

Simulação Estocástica com Interação Humana em Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (SARP)

Stochastic Simulation with Human Interaction in Remotely Piloted Aircraft Systems (SARP)

RESUMO

Devido aos avanços da inteligência artificial o robô pode ter algum nível de autonomia para decidir aquilo que ele considera ideal para a missão ou objetivo que ele tem que cumprir. Dessa forma, o decisor que está contido no SARP pode, em algum momento, escolher se obedece ao operador humano ou se continua executando sua missão planejada. Esta pesquisa tem como objetivo propor um modelo de simulação estocástica que avalie a influência dos comandos do operador nos mecanismos de decisão do robô. Seguindo um percurso metodológico exploratório, de natureza aplicada e abordagem quantitativa, serão realizadas simulações com o uso da cadeia de Markov através da ferramenta PRISM, simulando agentes semiautônomos no qual a interação humana é executada sem restrições. Obviamente, neste modelo, a interação humana afeta as atividades gerais da operação do SARP. O objetivo é obter dados enquanto esta interação afeta os planos do robô para propor um modelo em que a vontade do ser humano influencie as decisões do robô nos casos em que a sobrevivência ou a missão não sejam comprometidas. Isto é importante porque as decisões humanas são lentas e podem chegar atrasadas ou truncadas devido a problemas no canal de comunicação. Considerou-se um cenário de reconhecimento aéreo por meio do SARP com certa autonomia e recebendo comandos humanos remotos. Os resultados mostram que dependendo do tipo da interação humana e da sua frequência é possível compatibilizar a interação humana sem comprometer o robô ou a missão.

Palavras-chave: SARP. HITL. HOTL. Cadeias de Markov.

ABSTRACT

Due to advances in artificial intelligence, the robot may have some level of autonomy to decide what it considers ideal for the mission or objective it has to fulfill. In this way, the decision maker that is contained in the SARP can, at some point, choose whether to obey the human operator or to continue executing its planned mission. The objective of this research is to propose a stochastic simulation model that evaluates the influence of operator commands on robot decision mechanisms. Under an exploratory, methodological research of applied nature and a quantitative approach, simulations will be carried out using the Markov chain through the PRISM tool, simulating semi-autonomous agents in which human interaction is performed without restrictions. In this model, human interaction obviously affects the overall activities of the SARP operation. The objective is to obtain data while this interaction affects the robot's plans to propose a model in which the human will influence the robot's decisions in cases that either the survival or the mission is not compromised. This is important because human decisions are slow and can be delayed or truncated due to communication channel problems. An air reconnaissance scenario was considered through the use of the SARP with some degree of autonomy and receiving remote human commands at the same time. The results show that depending on the type of human interaction and its frequency, it is possible to make human interaction compatible without compromising the robot or the mission.

Keywords: SARP. HITL. HOTL. Markov Chain.

Richard Siqueira Miranda

Universidade de Brasília – UNB,
Brasília, DF, Brasil

Email: richard.miranda@eb.mil.br

ORCID:

<https://orcid.org/0000-0002-7403-1673>

Edison Ishikawa

Universidade de Brasília – UNB,
Brasília, DF, Brasil

Email: ishikawa@unb.br

ORCID:

<https://orcid.org/0000-0002-0214-9234>

Marcelo Marotta

Universidade de Brasília – UNB,
Brasília, DF, Brasil

Email: marcelo.marotta@unb.br

ORCID:

<https://orcid.org/0000-0003-1747-8441>

Recebido em: 12 AGO 2021

Aprovado em: 14 MAR 2022

Revista Agulhas Negras

ISSN on-line 2595-1084

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



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



1. Introdução

A tecnologia vem desempenhando um papel cada vez mais importante na indústria bélica, em busca de meios para alcançar a superioridade na capacidade de combate. Os robôs têm sido usados cada vez mais em lugares perigosos para os humanos. Em muitos casos realizam missões de forma mais eficaz e segura, não expondo assim ao perigo as vidas humanas (ISMAI; MUTHUKUMARASWAMY; SASIKALA, 2020). São inúmeras as vantagens oferecidas pelos robôs, mas muitos estudos ainda são necessários antes que o Exército Brasileiro (EB) possa adotar esta tecnologia de forma segura na sua doutrina.

Os sistemas robóticos podem fazer a diferença no equilíbrio de forças. Podemos citar o combate ocorrido recentemente entre Armênia e Azerbaijão, onde um número expressivo de carros de combate e outros veículos blindados armênios foram destruídos ou avariados seriamente por ataques de SARP, modelo Bayraktar (TB2) de fabricação turca. Este Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) é relativamente barato, pequeno e silencioso, além de altamente manobrável. Existe também VANT do tipo kamikaze, a exemplo do IAI Harop israelense, que de forma autônoma pode sobrevoar uma determinada área por horas em busca de um alvo.

Existem diversas variantes e aplicações de sistemas robóticos, como é o caso dos dispositivos blindados conforme (SYDNEY; FREEDBERG, 2020). Muitas vezes chamados de drones blindados, há modelos que podem chegar a 10 toneladas e podem levar lançadores de mísseis, canhões automáticos e metralhadoras pesadas. Estes dispositivos, por não serem tripulados, podem permanecer dias ou até mesmo semanas em missão, além de serem imunes à maioria dos agentes químicos, biológicos, radiológicos e nucleares (MIZOKAMI, 2021).

Para funcionar corretamente, estes robôs têm que reagir às informações recebidas por seus sensores em curto espaço de tempo. No entanto, a interação humana é lenta e pode falhar por problemas no canal de comunicação com o robô. Desta forma, reagir à interação humana pode ser complexo se quisermos compatibilizar a vontade humana com os algoritmos internos do robô que têm por objetivo a sua sobrevivência ou a missão.

Por mais inteligentes que os robôs possam se tornar, não se pode permitir que ele decida pelos seres humanos. Não importa se não tomamos decisões ou emitimos comandos com a rapidez exigida pelas máquinas, o que importa é que os algoritmos dos robôs, por uma questão ética, não podem prescindir de levar em conta as ordens dos seres humanos. No entanto, existe uma questão de compromisso aqui. Robôs estão sujeitos a ameaças que exigem respostas imediatas e se em cada resposta o ser humano tiver que intervir, a eficiência do robô será comprometida. Ou seja, não é apenas colocar o ser humano no circuito ou *Human-In-The-Loop* (HITL), o que pode comprometer a



eficiência do robô é a compatibilização da interação humana com sua eficiência, que se denomina o HITL.

Acreditamos firmemente que o elemento decisivo no combate deve ser o homem e assim deve permanecer, é uma questão de princípios éticos. A responsabilidade pelos atos do robô deve ser do homem que o opera e não do robô. Creditar a responsabilidade dos erros em combate a uma máquina pode levar a consequências terríveis, atribuindo aos robôs o ônus de baixas de civis ou massacres, por isso a relevância de se iniciar esta pesquisa. Além desta contribuição, este trabalho apresenta uma proposta inicial de modelo estocástico de simulação com interação humana e seus resultados mostram que existe espaço para modelos de interação humana com robôs sem comprometer a sua eficiência.

1.1. Procedimentos Metodológicos

Para simular a interação humana em dispositivos SARP foi implementado no software de simulação estocástica PRISM, contendo o cenário, as interações humanas e suas probabilidades. Seguindo o objetivo de se obter estimativas das distâncias percorridas, que por sua vez foram convertidos em gráficos.

Foi realizada revisão bibliográfica envolvendo estudos que abordam o uso da simulação como ferramenta, utilização de VANT e cenários de utilização. Esta pesquisa se enquadra no tipo exploratória, de natureza aplicada e abordagem quantitativa, empregando técnicas específicas para a resolução de problemas observados no mundo real.

2. Sistemas Robóticos Não Tripulados

Aqui apresentaremos alguns dos principais conceitos desta pesquisa que podem ser sistemas robóticos não tripulados. Nos últimos anos estamos acompanhando um grande crescimento da abrangência de sistemas robóticos dos quais podemos caracterizar: a capacidade de realizar movimentos e ao mesmo tempo possuir autonomia e capacidade de interagir com o meio ambiente, possibilitando assim um vasto campo de aplicações e consequentemente trazendo muitos desafios (PIMENTEL, 2016). Dentre os diversos tipos de veículos não tripulados vamos mostrar dois deles que podem ser aplicados em diversos cenários do EB:

2.1. *Unmanned Aerial Vehicles* (UAVs)

Os UAVs, também conhecidos como drones ou VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado). No EB conhecidos como SARP, estão disponíveis nos mais diferentes tamanhos e especificações conforme podemos ilustrar na **Tabela 1**. Estes equipamentos são facilmente empregados na maioria das condições climáticas e operacionais.

**Tabela 1:** Tamanho de drones

	Pequeno	Médio	Grande
Peso	2 a 25 Kg	25 a 50 Kg	acima de 150 Kg
Modelo	S900	Scout B-330 UAV	Predador
Peso	3.3 kg	90 kg	2223 kg
Carga útil	4.9 kg	50 kg	1700 kg
Mecanismo de voo	Multi-rotor	Multi-rotor	Asas fixas
Alcance	N/A	N/A	1852km
Altitude	N/A	3 km	15 km
Tempo de voo	18 min	180min	1800 min
Velocidade	57.6 km/h	100 km/h	482 km/h
Energia	Bateria	Gasolina	Querosene
Motor	Motor Elétrico	Motor a pistão	Turbina

Fonte: FOTOUHI *et al*, 2019

Esta tabela apresenta as especificações dos modelos de UAVs. Dependendo de seus mecanismos de voo, os drones são classificados em três tipos: multi-rotor, asa fixa e híbridos. Os drones multi-rotor (também conhecidos como drones de asas rotativas) que possibilitam decolagem e pouso verticais, além de poder pairar sobre um local fixo, podem fornecer vigilância e comunicação. Estes equipamentos possuem alta manobrabilidade e precisão, no entanto possuem mobilidade limitada pois tem alto consumo de energia no deslocamento em relação a outros tipos de rotores.

Os drones de asa fixa deslizam sobre o ar, tornando-os significativamente mais eficientes em termos de energia em relação ao multi-rotor, além de serem capazes de transportar mais carga. A característica da asa fixa ajuda este tipo de drone a viajar em uma velocidade mais rápida. Uma das desvantagens desse tipo de UAV é a necessidade de uma pista para as manobras de decolagem e pouso em determinados modelos, além de não possuir a capacidade de pairar sobre um local fixo.

Mas atualmente passou a existir os UAVs híbridos, que possuem as principais características dos UAV de asa fixa e asa rotativa que dispensam o uso de pistas para pouso e decolagem. Possuindo a capacidade VTOL que dispensa a necessidade de pistas para pouso e decolagem.

A fonte de energia determina significativamente a sua resistência, autonomia, tempo de uso e distância percorrida. Podem ser de baterias recarregáveis ou alimentados por combustíveis fósseis, este último normalmente utilizado em drones de grande porte obtendo tempos de voo mais longos. Os equipamentos a bordo dos drones precisam de fonte de alimentação de energia elétrica, necessitando do transporte de bateria ou geradores (FOTOUHI *et al*, 2019). O alcance pode variar de



algumas dezenas de metros para os pequenos a centenas de quilômetros para os drones grandes. A **Tabela 2** apresenta a classificação e categorias dos SARP no EB.

Tabela 2: Classificação SARP EB

Categoria	Altitude	Raio de ação	Autonomia
0	Até 900 m	~1 Km	~1 hora
1	Até 1.500 m	~27 Km	~2 horas
2	Até 3.300 m	~63 Km	~15 horas
3	5.500 m	~270 Km	20 - 25 horas
4	9.000 m	270 a 1.110 Km	25 - 40 horas
5	19.800 m	5.550 Km	> 40 horas
6	19.800 m	5.550 Km	> 40 horas

Fonte: BRASIL, 2014a

2.2. *Unmanned Ground Vehicle* (UGVs)

Na explicação do (MEDEIROS, 2016), os UGV são também conhecidos como drones terrestres, cujo tipo de tração é determinado pelo ambiente em que será utilizado. A tração por esteiras é indicada para ambientes onde o terreno é irregular ou com lama, porém, possui a desvantagem de baixa velocidade de locomoção.

A tração por pneus, por sua vez, apresenta maior velocidade de locomoção e pode ser utilizada em situações mais silenciosas quando comparado a esteiras, além de poder contar com um ou mais eixos e ainda até de forma independente em cada pneu. A tração por patas apresenta semelhanças com animais, como os UGVs quadrúpedes que são capazes de transportar cargas em terrenos muito acidentados.

2.3. *Human-in-the-loop* (HITL) e *Human-on-the-loop* (HOTL)

O HITL é definido como um modelo que prevê a interação humana em um sistema automatizado. Nos sistemas com HITL, um humano interage com o sistema, o que aumenta significativamente a dificuldade em modelar estes sistemas e em prever seus resultados. Para auxiliar na modelagem de sistemas HITL é preciso modelar o HITL e testar estes modelos em um simulador. Desta forma, uma simulação que também modele HITL, permite prontamente a identificação de problemas e requisitos que podem não ser facilmente identificados nos projetos de sistemas HITL.

O HITL permite que o usuário altere o resultado de um evento ou processo, utilizado para fins de treinamento, para contribuir para uma transferência positiva de habilidades adquiridas. Isso pode ser demonstrado por simuladores de voo na preparação de pilotos (HAAS; MILLS; GRIMAILA, 2011).



Para (TOMASZEWSKI, 2021), os modelos de aprendizagem HITL requerem sempre a interação humana. Os sistemas HITL permitem que os humanos mudem a produção dos sistemas convencionais de aprendizagem e os simuladores HITL possuam entrada humana como parte da simulação. As simulações envolvendo interação humana permitem identificar falhas de modelo que podem não ser aparentes antes do teste em um ambiente real. Um ótimo exemplo de vantagem desta abordagem está nos simuladores de voo.

Recentemente, surgiu o conceito de HOTL, devido ao fato de que HITL afeta a eficiência do robô. Para que HITL não venha comprometer a sobrevivência do robô ou a missão surgiu o conceito *Human-on-the-loop* (HOTL), onde a interação humana é mediada por agentes de software. Este estudo preliminar visa embasar as pesquisas usando o conceito de HOTL em SARP (TOMASZEWSKI, 2021).

3. SIMULADORES

Existe uma infinidade de simuladores e ferramentas de simulação, dos quais apresentaremos apenas dois com características bem distintas e que são de interesse deste trabalho.

Conforme informado em (FERREIRA *et al*, 2017), a simulação militar é a reprodução dos aspectos contidos em uma atividade militar ou de uma operação de equipamentos de emprego militar, os softwares e infraestruturas.

3.1. *Virtual Battlespace* (VBS3)

O software de simulação *Virtual Battlespace 3* (VBS3) é todo customizável e possui o destaque para a ampla flexibilidade para elaboração de cenários que podem ser alterados durante a execução do exercício. Quando uma viatura é adicionada ao cenário é possível configurar o comportamento dos integrantes de sua guarnição, o nível de combustível, munição, inserir danos, chassi, motor e armamentos (FERREIRA *et al*, 2017).

É possível também alterar o terreno, edificações, obstáculos, população civil, campos de mina, fontes de luz, animais, de som, fogos indiretos dentre outros recursos. O VBS3 possui também treinamento em primeira pessoa, no qual o instruendo incorpora o seu personagem no exercício, possuindo a mesma visão do personagem.

3.2. Ferramenta PRISM

O *Probabilistic Symbolic Model Checker* (PRISM) é uma ferramenta para modelagem e análise de sistemas com comportamento probabilístico. Seu objetivo central é de funcionar como verificador de modelo probabilístico e permitir uma modelagem formal. Para realizar a verificação



do modelo formal, o PRISM permite a implementação de técnicas rigorosas baseadas na matemática por meio de sistemas computadorizados (PRISM, 2021). O modelo probabilístico contido no PRISM versão 4.0 possui verificação quantitativa de autômatos temporais probabilísticos. Possui foco no suporte a cadeias de Markov de tempo contínuo e modelos de recompensa, e podem ser usados para analisar propriedades de performance (KWIATKOWSKA; NORMAN; PARKER, 2009).

A ferramenta PRISM é empregada em sistemas que exibem características probabilísticas, não determinísticas e em tempo real. Em muitos domínios de aplicação estão, por exemplo, a simulação de controladores incorporados em sistemas automotivos ou aniônicos. O PRISM é de código aberto e contém vários componentes de uso independente, entre os quais pode-se citar: kit de ferramentas extensível para construir, verificar e refinar abstrações de modelos probabilísticos; biblioteca de verificação de modelo probabilístico de estado explícito; mecanismo de simulação de eventos discretos para verificação de modelo estatístico; além de suporte para geração de adversários ideais (KWIATKOWSKA; NORMAN; PARKER, 2011). O PRISM foi ganhador dos prêmios *Google Summer of Code* 2013 e 2014.

Apesar da interface de simulação do PRISM não contemplar todos os elementos físicos, tais como combustível, elementos geográficos, inteligência artificial, dentre outros, neste trabalho foi utilizado como alternativa em relação a outros simuladores mais realistas, pois possui a vantagem da utilização de poucos parâmetros na modelagem, que simplificou a sua implementação para alcançar os objetivos deste trabalho. Possibilitou a realização relativamente rápida das simulações. Tais simulações podem atender às características do Método de Monte Carlo (MMC), que se baseiam em amostragens aleatórias massivas para obter resultados numéricos mais precisos (METROPOLIS, 1987).

3.2.1. Processos Estocásticos

Um processo estocástico é definido como uma coleção de variáveis aleatórias indexadas por um determinado parâmetro, no qual o tempo é normalmente referenciado. Num cenário típico, pode-se indicar: os totais de distâncias percorridas pelo SARP em determinado tempo; ou o número de missões cumpridas pelo SARP momento em determinado tempo; ou até mesmo a quantidade de voos realizados. Um processo estocástico é considerado como tempo discreto enquanto o parâmetro é um conjunto contável. Se o intervalo do parâmetro for um intervalo da linha real, o processo estocástico é um processo de tempo contínuo. Assim, um processo estocástico é uma família de variáveis aleatórias que descreve um determinado tipo de evolução ao longo do tempo de algum processo (ROSS, 2014).



3.2.2. Cadeias de Markov

Segundo Ross (2014) e conforme representado na equação abaixo, o conceito básico contido na Cadeia de Markov é que o próximo passo do sistema só depende do atual, conforme equação:

$$P\{X_{n+1}=j \vee X_n=i, X_{n-1}=i_{n-1}, \dots, X_1=i_1, X_0=i_0\} = P_{ij}$$

É possível modelar na Cadeia de Markov qualquer processo em que sua estrutura possa ser representada como grafo. A nossa simulação visa realizar o processo de movimentação do SARP dentro da cadeia de Markov. De posse dessa implementação será possível simular a missão e obter parâmetros do sucesso da missão além da distância percorrida por cada uma delas. As análises serão realizadas após o retorno do SARP à base. A Cadeia de Markov também pode ser representada pela matriz de possibilidades em estados x, y (horizontal e vertical).

4. Simulações

Foi considerado um cenário hipotético militar, em que se deseje que a aeronave deve se manter furtiva, e que no trajeto da aeronave podem existir probabilidades de ataques, inimigos à espreita, interferências eletromagnéticas, obstáculos e outras incertezas que podem levar a interação humana. Nas simulações foram utilizados os parâmetros do Nauru 500C (NAURU 500C, 2021), que não é o modelo de SARP adquirido pelo EB, porém foi o equipamento fornecido pela fabricante para o treinamento dos futuros operadores.

Tabela 3: Especificações (NAURU 500C, 2021)

Fabricação	Brasil
Plataforma aérea	Híbrido, asa rotativa (multirotores) e asa fixa
Envergadura	3 metros
Payload	7 Kg (normalmente utilizado para sensores e câmeras)
Autonomia	4 horas (distância máxima percorrida 360 Km)
Peso	25 Kg
Alcance	Até 60 Km (alcance máximo da comunicação)
Velocidade	90 Km/h (velocidade de cruzeiro)
Estrutura	Poliarilamida (Kevlar)
Lançamento e Pouso	Vertical take-Off and Landing (VTOL)
Energia	Baterias (VTOL) e gasolina de aviação
Gerador de planos	XPlanner

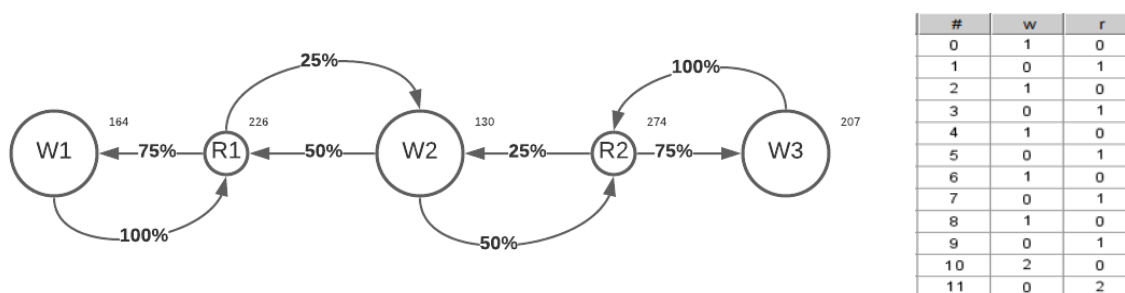
Fonte: (NAURU 500C, 2021)



4.1. Modelagem da simulação

O objetivo da simulação foi implementar os componentes das interações humanas (comando externo do operador) em cadeias de Markov, na qual a interação não será ponderada. A ferramenta PRISM, conforme informado anteriormente, é uma ferramenta para modelagem e análise de sistemas com comportamento probabilístico. Como prova de conceito e para entendimento da ferramenta PRISM, foi utilizado um cenário simples para testar o seu funcionamento, conforme mostrado na **figura 1**.

Figura 1 – Simulação PRISM



Fonte: o autor

Este cenário em forma de grafo, mostra o percurso do SARP, onde inicia o seu trajeto em W1. Do lado direito da figura temos um fragmento dos resultados da simulação PRISM em forma de tabela. Nesta tabela, a coluna (#) representa o estado do experimento, (w) o waypoint e (r) a rota. Por exemplo, no estado 10 é possível verificar que o SARP se encontra no vértice W3. Os zeros (0) da tabela representam a ausência do SARP. No grafo, todas as arestas possuem a probabilidade identificada em %.

Foram utilizados 1.000 estados nos experimentos, onde o drone seguiu conforme previsto. Os números menores do grafo representam a quantidade de vezes que o drone “visitou” um determinado vértice: 164 vezes em W1, 226 vezes em R1, 130 vezes em W2, 274 vezes em R2 e 207 vezes em W3. Note que a probabilidade de 75% nas arestas (R1-W1) e (R2-W3) fizeram com que o SARP permanecesse mais nas extremidades do grafo pois estas probabilidades são maiores que as probabilidades das arestas (R2-W2) e (R2-W1).

Neste trabalho, não foram utilizados outros parâmetros de simulação, tais como, a velocidade e direção do vento, relevo, combustível, dentre outros. Pois o objetivo deste trabalho foi a influência humana no tocante à distância percorrida. De posse da distância percorrida é possível estimar outros fatores como o gasto de combustível, desgaste dos seus componentes internos, tempo da missão, a sua disponibilidade para outras missões, dentre outros.

Após a realização da prova de conceito, mostramos (à esquerda) da **figura 2** um cenário ASARP extraído do manual de campanha MD33-M-13 (BRASIL, 2014b). A direita temos o mesmo



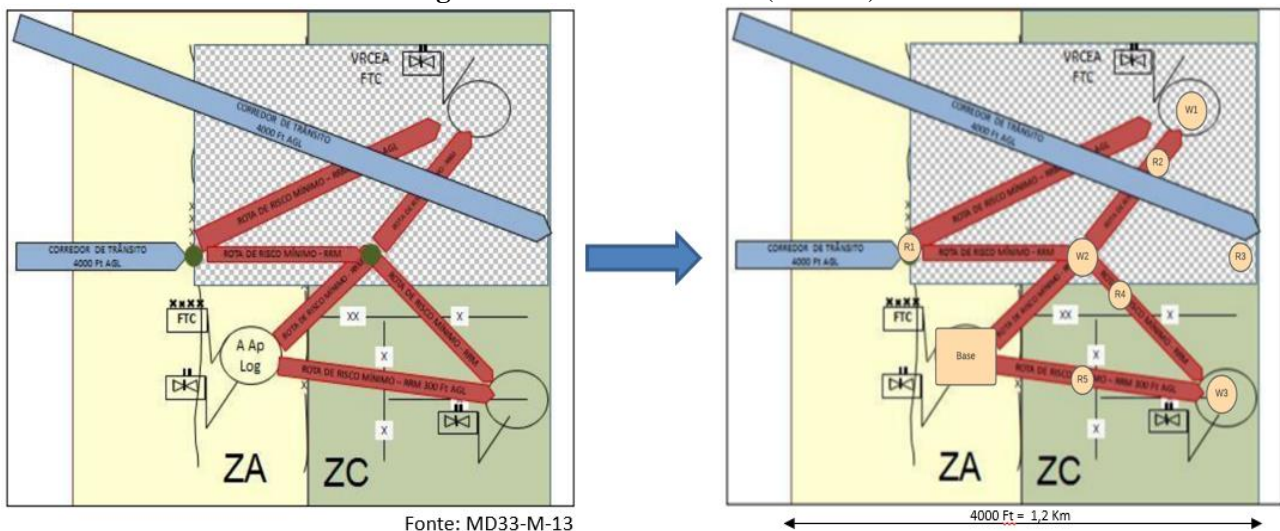
cenário com as definições dos principais pontos de interesse: base de operações (B), pelos waypoints de vigilância (W1, W2 e W3) e rotas (R1, R2, R3, R4 e R5).

Utilizando os mesmos pontos de interesse, a **figura 3** apresenta em forma de grafo um modelo sem escala da **figura 2**. Procurou-se utilizar através das setas e distância o trajeto do SARP. Foi considerado o seguinte plano de voo:

B -> R1 -> W1 -> R2 -> W2 -> R4 -> W3 -> R5 -> B

Este caminho contido na missão do SARP é considerado ideal e na simulação sofrerá as interações do operador, e através do simulador PRISM levantaremos a variação das distâncias percorridas.

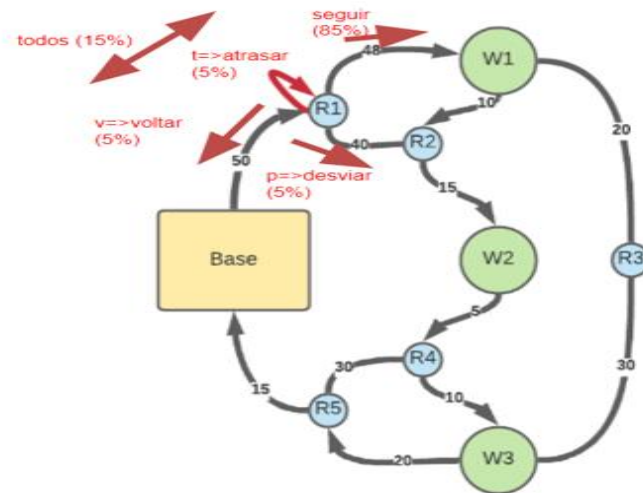
Figura 2: Area de voo SARP (ASARP)



Fonte: Adaptado de BRASIL, 2014b

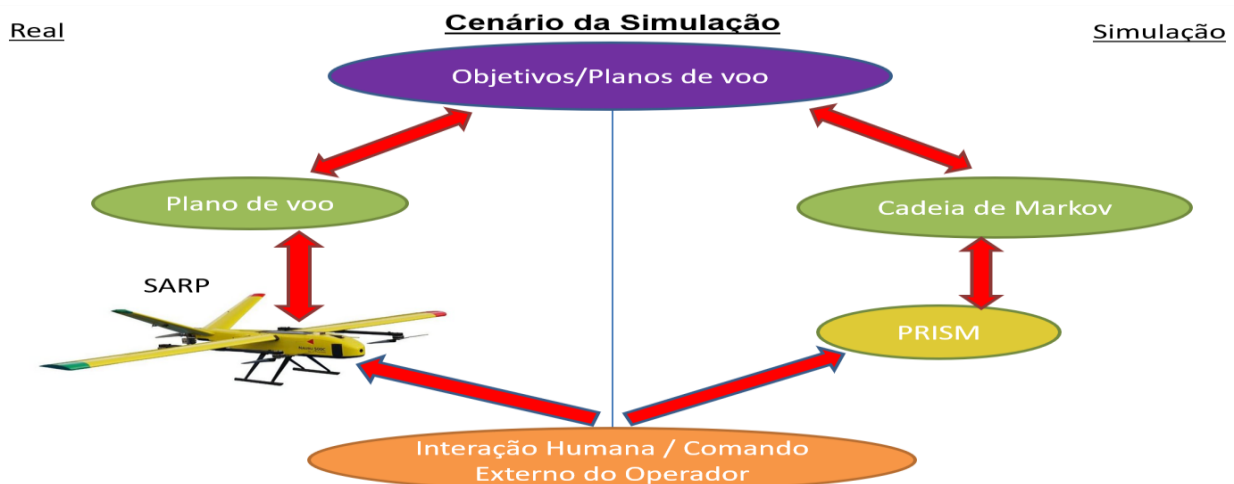
A **figura 3** mostra as distâncias em cada aresta, e as interações humanas (setas em vermelho), onde:

- AT (atrasar): é a interação onde o SARP realiza um atraso no ponto onde se encontra para realizar o atraso ao custo de 1 Unidade de Distância (UD);
- DE (desviar): é a interação de utilizar um caminho diferente do que está contido no plano ideal de voo;
- VO (voltar): é a interação em que o operador volta ao ponto anterior onde se encontra;
- TO (todos): é qualquer uma das interações apresentadas acima e na mesma proporção; e
- SE (seguir em frente): seguir conforme o plano de voo, ausência de interação humana.

**Figura 3:** Plano de Voo e interações possíveis**Fonte:** o autor

A ausência de interação (SE) é calculada pela diferença entre 100 e a probabilidade da interação, ou seja, caso ocorra AT a 10%, a probabilidade SE será de 90% (100% - 10%).

Procurou-se manter as proporções das distâncias do mapa da figura 2, considerando que 1 UD corresponda a 1 Km. Na simulação cada unidade contida nas arestas equivale a aproximadamente 0,14 UD ou 0,14 Km.

Figura 4: comparações dos cenários real e simulado**Fonte:** o autor

A figura 4 apresenta a aderência do mundo real ao modelo estocástico. Do lado esquerdo, temos o mundo real com a modelagem da interação humana, onde o operador atua diretamente no SARP. E do lado direito temos a simulação onde o plano de voo e as interações estão mapeados em



cadeias de Markov. As extremidades inferior e superior apresentam as interações do operador e objetivos.

Foram utilizadas as probabilidades de 10%, 20% e 30% de interação humana, em virtude da obtenção de resultados mais relevantes, probabilidades inferiores apresentam poucos movimentos e probabilidades elevadas resultam em muitos *outliers*.

4.2. Simulação

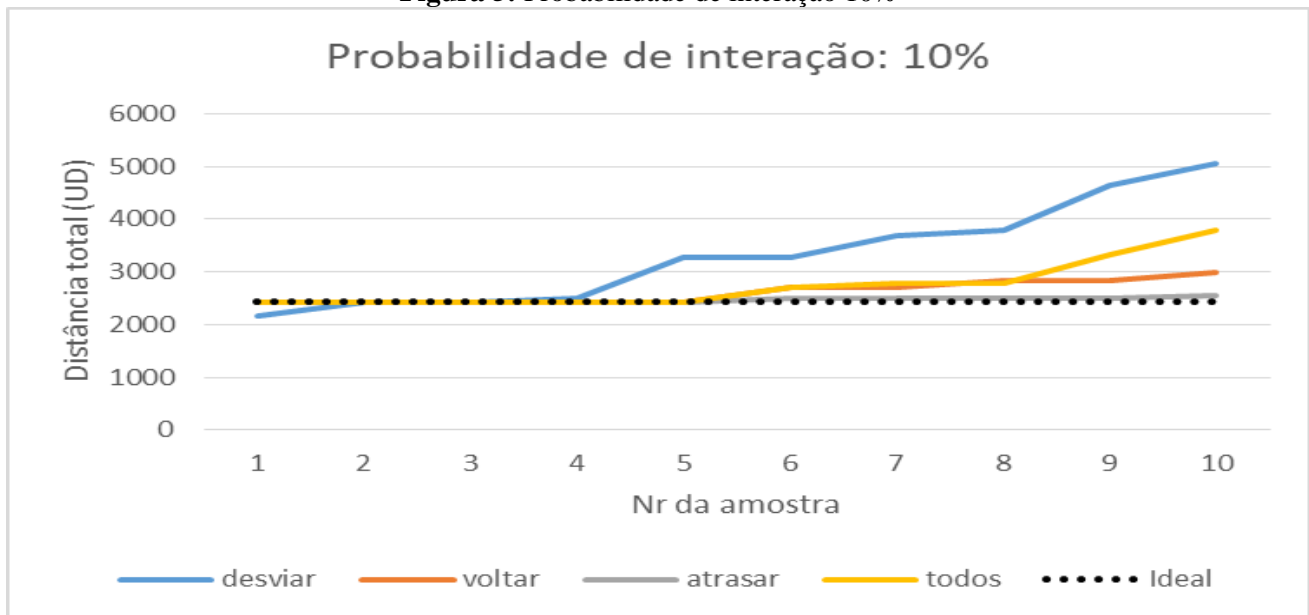
Numa situação real, as interações humanas contrariariam os planos contidos no *XPlanner* citado na **Tabela 3**, onde o SARP sempre obedecerá ao comando do operador. Por exemplo, o SARP ao chegar em B pode receber ordens para voltar para R1 e não pousar em B, ou o SARP pode sair de B, ir para R5 usando um desvio (rota alternativa). Como também ao chegar em R1, ele pode retornar para B sem cumprir a missão.

Na simulação procurou-se respeitar o limite de comunicação do SARP que é de 60 UD (**Tabela 3**). E foram modelados diversos caminhos alternativos no qual o SARP poderá cumprir todos os objetivos ou parcialmente, ou até mesmo nenhum. Foi considerado a distância de 1 UD em AT, em virtude do raio limite mínimo que o SARP utiliza para fazer uma curva sem estolar, que nesse caso é de 0,40 UD.

Caso o SARP (de asa fixa) faça curvas mais acentuadas que o seu raio limite, pode perder a sustentação e cair. Em contrapartida, o raio não pode ser excessivamente grande para que não haja exposição exagerada do SARP ou consumo excessivo de combustível. Os motores elétricos do SARP são utilizados em manobras de levantar voo e pousar (VTOL), não indicados para pairar ou realizar a interação AT por longos períodos.

O objetivo desta simulação é levantar a variação de distâncias provocadas pelas interações humanas no contexto HOTL e o quanto poderão afetar o andamento das missões contidas nos planos de voo do SARP. Na geração dos gráficos, verificação e análise dos resultados foram utilizados o editor de planilhas *EXCEL* e a ferramenta estatística *PAST*.

As **figuras 5, 6 e 7** apresentam de forma ordenada as distâncias percorridas pelo SARP, utilizando as probabilidades de interação humana de 10%, 20% e 30%, respectivamente. As legendas das figuras representam o tipo de interação humana utilizada. O eixo Y apresenta a distância em UD percorrida pelo SARP, e o eixo X apresenta a amostra utilizada em ordem crescente de resultados.

**Figura 5:** Probabilidade de interação 10%

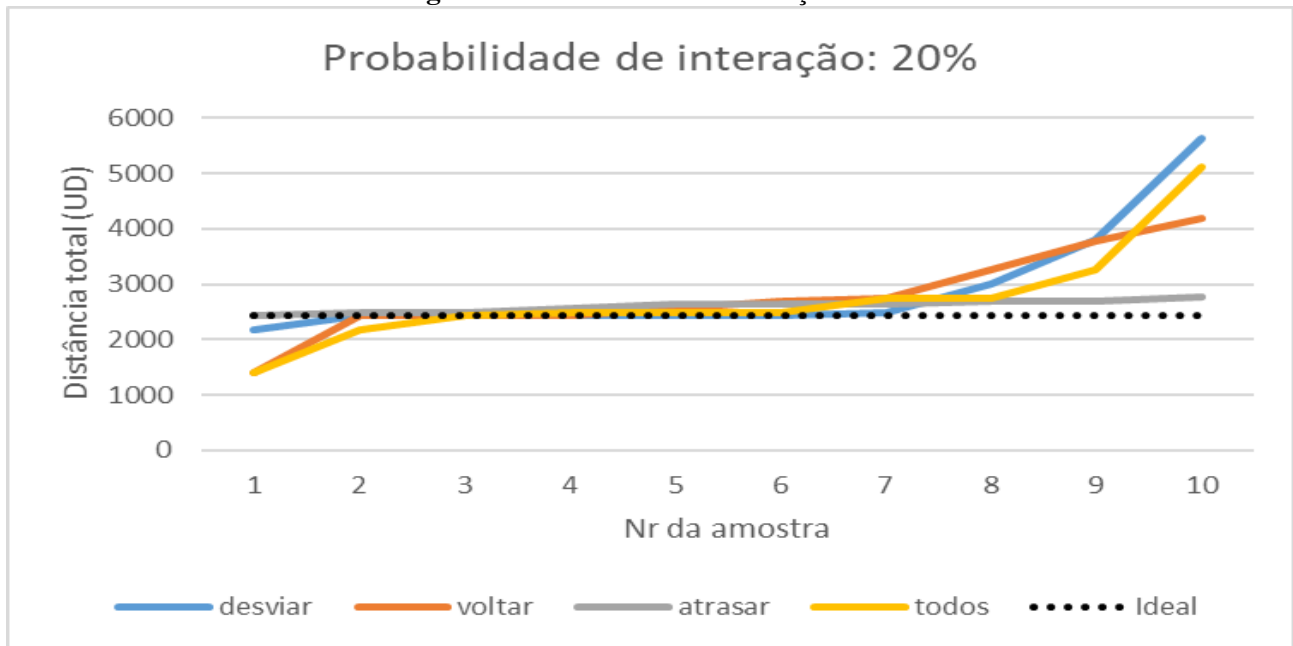
Fonte: o autor

Com custo de 1 UD por interação, o AT foi a interação que mais se aproximou da ideal em todos os testes, obtendo a menor variação de distância. A linha pontilhada representa o caminho contido em seu plano de voo (ideal).

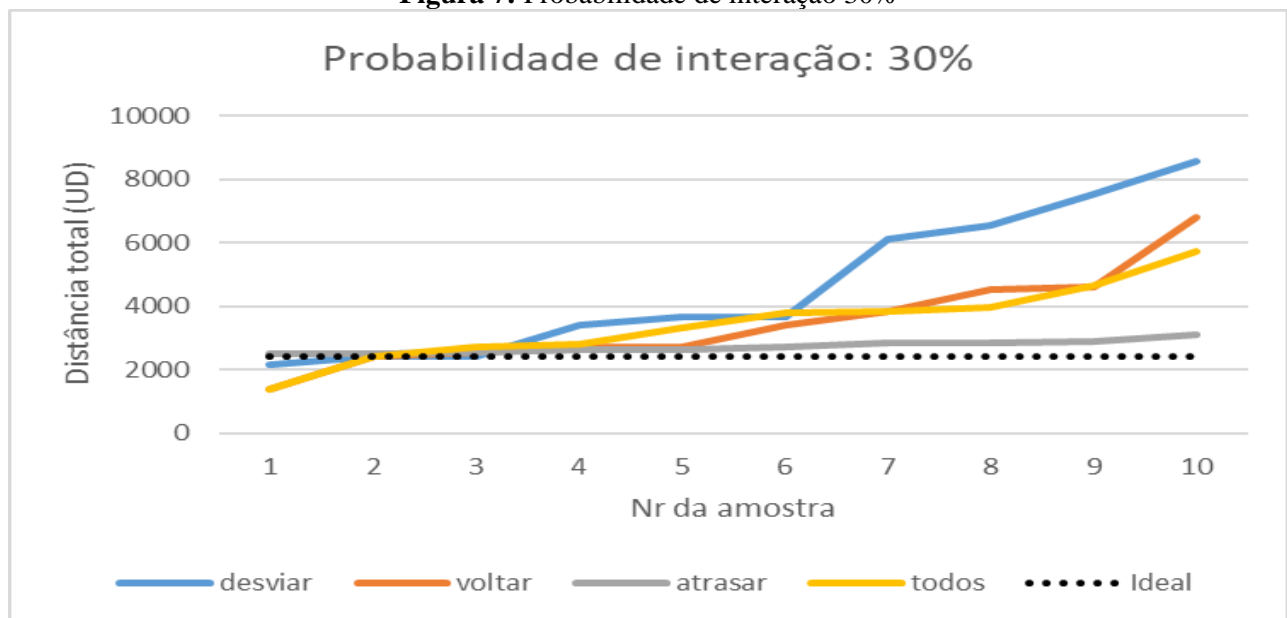
Nota-se um aumento significativo da distância percorrida na **figura 7** em virtude de uma interação ser maior em relação aos resultados das **figuras 6 e 7**. Em todos os testes, foi percebido que quanto maior a probabilidade de interação, maior a distância percorrida pelo SARP.

Percebe-se que a interação TO foi menor que a interação DE e se aproximou da interação VO, pelo motivo da interação AT ser uma das componentes do TO, que diminuiu o seu valor.

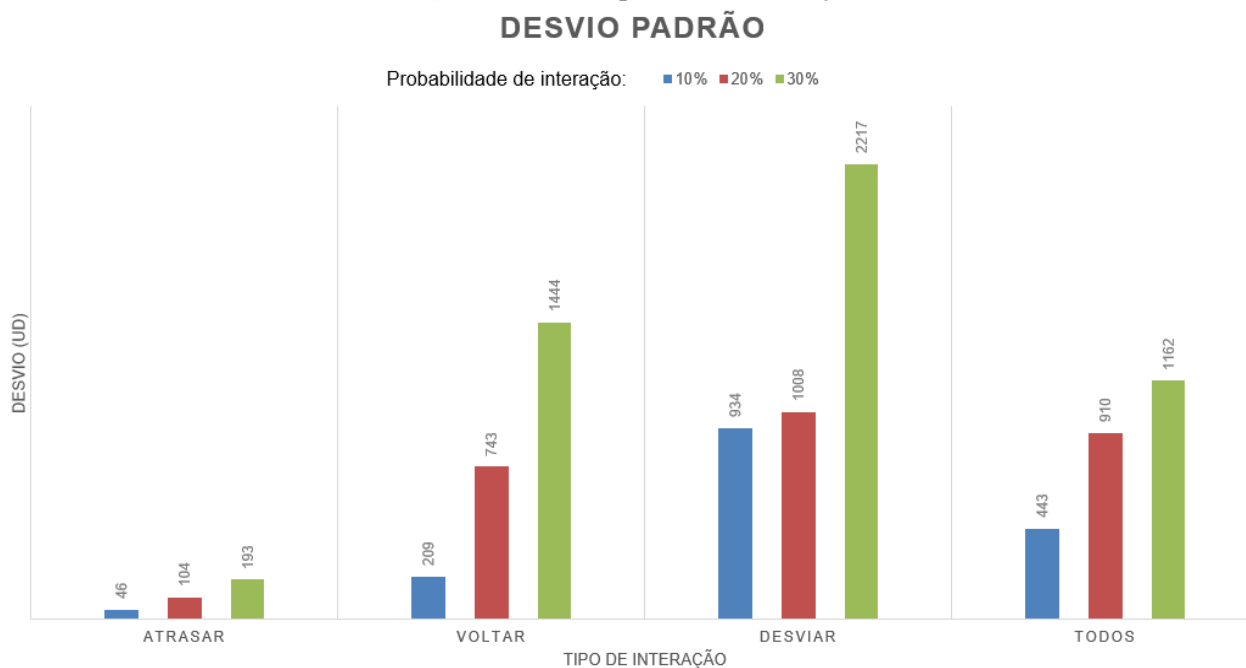
Nos experimentos observamos que algumas amostras apresentaram resultados com distâncias menores que o contido no plano de voo (ideal), em razão do drone, que influenciado pelas interações humanas percorreu um caminho menor que o definido em seu plano de voo original.

**Figura 6:** Probabilidade de interação 20%

Nota-se que a interação DE foi a que apresentou maior custo em todas as interações humanas e que o mínimo de interação humana causou incremento nas distâncias percorridas, alguns dos resultados significativos, chegando a ultrapassar o dobro da média do ideal.

Figura 7: Probabilidade de interação 30%

A **figura 8** apresenta o desvio padrão dos tipos de interações utilizadas onde nota-se que foi fortemente influenciado pela probabilidade de interação. Neste resultado, quem mais se aproximou do ideal foi novamente a interação AT.

**Figura 8:** Desvio padrão da simulação

Fonte: o autor

5. Conclusão

Com base nos preliminares, observa-se que a interação humana pode afetar significativamente a eficiência do SARP. Fica evidente que, em todas as interações do operador, a eficiência no cumprimento final da missão é afetada. Embora não se possa garantir que o efeito seja sempre negativo pois o operador também pode tomar uma linha de ação que favoreça o cumprimento da missão.

O simples fato de haver risco de redução na eficiência, já justifica estudar o assunto e buscar melhorias. O que se espera nesta pesquisa é trazer um modelo de simulação que tenha opções de configuração, onde o objetivo final seja mantido, compatibilizando as ações de um operador externo e os algoritmos internos do SARP.

O uso de modelos estocásticos com o uso da ferramenta PRISM em cenários utilizados pelo EB avaliou o quanto a distância percorrida pelo SARP será aumentada por causa da interação humana. O modelo de simulação poderá ser utilizado em outros cenários de interesse ou outros tipos de sistemas robóticos, tais como marítimos, terrestres e sistemas de armas robóticas.

O uso do SARP pelo EB ainda é muito recente e há diversas lacunas a serem preenchidas em várias áreas de pesquisa. Contudo, este trabalho é um dos primeiros envolvendo simulações de deslocamento com interações humanas estocásticas. Seu uso para a simulação de missões é uma opção interessante para ser usada no planejamento de exercícios e operações reais envolvendo a utilização de SARP ou outros sistemas robóticos.



Apesar das limitações do cenário real proposto, considerando os atributos essenciais da operação de SARP e da abrangência da proposta em virtude do cenário adotado a ser limitado por conta da complexidade para implementar algo fidedigno à realidade, os resultados iniciais permitem concluir que a consecução de eventos atende muito bem a diversos cenários e deve ser levado em consideração com relação a outros contextos.

Embora a modelagem deste trabalho esteja essencialmente voltada a comportamentos humanos, na literatura não foi encontrada discussão acerca da interação humana influenciando os planos contidos em simulações estocásticas. Esta pesquisa traz um cenário motivador para a construção de simulador estocástico, que passa a utilizar os comandos do operador como se fosse uma fonte externa com a qual deva-se lidar.

O uso de simuladores estocásticos traz diversas vantagens, como por exemplo a implementação de cenários e realização de simulações focadas em um objetivo de forma mais rápida e simples em comparação aos simuladores tradicionais. Conforme demonstrado nesta pesquisa, as simulações estocásticas podem realizar centenas de simulações em curto período. E tais simulações podem assumir características semelhantes ao do método de Monte Carlo, que é uma alternativa de levantar dados mais precisos para futuros planejamentos de missões.

O SARP tipo 2 recentemente adquirido pelo EB pode ser usado em diversos tipos de missões. Dada a extensão territorial do Brasil, o desempenho do SARP no tocante a tempo e distância é um critério muito relevante, o que justifica por si só o estudo sobre o tema.

Pesquisas futuras podem relacionar outros focos como consumo de combustível, fadiga de operadores e desgastes de componentes mecânicos, além de indicadores operacionais como número de missões diárias e recursos humanos empregados por missão. Por fim, esta pesquisa poderá ser transposta para cenários terrestres ou marítimos, com os devidos ajustes.



Referências

BRASIL. Ministério da Defesa. **Manual de Campanha EB20-MC-10.214 Vetores Aéreos da Força Terrestre**. 1ª Edição, Brasília-DF, 2014a Disponível em: <https://bdex.eb.mil.br/jspui/bitstream/123456789/88/1/EB20-MC-10.214.pdf>. Acesso em 01 FEV 2021.

BRASIL. Ministério da Defesa. **MD33-M-13 Medidas De Coordenação Do Espaço Aéreo Nas Operações Conjuntas**. 1ª Edição, Brasília-DF. 2014b. Disponível em: https://www.gov.br/defesa/pt-br/arquivos/legislacao/emcfa/publicacoes/operacoes/md33a_ma_13a_medidas_coora_espa_aera_o_pa_cja_1a_2014.pdf. Acesso em: 01 FEV 2021.

FERREIRA, V. E. N. *et al.* A simulação virtual tática no ensino e no treinamento militar. **Defesa Net**. 2017. Disponível em: <https://www.defesanet.com.br/doutrina/noticia/26410/A-simulacao-virtual-tatica-no-ensino-e-no-treinamento-militar/>. Acesso em: 10 MAI 2021.

FOTOUHI, A. *et al.* 2019. Survey on UAV Cellular Communications: Practical Aspects, Standardization Advancements, Regulation, and Security Challenges. **IEEE Communications Surveys and Tutorials**, 2019. p. 3417-3442. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8675384>. DOI: [10.1109/COMST.2019.2906228](https://doi.org/10.1109/COMST.2019.2906228). Acesso em: 01 JUL 2021.

HAAS, M. W.; MILLS, R.; GRIMAILA M. R.; Aiding Understanding of Contested Information Environment Affect on Operations. In: ROTHROCK, L.; NARAYANAN, S. (Ed) **Human-in-the-Loop Simulations**. Heidelberg: Springer, 2011. p. 175-202. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/268687841_Aiding_Understanding_of_Contested_Information_Environment_Affect_on_Operations. DOI: [10.1007/978-0-85729-883-6](https://doi.org/10.1007/978-0-85729-883-6). Acesso em: 01 FEV 2021.

ISMAIL, R. M.; MUTHUKUMARASWAMY, S.; SASIKALA A. Military Support and Rescue Robot. In: **2020 4th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS)**. Madurai: IEEE. 2020, p. 156-162. DOI: [10.1109/ICICCS48265.2020.9121041](https://doi.org/10.1109/ICICCS48265.2020.9121041). Acesso em: 01 FEV 2021.

KWIATKOWSKA, M.; NORMAN, G.; PARKER, D. PRISM 4.0: Verification of Probabilistic Real-Time Systems. GOPALAKRISHNAN G., QADEER S. (Ed) **Computer Aided Verification – CAV**; 2011. Lecture Notes in Computer Science, vol 6806. Springer, Berlin, Heidelberg. p. 585-591. Disponível em <https://prismmodelchecker.org/papers/cav11.pdf>. DOI: [10.1007/978-3-642-22110-1_47](https://doi.org/10.1007/978-3-642-22110-1_47). Acesso em: 01 FEV 2021.

KWIATKOWSKA, M.; NORMAN, G.; PARKER, D. PRISM: Probabilistic model checking for performance and reliability analysis. **ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review**, New York, 2009, vol. 36, n. 4, MAR, p. 40-45. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/1530873.1530882>. DOI: [10.1145/1530873.1530882](https://doi.org/10.1145/1530873.1530882). Acesso em: 01 FEV 2021.

MEDEIROS NETO, M. P. **Veículos aéreos não tripulados e sistema de entrega: estudo, desenvolvimento e testes**. 2016. 103f: il. Dissertação (Mestrado em Sistemas e Computação) - Universidade Federal Do Rio Grande Do Norte, Natal, RN, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/21459>. Acesso em: 01 FEV 2021.

METROPOLIS, N. The beginning of the Monte Carlo method. **Los Alamos Science**, Special Issue dedicated to Stanislaw Ulam: 125–130, 1987. Disponível em: <https://library.lanl.gov/cgi-bin/getfile?00326866.pdf>. Acesso em: 01 FEV 2021.



MIZOKAMI, K. The Army Is Forming a Whole Family of Armed Robot Tanks. **Popular Mechanics**. 2021 Disponível em: <https://www.popularmechanics.com/military/weapons/a34659199/army-family-robotic-tanks/>. Acesso em 07 JAN de 2021.

NAURU 500C VTOL. **Xmrobots**. 2021. Disponível em: <https://xmrobots.com.br/nauru-500c-vtol> . Características do NAURU 500C VTOL Acesso em: 15 JAN 2021.

PIMENTEL, J. **Avaliação e Correção do Modelo Cinemático de Robôs Móveis Visando a Redução de Erros no Seguimento de Trajetórias**. 2003. 124p. Dissertação (Mestrado em Automação e Informática industrial) – Centro de Ciências Tecnológicas da Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, SC, 2003. Disponível em: <https://ppgee.ufmg.br/defesas/1121M.PDF>. Acesso em: 01 FEV 2021.

PRISM - **Probabilistic Symbolic Model Checker**. 2021. Disponível em <http://www.prismmodelchecker.org>. Acesso em: 10 MAI 2021.

ROSS, S. M. **Introduction to Probability Models Eleven Edition**. Academic Press, 2014. Disponível em <http://mitran-lab.amath.unc.edu/courses/MATH768/biblio/introduction-to-prob-models-11th-edition.PDF>. ISBN 978-0-12-407948-9. Acesso em: 01 FEV 2021.

SYDNEY J.; FREEDBERG JR. Army Robots: Two Contracts Forward, One Contract Back. **Breaking Defense**, 2020. Disponível em <https://breakingdefense.com/2020/01/army-robots-two-contracts-forward-one-contract-back/> . Acesso em: 07 JAN 2021.

TOMASZEWSKI, J. E. Overview of the role of artificial intelligence in pathology: the computer as a pathology digital assistant. *In*: COHEN, S. (Ed). **Artificial Intelligence and Deep Learning in Pathology**. 1 ed: Elsevier, 2021, p. 237-262 Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323675383000117>. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-67538-3.00011-7>. Acesso em: 01 JUL 2021.