p.



STROGATZ, S. H. *Nonlinear dynamics and chaos with student solutions manual: With applications to physics, biology, chemistry, and engineering*. Flórida: CRC press, 21 set. 2018.

TOLK, A. *Engineering Principles of Combat Modeling and Distributed Simulation*. Hoboken, Nova Jersey: Wiley Library, 2012. 944 p.

TÔRRES, J. J. M., **Teoria da complexidade**: uma nova visão de mundo para a estratégia, *In I EBEC*, 2005, Curitiba. Anais. Curitiba: PUC/PR, 2005, p. 1-10.

TZU, S. **A arte da guerra**: Os treze capítulos originais. São Paulo: Jardim dos Livros, 2007. 248 p.

VON CLAUSEWITZ, C. **Da guerra**. São Paulo: WWF Martins Fontes, 2017. 881 p.