

PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA: TENDÊNCIAS E VISÃO DE FUTURO EM SISTEMAS ANTI-SARP*

TC QEM RICARDO WAGNER AMORIM GUIMARÃES

Cap QEM LIGIA LOPES FERNANDES

Cap QEM FERNANDA CASTELLO BRANCO MADEU

O desafio do combate às aeronaves remotamente pilotadas civis e militares cresceu exponencialmente à medida que o estoque mundial de UAV aumentou em mais de dez vezes nos últimos vinte anos. Portanto, para garantir a privacidade pessoal, comercial, de instalações públicas e militares contra SARPs maliciosos, torna-se necessário um sistema de proteção, aqui referido como um sistema anti-SARP. Nesse contexto, o presente estudo teve por premissa explorar informações ostensivas, a produção científica e os ativos de propriedade

intelectual, com o objetivo de estabelecer o estado de desenvolvimento e tendências futuras de tecnologias anti-SARP. Utilizando recursos bibliométricos, são apresentados os cenários científico e tecnológico, além da análise das tecnologias extraídas de documentos de patentes e publicações científicas. Para tanto, utilizou-se uma metodologia de elaboração de mapa de rotas tecnológicas. Foi identificado que países como China, Estados Unidos e Alemanha dominam o mercado e o cenário acadêmico das tecnologias anti-SARP.

*Artigo elaborado por oficiais que compõem a Agência de Gestão e Inovação Tecnológica (AGITEC)



Além disso, tecnologias como Rádio frequência, Radar, *Jamming*, *Spoofing*, IoT, *Deep Learning*, Fusão de dados, Aprendizado de máquina e Inteligência de enxames foram apontadas como algumas das principais tendências em tecnologias anti-SARP. Finalmente, o amplo rol de aplicações tecnológicas com consequências comerciais ou de interesse de Defesa possibilitadas pelas tecnologias anti-SARP, desde o operacional ao estratégico, enseja o desafio de um projeto de Estado para robustecer o desenvolvimento tecnológico autóctone e assim aumentar a competitividade das atividades econômicas do País, ao passo que também é fulcral para salvaguardar os interesses e a segurança nacional.

1. INTRODUÇÃO

Um Sistema de Aeronaves Remotamente Pilotadas (SARP) é um conjunto de meios que constituem um elemento de emprego de aeronaves remotamente pilotadas para o cumprimento de uma determinada missão (BRASIL, 2014). O SARP é geralmente formado por três elementos básicos: um módulo de voo que corresponde à aeronave; o módulo de controle do veículo remotamente pilotado, responsável pela operação dos sensores embarcados; e o módulo de comando e controle, responsável por manter o enlace com a aeronave e com os órgãos de

coordenação do espaço aéreo (LIMA FILHO, 2020).

Os primeiros SARP foram testados pelos Estados Unidos no período da Primeira Guerra Mundial, embora não tenham sido usados durante o combate (GERTLER, 2012). A partir de então, as aeronaves remotamente pilotadas foram utilizados como alvos móveis para treinamento das guarnições das armas antiaéreas (LIMA FILHO, 2020). Somente na Guerra do Vietnã, os Estados Unidos empregaram o SARP AQM-34 *Firebee* em combate (GERTLER, 2012).

Nos últimos cinco anos, os SARP, muitas vezes referidos popularmente como drones, têm experimentado um crescimento nos Estados Unidos e em todo o mundo (WANG; LIU; SONG, 2021). Em particular, o número de países detentores de SARP aumentou cerca de 58% entre 2010 e 2019 (GETTINGER, 2019). Por estimativa da Administração Federal da Aviação dos Estados Unidos (*Federal Aviation Administration – FAA*), a frota de SARP americana deve crescer de 1,25 milhão de unidades, para cerca de 1,39 milhões de unidades até 2023 (WANG; LIU; SONG, 2021).

Acredita-se que os SARP ofereçam como principais vantagens sobre as aeronaves tripuladas fatores como: a eliminação do



risco à vida de um piloto; suas capacidades aeronáuticas, como resistência, não estão vinculadas a limitações humanas; menores custos de aquisição e ciclo de vida; menores restrições para seu emprego; e drones menores poder voar em baixas altitudes com velocidades menores e carga útil limitada (GERTLER, 2012; ZHANG et al., 2018 e KANG et al., 2020). Devido a suas vantagens, os SARP tornaram-se importantes armas militares.

O desafio do combate às aeronaves remotamente pilotadas civis e militares cresceu exponencialmente à medida que o estoque mundial de UAV cresceu de aproximadamente 20 tipos de sistema e 800 aeronaves em 1999, para mais de 200 tipos de sistema e aproximadamente 10.000 aeronaves não tripuladas em 2010 (ZHANG et al., 2018). As ameaças impostas por SARP inimigos vão desde a vigilância ilegal de pessoas e instalações até ataques não tripulados a alvos (WANG; LIU; SONG, 2021). Ademais, os SARP em emprego em um sistema de defesa ou em uma operação podem ser desligados remotamente, sequestrados, levados para longe ou roubados (CHAMOLA et al., 2021).

Portanto, para garantir a privacidade pessoal, comercial, de instalações públicas e militares contra SARP maliciosos, torna-se necessário um sistema de proteção, aqui referido como um sistema anti-SARP. O crescimento das tecnologias anti-SARP está diretamente ligado a crescentes preocupações sobre a ameaça que a proliferação do uso de aeronaves remotamente pilotadas representa tanto no meio civil como no meio militar (MICHEL, 2018).

As tecnologias chamadas coletivamente de tecnologias anti-SARP empregam uma variedade de sensores e processos que explicam ou exploram os componentes físicos de uma aeronave remotamente pilotadas e as comunicações entre o SARP e seu centro de comando (PATEL e RIZER, 2019). Assim, as tecnologias anti-SARP são empregadas na prevenção a ataques potenciais de SARP, capturando-os ou bloqueando seu canal de comunicação para interromper seu padrão de voo ou forçar sua aterrissagem (CHAMOLA et al., 2021 e WANG; LIU; SONG; 2021).

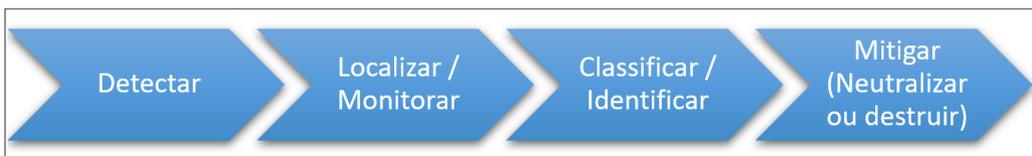


Figura 1 – Cadeia de processamento de uma ameaça SARP (Fonte: Patel e Rizer (2019, p. 13)).



Assim, o subsistema de detecção de SARP ideal, irá detectar, rastrear, identificar uma aeronave não tripulada (WANG; LIU; SONG, 2021). Radares militares antiaéreos são projetados principalmente para detectar objetos grandes e que se movem rapidamente e, conseqüentemente, eles nem sempre podem detectar SARP pequenos, lentos, voando em baixas altitudes (MICHEL, 2018 e SAYLER, 2021).

Por sua vez, o subsistema de mitigação anti-SARP ideal irá desativar, interromper ou assumir o controle de uma aeronave não tripulada ou SARP, garantindo baixos danos colaterais e baixo custo por engajamento (WANG; LIU; SONG, 2021). Embora os sistemas de mísseis sejam preferidos por muitos países, o emprego de sistemas de defesa antiaérea e/ou de caças pode ser impraticável, pois, além de não serem geralmente projetados para detectar alvos pequenos como os SARP, uma tentativa de destruir um SARP pode custar centenas de milhares de dólares por tiro (MICHEL, 2018 e ZHANG et al., 2018).

As tecnologias de mitigação anti-SARP incluem, além da defesa aérea tradicional, sistema de armas, guerra eletrônica, ARPs com armas ou meios de guerra eletrônica embarcados, armas a laser, entre outras (ZHANG et al., 2018). Contudo, esses esforços não estão maduros: falta de

escalabilidade, modularidade ou acessibilidade (WANG; LIU; SONG, 2021).

As tecnologias anti-SARP já foram amplamente utilizadas em certas aplicações. No campo de batalha, os sistemas anti-SARP até agora têm sido mais comumente usados para proteção de instalações, complementando as armas como sistemas de antimorteiros e plataformas de vigilância. Também há um interesse crescente em sistemas portáteis e móveis que podem ser usados para proteger unidades terrestres e comboios. Em ambientes civis, a tecnologia de anti-SARP até agora tem sido usada principalmente para proteção do espaço aéreo em aeroportos, segurança durante grandes eventos, como convenções partidárias e jogos esportivos, proteção VIP e operações de anti-contrabando em prisões (MICHEL, 2018).

Neste contexto, o objetivo do presente estudo consiste em evidenciar os esforços científicos e tecnológicos empreendidos por países, instituições científicas e empresas, a partir dos ativos de propriedade intelectual como artigos e patentes e fontes de notícias e relatórios de mídia especializada sobre as tecnologias anti-SARP. Para efeito de organização, esse trabalho



divide-se como segue: a Seção 2 pormenoriza a Metodologia empregada; a Seção 3, apresenta e discute os resultados; a Seção 4 trata de limitações do estudo, e; por fim, a Seção 5, apresenta as Conclusões.

1. METODOLOGIA

Pretende-se revelar o estado tecnológico atual. Para isso, por intermédio da bibliometria de patentes, da literatura científica (artigos, capítulos de livros, anais de congressos etc.) e de fontes ostensivas de informações atuais, buscam-se evidências

que colaborem com a área em questão. Para tanto, serão empregadas as bases de dados *Derwent Innovation* e *Scopus*, além de refinamentos sucessivos de modo a produzir novos conhecimentos acerca do tema alvo.

Para a condução deste estudo, adaptou-se a metodologia de elaboração de mapa de rotas tecnológicas elaborada por Borschvier e da Silva (2016). Nesta metodologia, o estudo é dividido em três fases: etapa pré-prospectiva; etapa prospectiva e etapa pós-prospectiva, conforme a Figura 2.

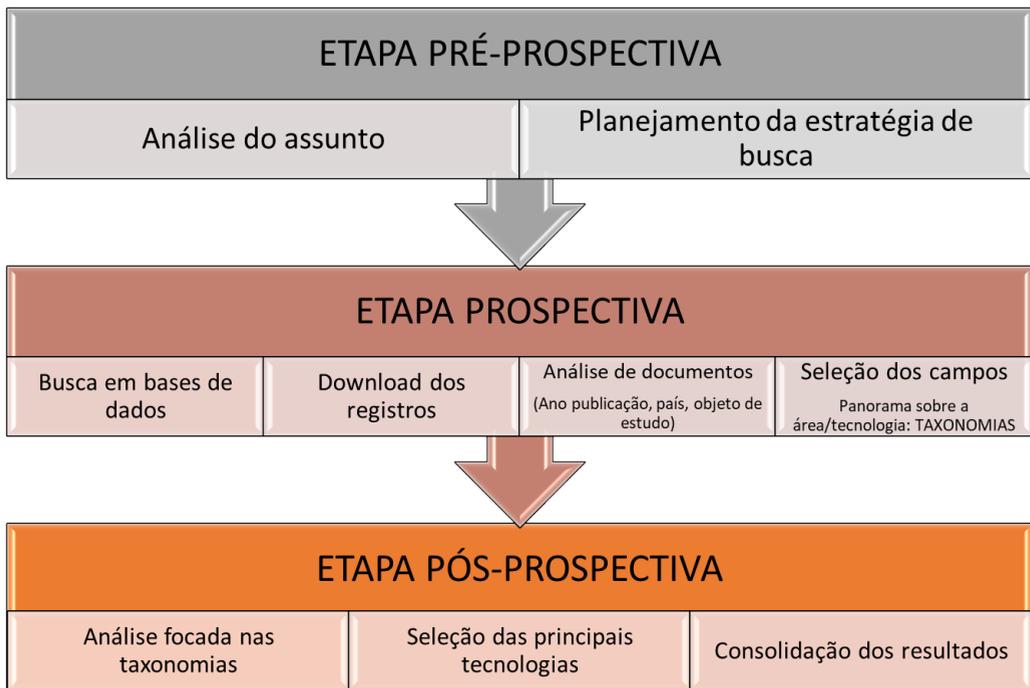


Figura 2 – Etapas da metodologia (Fonte: autores)



A etapa pré-prospectiva envolve uma busca livre para se ter o primeiro contato com o assunto do estudo e obter uma visão geral do estado da arte. O objetivo desta etapa é definir a abordagem adequada para os estudos e as estratégias de busca que serão adotadas na recuperação dos documentos nas etapas posteriores.

A etapa prospectiva, ilustrada na Figura 3, inicia-se com a busca direcionada de informações em bases de dados especializadas de artigos científicos, patentes e notícias, norteados pelos resultados obtidos na fase anterior. Nesta etapa pretende-se identificar a inter-relação entre as informações obtidas e sua aplicação tecnológica.



Figura 3 - Níveis de segmentação da análise por períodos de tempo (Fonte: autores)

Dessa forma, busca-se alocar a sua concretização e maturidade das tecnologias em estudo em quatro períodos de tempo:

- Estágio atual (tempo presente): engloba os documentos da mídia especializada; sítios de empresas, associações de classe, organizações governamentais e não governamentais, relatórios de mercado, entre outros.
- Curto prazo: envolve a análise de patentes concedidas, que, teoricamente, demonstram um grau avançado do desenvolvimento da tecnologia, pois, se já houve tempo suficiente para concessão e a tecnologia foi considerada patenteável, o

objeto já está mais próximo da possível comercialização.

- Médio prazo: refere-se à análise de patentes depositadas ou pedidos de patentes, que, apesar de demonstrarem um grau avançado do desenvolvimento da tecnologia, pois já houve a concretização da patente, a proteção ainda está em análise, o que faz com que o objeto da patente esteja mais distante da comercialização.
- Longo prazo: inclui as publicações científicas que demonstram um grau inicial do desenvolvimento da tecnologia. No entanto, cabe ressaltar que a publicação de artigos acompanha grande parte do ciclo de



vida de tecnologias em seus diferentes estágios de maturidade tecnológica, o que permite estabelecer interessantes associações e extrapolações-abordagem linear e restrita a áreas que dependem de pesquisa básica e aplicada (LINDEN; BARBOSA; DIGIAMPIETRI, 2020; ERNST, 1997; NIETO; LOPÉZ; CRUZ, 1998).

Ainda na etapa prospectiva, após a pesquisa, a análise dos resultados requer uma sistematização para que se consiga extrair todas as informações necessárias para o estudo. A metodologia adotada preconiza a segmentação da análise em três níveis, conforme ilustrado na Figura 4 e listados a seguir:

- Nível macro: são as informações mais imediatas do documento, como título, ano de publicação, autores, entre outras. Não é necessária uma leitura profunda do documento para extrair estas informações.
- Nível meso: são extraídas as informações principais dos documentos após a leitura de, pelo menos, seu resumo. Neste nível, torna-se necessária a criação de taxonomias de forma a definir o assunto do documento, possibilitando classificar os documentos.
- Nível micro: dentro de cada classe criada na taxonomia do nível anterior, devem-se extrair informações mais detalhadas para melhor classificar os documentos dentro da taxonomia.



Figura 4 – Níveis de segmentação da análise por taxonomia (Fonte: autores)

Na etapa pós-prospectiva, as informações identificadas e organizadas nas etapas anteriores são melhor estudadas e organizadas na forma de um mapa de rotas tecnológicas. Este é objetivo final da metodologia proposta por Borschvier e da Silva (2016).

No presente estudo, a metodologia descrita foi adaptada de modo a incluir as primeiras duas etapas. O mapa de rotas tecnológicas da etapa pós-prospectiva não foi construído por não fazer parte do escopo deste estudo, porém as análises desta etapa foram realizadas.



2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.1 PANORAMA GERAL

O estudo evidenciou 876 publicações científicas indexadas na base Scopus, publicadas até o março de 2021. A busca na plataforma *Derwent Innovation* revelou 4.796 depósitos e concessões de patentes até o ano de 2020.

Somente duas publicações sobre tecnologias anti-SARP com autores vinculados a instituições brasileiras foram identificadas na base Scopus. Estudos recentes mostram que o Brasil vem aumentando substancialmente a quantidade de publicações científicas, evoluindo de uma contribuição mundial inferior a 1%, no início do século, para algo em torno de 3,5% nos últimos anos, movimento que alçou o Brasil a 13ª posição no ranking mundial de publicações (DE NEGRI; SQUEFF, 2016). Porém, na área deste estudo, o Brasil contribui com apenas 0,23% da produção científica mundial indexada na base.

Os países com maiores números de publicações foram a China, com 278 publicações (cerca de 31,7% do total), os Estados Unidos, com 219 publicações (25% do total), o Reino Unido com 62 publicações (7,1%), a Alemanha, com 50 documentos (5,7%) e a Coreia do Sul com 37 documentos (4,2%).

Entre as dez instituições com mais publicações, nove são chinesas, incluindo a *Northwestern Polytechnical University*, dirigida pelo Ministério da Indústria e Tecnologia da Informação da República Popular da China, que apresentou o maior número de documento, 20 no total. A única instituição não-chinesa entre as dez que mais publicaram foi o Instituto *Fraunhofer* de Optrônica, Tecnologias de Sistema e Exploração de Imagens (*Fraunhofer – IOSB*) da Alemanha. A instituição apresentou 14 publicações indexadas.

Em relação ao perfil tecnológico, a jurisdição com o maior número de patentes publicadas também foi a China, com 156 documentos (53,98%), apontando que o interesse mercadológico é maior nesse país. Os Estados Unidos também se destacaram por receber 11,76% dos depósitos de patentes sobre o tema (34 patentes). O terceiro maior número de patentes foi a Coreia do Sul, com 25 documentos (8,65%).

Não foram identificadas patentes sobre tecnologias anti-SARP depositadas no Brasil ou com prioridade no Brasil. Este é um indicativo que não houve desenvolvimento dessas tecnologias no País e que o mercado brasileiro não é considerado prioridade pelos seus detentores.



Percebe-se uma predominância de publicações de documentos de patentes na China, assim como foi observado para as publicações científicas. Isto pode ser um indicativo de intensivo desenvolvimento tecnológico na área anti-SARP na região, além de interesse em proteger o mercado do país contra depósitos de patentes por empresas estrangeiras.

A empresa com o maior número de documentos foi a *Boeing*, sendo os pedidos de proteção protocolados pela sua subsidiária INSITU INC, empresa de sistemas autônomos. Em segundo lugar, com 11 documentos, estão a empresa alemã *Diehl Stiftung* e a chinesa *Chengdu Aviation and Aerospace*, também do setor de aviação.

No âmbito mercadológico, os Estados Unidos detêm a maior parte dos produtos comerciais, 126 produtos, seguido pelo Reino Unido, com menos da metade de produtos ofertados (37). A Europa é a próxima região geográfica mais ativa para o mercado anti-SARP. O mais forte impulsionador do mercado europeu é a presença de corporações de defesa tradicionais mundialmente conhecidas, como o *Grupo Thales* da França, *Saab AB* da Suécia e *BSS Holland BV* dos Países Baixos (MICHEL, 2019).

Já no Brasil, a pesquisa identificou dois produtos para detecção por câmera de

vídeo, imagem termal, radar, radiofrequência e acústica e neutralização por *jamming* da empresa IACIT (MICHEL, 2019).

2.2 TECNOLOGIAS IDENTIFICADAS POR SUBSISTEMA

Com a finalidade de identificar a taxonomia para classificação das tecnologias relatadas em documentos de patentes e publicações científicas sobre sistemas anti-SARP, buscou-se na literatura a segmentação mais comum destes sistemas. Os estudos da fase pré-prospectiva permitiram identificar que vários autores (MICHEL, 2018; MICHEL, 2019; KANG et al., 2020; PARK et al., 2021 e WANG; LIU; SONG, 2021) empregam a taxonomia que divide os sistemas anti-SARP em:

- subsistemas de detecção, que engloba as tecnologias de detecção, monitoramento e identificação;
- subsistema de neutralização / destruição; e
- tipos de plataforma que os subsistemas anteriores seriam embarcados.

A Figura 5 ilustra a taxonomia adotada, baseada nas bibliografias consultadas, bem como exemplos de cada uma delas.



Figura 5 – Taxonomia adotada (Fonte: autores)

As patentes concedidas e depositadas publicadas depois de 2016 foram analisadas individualmente por meio da leitura de seus resumos e, eventualmente, de seu texto completo. Ademais,

foram extraídas as informações de nível macro e meso conforme exemplificados na Tabela 1. As informações das tecnologias de cada subsistema correspondem, neste estudo, ao nível micro e foram extraídas durante a análise.

DADOS MACRO							DADOS MESO			
Número da patente	Título	Resumo	Ano de publicação	País	Depositantes	Inventor	Detecção	Neutralização / Destruição	Plataforma	TPF

Tabela 1 – Exemplo de dados extraídos nas análises de nível macro e meso da etapa prospectiva

Ao final da etapa prospectiva, 28 patentes concedidas e 81 pedidos de patentes foram analisadas e as tecnologias de detecção; neutralização/destruição e suas plataformas foram extraídas e sistematizadas. Registrou-se o número de menções a cada tecnologia

do nível micro e computou-se o resultado final para estimar a interesse em seu desenvolvimento e emprego para aplicações anti-SARP. Adicionalmente, foram extraídas tecnologias portadoras de futuro (TPF) como tecnologias relacionadas a inteligência



artificial (IA), cibernética e laser, as quais têm sido de grande impacto no desenvolvimento de produtos inovadores em diversos setores.

Pela grande quantidade de artigos científicos publicados nos últimos cinco anos (375 documentos), não foi possível analisá-los individualmente nos mesmos moldes do que foi feito para patentes. A análise limitou-se a buscar por tecnologias anti-SARP e tecnologias portadoras de futuro previamente identificadas na análise micro dos documentos de patentes.

Nas Seções a seguir, serão apresentados os resultados da análise realizada na etapa prospectiva deste estudo. Os resultados das tecnologias para cada um dos subsistemas serão apresentados, assim como as tecnologias portadoras de futuro observadas nas análises.

2.2.1 Tecnologias de Detecção

O subsistema de detecção envolve as tecnologias para detectar, rastrear e identificar um sistema ou aeronave não tripulada (WANG; LIU; SONG, 2021). As principais tecnologias que foram propostas para a detecção de SARP são sensores acústicos ou sonares, câmeras de vídeo, sensores eletro-ópticos, sensores infravermelhos, sensores passivos de

radiofrequência (RF), radares, LIDARS (*laser detection and ranging* – radar por laser), além da fusão de dados e algoritmos para identificação de SARPS inimigos (KRATKY; FRALIK, 2018; KANG et al., 2020; PARK et al., 2021; e WANG; LIU; SONG, 2021).

Assim como foi observado nos relatórios de produtos comercializados, a tecnologia de detecção mais comum foi o emprego de sensores passivos de radiofrequência (18 patentes concedidas e 49 pedidos de patentes) e de radar (9; 41), seguidas pelas câmeras de vídeo e infravermelho (8;24). Também se observou uma pequena fração de patentes que contemplavam a detecção por ondas sonoras (acústica) nos dois casos (3;8).

À diferença do relatado para produtos comerciais, foi possível verificar uma incidência maior de tecnologias baseadas em laser. As tecnologias identificadas tratam de telêmetros laser incorporados a sistemas anti-SARP para medir a distância de SARP inimigos, o que ocorreu em 4 patentes concedidas e 13 pedidos de patentes. Além disso, observaram-se patentes que empregavam LIDARS, que são radares a lasers que fornecem maior precisão na medida de distâncias, velocidades e deslocamentos angulares do que os radares



de radiofrequência (KUASHAL; KADDOUM, 2017).

A presença das mesmas tecnologias nos produtos comercializados e nas patentes concedidas (curto prazo) e nos pedidos de patentes (médio prazo) indicam um estágio de maior maturidade tecnológica. Possivelmente, os sistemas anti-SARP comercializados e patenteados integram tecnologias de detecção desenvolvidas para outros fins e adaptadas para atender a seus requisitos, o que poderia justificar o aparecimento quase concomitante de produtos e patentes.

Diferentemente dos resultados de patentes, verifica-se uma predominância de artigos que tratam de algoritmos de detecção em substituição às tecnologias tradicionais de radar, vídeo e radiofrequência. Este resultado associado às palavras-chave mais frequentes em cada documento, indica um maior interesse das publicações científicas em possivelmente melhorar a capacidade de identificação de SARP maliciosos por meio de algoritmos aplicados a imagens ou sinais produzidos por várias tecnologias de detecção como sinais de radar, imagens de vídeo e termais, assim como sinais de rádio.

2.2.2 Tecnologias de Neutralização / Destruição

As tecnologias de neutralização de SARP, também denominados mitigadores não-físicos, não cinéticos ou não destrutivos, referem-se a operações que suprimem os movimentos de SARP ameaçadores, sem causar danos a seu. Por sua vez, as tecnologias de destruição, ou métodos físicos, cinéticos ou destrutivos, são o conjunto de tecnologias que interrompem a trajetória de um SARP infligindo danos ou destruindo sua estrutura funcionamento (KANG et al., 2020 e PARK et al., 2021).

Das tecnologias de neutralização/ destruição extraídas a partir da análise dos documentos de patentes concedidas e depositadas, a mais comum foi o emprego de *jamming* de sinais de radiofrequência (18 patentes concedidas e 50 pedidos de patentes). A tecnologia de *jamming* vem sendo empregada como um ataque de guerra eletrônica para provocar a interferência nas comunicações de forças inimigas. A familiaridade com a tecnologia pode ser um motivo para sua predominância nas patentes e a sua rápida adaptação e incorporação aos sistemas anti-SARP comerciais.

Nas duas análises, sistemas para captura de aeronaves remotamente pilotadas por redes foram a segunda tecnologia mais empregada (12 concedidas; 26 pedidos). A captura por rede pode ser feita pelo lançamento da rede a



partir do solo, como a patente WO2019048074A1 da alemã *Diehl*, ou ser lançada a partir de uma aeronave remotamente pilotada, como a patente US9896221B1 da empresa americana *Lockheed Martin*.

A participação de sistemas com fogos cinéticos diminuiu de 17,9% (5 documentos) entre os documentos de curto prazo (patentes concedidas) para cerca de 6,2% (5 documentos) entre os documentos de médio prazo (pedidos de patentes). Isto pode indicar um menor interesse no emprego de fogos cinéticos em sistemas anti-SARP em desenvolvimento.

Por outro lado, o número de documentos que empregavam o *spoofing* de SARP como neutralização aumentaram de 1 (cerca de 3,5%) entre as patentes concedidas para 16 (19,8%) dos pedidos de patentes. Isso indica um maior interesse em integrar esta tecnologia da área de cibernética aos sistemas anti-SARP para neutralização.

O interesse no emprego de pulsos eletromagnéticos ou armas laser na destruição de SARP foi modesto tanto para patentes concedidas como para depositadas, com um pequeno crescimento da participação (de 3,5 para 6%) entre os dois horizontes temporais considerados. Entre os documentos que especificavam a radiação

utilizada, foram identificados 2 pedidos de patentes que empregavam pulsos eletromagnéticos de micro-ondas para destruir os circuitos eletrônicos dos SARP e 1 pedido de patente que previa uma arma laser embarcada em uma aeronave remotamente pilotada para a destruição de SARP inimigos.

Verificou-se uma patente concedida sobre o uso de balões para neutralizar SARP. Este documento (RU2721815C1) prevê a liberação de balões de ar para dificultar o voo de SARP e para neutralizá-lo. Outra tecnologia insólita é o uso de ondas sonoras para a neutralização de drones inimigos, a qual é objeto da patente chinesa CN107339914A.

A tecnologia de *geofencing* apareceu pela primeira vez nos pedidos de patentes. Foram quatro documentos que tratavam de sistemas para proteção de instalações contra SARP, sendo duas patentes chinesas (CN105842717A e CN11692922A) e duas patentes da mesma família (US2020111374A1 e WO2020072387A1) da empresa de telefonia celular *T-Mobile* referentes a um sistema de *geofencing* que emprega as torres de telefonia da empresa. Também foram identificadas 3 publicações científicas sobre *geofencing*

Assim como foi observado nos documentos



de patentes, a tecnologia de *jamming* também foi objeto do maior número de artigos científicos (30 documentos). Entretanto, as publicações científicas sobre *jamming* correspondem somente a 8% do total. As publicações trataram frequentemente do uso de rádios definidos por software para selecionar o canal para provocar a interferência e de redes neurais, a associação de redes neurais e testes de formas de onda para interferir em sinais de radiofrequência e navegação por satélite.

A segunda tecnologia mais frequente foram os ataques por *spoofing* (24 documentos). Os temas predominantes nas publicações são a identificação de vulnerabilidades de sistemas SARP que podem ser exploradas e simulações de ataques de *spoofing* para planejamento de sistemas de defesa.

É possível observar uma modesta fração de artigos sobre uso de radiação eletromagnética contra SARP. Dos cinco documentos recuperados, quatro trataram de uso de armas laser para destruir aeronaves remotamente pilotadas e um documento sobre emprego de pulso eletromagnético de alta energia para destruir os circuitos eletrônicos do SARP.

A tecnologia de captura por rede apresentou três artigos cujo foco principal

seria o controle de um conjunto de drones para capturar ou envolver em uma rede o SARP inimigo. A rede, objeto da neutralização, não é em si uma tecnologia em desenvolvimento, mas o seu lançamento tem sido foco de pesquisa científica e desenvolvimento tecnológico.

2.2.3 Plataformas

As plataformas dos sistemas anti-SARP podem ser de duas categorias mais abrangentes: plataforma terrestre e aérea (KANG et al., 2020). As plataformas terrestres podem ser ainda subdivididas em estática, móvel ou portáteis (MICHEL, 2019).

A análise das plataformas foi realizada somente para os documentos de patente. De maneira geral, os artigos recuperados não relatavam a plataforma em que a tecnologia objeto da pesquisa científica seria embarcado, tornando inviável a sua classificação por tipo de plataforma.

Assim como identificado nos produtos comercializados, a maioria das patentes tratava de sistemas de plataformas terrestres tanto para pedidos de patentes (53 documentos) como para patentes concedidas (23 documentos). Dentre estas, 14 pedidos de patentes e 3 patentes concedidas revelaram empregar algo semelhante a uma arma portátil



como plataforma para as tecnologias do sistema. Além destas, 7 pedidos de patente eram referentes a um sistema anti-SARP embarcado em veículos.

Neste estudo, consideramos as munições lançadoras de rede como uma plataforma separada. Este tipo particular de plataforma terrestre consiste em uma ogiva contendo uma rede para captura no ar de SARP inimigo, que é disparada de uma estação fixa no solo. Este tipo de plataforma foi objeto de 21 pedidos de patentes e 3 patentes concedidas.

Vinte pedidos de patente e dezenove patentes concedidas tratavam de tecnologias anti-SARP embarcadas em uma aeronave remotamente pilotada. O sistema embarcado pode ser somente de detecção, como sensores ou câmeras, sistemas de neutralização/destruição como redes para captura, lasers ou os dois subsistemas.

2.2.4 Tecnologias Portadoras de Futuro

As tecnologias portadoras de futuro, também chamadas de tecnologias habilitadores têm a característica particular de, decisivamente, influir na criação do futuro, são pré-requisitos para o desenvolvimento de outras tecnologias, produtos e processos que serão impactantes nas tecnologias existentes (ALENCAR,

2008). Para este estudo, foram identificadas tecnologias portadoras de futuro para a área de defesa que foram empregadas em patentes concedidas, depositadas e publicações científicas sobre tecnologias anti-SARP.

Ressalta-se que, apesar de ter sido realizada a análise temporal, considera-se que todas elas são tecnologias emergentes, sendo vislumbradas no médio/longo prazo. As quantidades de documentos referentes aos períodos atual e de curto prazo (patentes concedidas), as quais foram ínfimas, corroboram para essa interpretação.

Nas patentes concedidas, identificaram-se poucas tecnologias, com somente três patentes que empregam técnicas de cibernética (neste caso, ataques de spoofing) Adicionalmente, recuperou-se uma patente concedida sobre uso de uma arma laser (WO2019164556 A2) e além de uma menção ao uso de técnicas de big data aplicadas à análise de dados de sensores para identificação de SARP inimigos (CN111447038B).

As tecnologias portadoras de futuro identificadas nos pedidos de patentes são em maior variedade quando comparadas às encontradas na análise de patentes concedidas. O maior número de documentos é relacionado a ataques cibernéticos de *spoofing*, com 16 pedidos de patentes.



A tecnologia de laser para detecção ou destruição de alvos foi objeto de oito depósitos de patentes, já comentados nas seções anteriores.

Destaque deve ser feito para as tecnologias de IA (3 documentos), fusão de dados (2 documentos) e *deep learning* (1 documento). Como foi discutido anteriormente, estas tecnologias de IA estão sendo frequentemente empregadas para associar os dados captados pelas várias tecnologias de detecção para identificar SARP inimigos. Também uma tecnologia de IA, a inteligência de enxame, foi empregada no depósito de patente (CN111581878A) como um método de otimização do poder de fogo contra SARP, além de patentes sobre 5G (CN111812625A) e internet das coisas (CN111600674A) que se referem a possíveis protocolos de comunicação entre aeronaves em enxames.

Nas publicações científicas, identificaram-se também tecnologias portadoras de futuro associadas majoritariamente à IA. Identificaram-se 24 artigos relacionados a ataques cibernéticos de *spoofing* e 20 documentos sobre laser, já comentados anteriormente.

As tecnologias de IA, *deep learning*, aprendizado de máquinas e fusão de dados tiveram uma alta incidência. Estas tecnologias são empregadas na identificação de SARP ameaçadores e têm assumido um protagonismo na pesquisa científica da área.

À diferença do que foi observado nos pedidos de patentes, a inteligência de enxame foi a tecnologia com maior número de documentos (39; 10,4%), indicando que esta tecnologia pode ter uma relevância a longo prazo.

2.3 CONSOLIDAÇÃO DOS RESULTADOS – TENDÊNCIAS EM ANTI-SARP

De forma geral, pode-se dizer que as tecnologias que mais se destacaram no curto prazo foram:

- Tecnologias de Detecção: Rádio frequência, Radar, Vídeo, Óptica (telemetria laser), Eletromagnética e Acústica;
- Tecnologias de Neutralização/Destruição: *Jamming*, Rede (captura), Acústica; Eletromagnética (laser), Fogos cinéticos, *Spoofing* e Balões;
- Tipos de Plataforma: Terrestre, UAV, Munição lançadora de rede, Arma Portátil;
- Tecnologias portadoras de futuro: IA, Cibernética, Laser, *Big Data*.

Tanto para o médio, quanto para o longo prazo, as tecnologias são semelhantes, destacando-se, além das anteriormente mencionadas, as seguintes que surgiram apenas no longo prazo:

- Tecnologias de Detecção: Algoritmos de detecção;
- Tecnologias de Neutralização/Destruição: *Geofencing*;
- Tipos de Plataforma: Veículo;
- Tecnologias portadoras de futuro: 5G, RDS, IoT, *Deep Learning*, Fusão de dados, Aprendizado de máquina, Inteligência de enxames.

Ressalta-se que, conforme mencionado anteriormente, todas as tecnologias portadoras de futuro, apesar de analisadas por período temporal, representam



tecnologias emergentes que podem causar impacto no desenvolvimento e aplicações de outras tecnologias.

As Figuras 6 e 7 resumem as tendências em Anti SARP no tempo atual/curto prazo e médio/longo prazos, respectivamente.

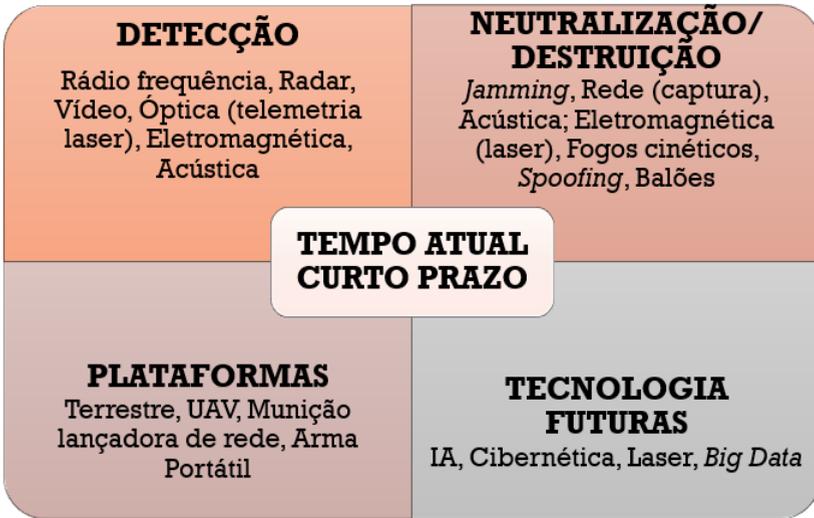


Figura 6 – Tendências tecnológicas em Anti SARP no curto prazo (Fonte: autores)

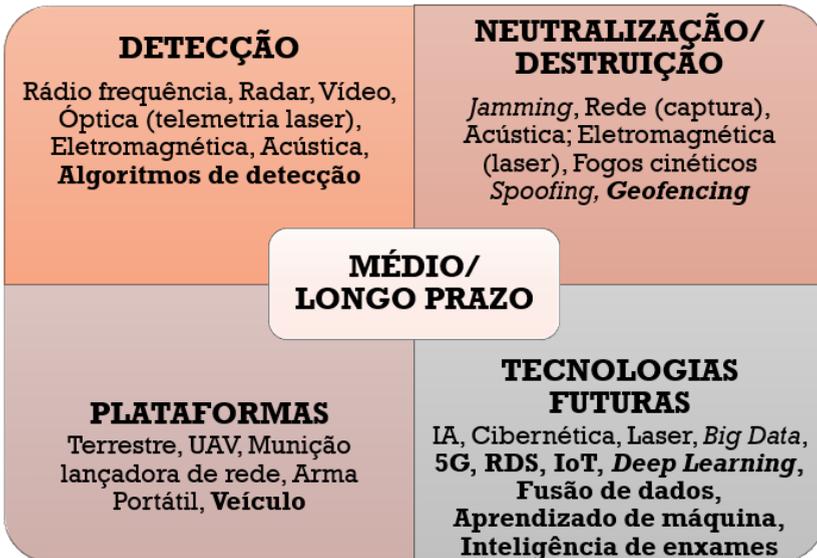


Figura 7 - Tendências tecnológicas em Anti SARP no médio/longo prazo (Fonte: autores)



3. CONCLUSÃO

O presente estudo teve por premissa explorar informações ostensivas, a produção científica e os ativos de propriedade intelectual, com o objetivo de estabelecer o estado de desenvolvimento e tendências futuras de tecnologias anti-SARP. Nesse sentido, as informações constantes deste trabalho apresentam os cenários científico e tecnológico, além da análise das tecnologias extraídas de documentos de patentes e publicações científicas.

Instituições de ciência e tecnologia e empresas chinesas dominaram as publicações científicas e documentos de patentes publicados nos últimos vinte anos. Nove das dez instituições que mais publicaram artigos científicos em periódicos indexados na base Scopus e seis das dez organizações que mais depositaram patentes nos últimos vinte anos eram de origem chinesa. Apesar disto, o país com o maior número de produtos comercializados são os Estados Unidos, com mais de doze vezes mais produtos relatados do que a China.

Foram identificadas somente duas publicações científicas com autores vinculados a instituições nacionais. Ademais, nenhuma patente sobre o tema foi depositada no país, apesar de haver dois produtos de fabricante brasileiro sendo comercializados.

Isto indica que o interesse do mercado de tecnologias anti-SARP no Brasil ainda é modesto e que a pesquisa científica sobre o tema ainda é limitada.

A análise das patentes de tecnologias de detecção permitiu identificar que a tecnologia mais frequentemente empregada foram sensores passivos de radiofrequência, radares e câmeras de vídeo e infravermelho, mesmas tecnologias predominantes nos produtos comercializados. À diferença do relatado para produtos comerciais, foi possível verificar uma incidência maior de tecnologias baseadas em laser, como telômetros e LIDARS.

A congruência entre as tecnologias de detecção de patentes e dos produtos comercializados indica um estágio de maior maturidade tecnológica. Possivelmente, os sistemas anti-SARP comercializados e patenteados integram tecnologias de detecção desenvolvidas para outros fins e adaptadas para atender a seus requisitos, o que poderia justificar o aparecimento quase concomitante de produtos e patentes.

Diferentemente dos resultados de patentes, verificou-se uma maioria de artigos que tratam de algoritmos de detecção em substituição às tecnologias tradicionais de radar, vídeo e radiofrequência.



Este resultado, associado às palavras-chave, corrobora com um maior interesse das publicações científicas em possivelmente melhorar a capacidade de identificação de SARP maliciosos por meio de algoritmos aplicados a imagens ou sinais produzidos por várias tecnologias de detecção como sinais de radar, imagens de vídeo e termais, assim como sinais de rádio.

As tecnologias de neutralização/destruição de *jamming* e de sinais de radiofrequência foram as mais frequentemente observadas na análise dos documentos de patentes concedidas e depositadas, artigos e produtos comercializados. A tecnologia de *jamming* vem sendo empregada como um ataque de guerra eletrônica para provocar a interferência nas comunicações de forças inimigas. A familiaridade com a tecnologia pode ser um motivo para sua predominância nas patentes e a sua rápida adaptação e incorporação aos sistemas anti-SARP comerciais.

A segunda tecnologia mais incidente em patentes depositadas e em artigos foi *spoofing* (24 documentos). Os temas predominantes nas publicações são a identificação de vulnerabilidades de sistemas SARP que podem ser exploradas e simulações de ataques de *spoofing* para

planejamento de sistemas de defesa.

A maioria das patentes tratou de sistemas de plataformas terrestres tanto para pedidos de patentes como para patentes concedidas. A análise de plataformas não foi possível para artigos, pois observou-se que os autores normalmente se ocupam da análise das tecnologias independentemente da plataforma em que estão embarcadas.

Entre as tecnologias portadoras de futuro, deve-se destacar a IA. Isto foi identificado tanto para pedidos de patente como para publicações científicas. Como foi discutido anteriormente, tecnologias como *deep learning*, *machine learning* e fusão de dados estão sendo frequentemente empregadas para associar os dados captados pelas várias tecnologias de detecção para identificar SARP inimigos. Também uma tecnologia de IA, a inteligência de enxame, ganhou um espaço maior entre as publicações científicas, considerados indicativos de impactos no longo prazo.

Finalmente, o amplo rol de aplicações tecnológicas com consequências comerciais ou de interesse de Defesa possibilitadas pelas tecnologias anti-SARP, desde o operacional ao estratégico, enseja o desafio de um projeto de Estado para robustecer o desenvolvimento tecnológico autóctone e assim aumentar a competitividade



das atividades econômicas do País, ao passo que também é fulcral para salvaguardar os interesses e a segurança nacional. Trata-se de uma oportunidade para o Estado Brasileiro, que, a exemplo de China, Estados Unidos e Alemanha, pode adotar medidas para orquestrar ações sinérgicas em prol do desenvolvimento acadêmico e das aplicações industriais, de modo a otimizar diversos setores produtivos com resultantes multisetoriais e econômicas favoráveis ao país.

REFERÊNCIAS

- ALENCAR, M.S.M, **Estudo de Futuro Através da Aplicação de Técnicas de Prospecção Tecnológica: O Caso da Nanotecnologia**. 2008, 193f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, área de Gestão e Inovação Tecnológica) – Escola de Química, Rio de Janeiro, 2008.
- BORSCHIVER, S.; da SILVA, A.L.R. **Technology Roadmap–planejamento estratégico para alinhar mercado-produto-tecnologia**. 1ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2016.
- BRASIL. Ministério da Defesa. Exército Brasileiro. **Manual de Campanha EB20-MC-10.214: Vetores Aéreos da Força Terrestre**. 1. ed. Brasília, 2014a.
- CHAMOLA, V. ET AL. A comprehensive review of unmanned aerial vehicle attacks and neutralization techniques. **Ad Hoc Networks**, p. 102324, 2020.
- DE NIGRI, F.; SQUEFF, F.H.S. O mapeamento da infraestrutura científica e tecnológica no Brasil In: _____. **Sistemas setoriais de inovação e infraestrutura de pesquisa no Brasil**. Brasília, IPEA, 2016. p. 15-62.
- ERNST, H. The use of patent data for technological forecasting: the diffusion of CNC-technology in the machine tool industry. **Small Business Economics**, v. 9, n. 4, p. 361-381, 1997.
- GERTLER, J. **US unmanned aerial systems**. Washington D.C.: Congressional Research Service, 2012. Disponível em: <<https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA566235>>. Acesso em 30 JUN 2021.
- GETTINGER, D. **The Drone Databook**. 1. ed. Washington D.C.: Center for the Study of the Drone at Bard College, 2019. Disponível em: <<https://dronecenter.bard.edu/files/2019/10/CSD-Drone-Databook-Web.pdf>>. Acesso em 27 JUN 2021.
- GETTINGER, D. **The Drone Databook**. 1. ed. Washington D.C.: Center for the Study of the Drone at Bard College, 2019. Disponível em: <<https://dronecenter.bard.edu/files/2019/10/CSD-Drone-Databook-Web.pdf>>. Acesso em 27 JUN 2021.



KANG, H. et al. Protect your sky: A survey of counter unmanned aerial vehicle systems. **IEEE Access**, v. 8, p. 168671-168710, 2020.

KRATKY, M.; FARLIK, J. Countering UAVs—the Mover of Research in Military Technology. **Defence Science Journal**, v. 68, n. 5, p. 460-466, 2018.

LIMA FILHO, P.D.B. **A defesa anti-SARP na Força Terrestre**. 2020. Trabalho de Conclusão

LINDEN, R.; BARBOSA, L. F.; DIGIAMPIETRI, L. A. “Brazilian style science”—an analysis of the difference between Brazilian and international Computer Science departments and graduate programs using social networks analysis and bibliometrics. **Social Network Analysis and Mining**, v. 7, n. 1, p. 1-19, 2017.

MICHEL, A.H. **Counter-drone systems**, 1 ed. Annadale-on-Hudson: Center for the Study of the Drone at Bard College, 2018. Disponível em: <<https://dronecenter.bard.edu/projects/counter-drone-systems-project/counter-drone-systems/>>.

MICHEL, A.H. **Counter-drone systems**, 2 ed. Annadale-on-Hudson: Center for the Study of the Drone at Bard College, 2019. Disponível em: <<https://dronecenter.bard.edu/files/2019/12/CSD-CUAS-2nd-Edition-Web.pdf>>

NIETO, M.; LOPÉZ, F.; CRUZ, F. Performance analysis of technology using the

S curve model: the case of digital signal processing (DSP) technologies. **Technovation**, v. 18, n. 6-7, p. 439-457, 1998.

PARK, S. ET AL. Survey on Anti-Drone Systems: Components, Designs, and Challenges. **IEEE Access**, v. 9, p. 42635-42659, 2021.

PATEL, B.; RIZER, D. **Counter-Unmanned Aircraft Systems Technology Guide**. Nova Iorque: National Urban Security Technology Laboratory, 2019. Disponível em: <<https://www.dhs.gov/publication/st-c-uas-technology-guide>>.

SAYLER, K.M. **Department of Defense Counter-unmanned Aircraft Systems**. Washington D.C.: Congressional Research Service, 2021. Disponível em <<https://crsreports.congress.gov/product/pdf/IF/IF11426>>. Acesso em 30 JUN 2021.

WANG, J.; LIU, Y.; SONG, H. Counter-Unmanned Aircraft System (s)(C-UAS): State of the Art, Challenges, and Future Trends. **IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine**, v. 36, n. 3, p. 4-29, 2021.

ZHANG, W. ET AL. The development of counter-unmanned aerial vehicle technologies. In: **Global Intelligence Industry Conference (GIIC 2018)**. International Society for Optics and Photonics, 2018. p. 108351O, 2018.