

BATALHA TECNOLÓGICA NA UCRÂNIA: A GUERRA ELETRÔNICA RUSSA CONTRA O GPS

Por Jorge Schwerz*



Tropas russas de guerra rádioeletrônica (Michael Kofman/Russia Military Analysis).

Os principais elementos da contraofensiva ucraniana foram frustrados pela guerra eletrônica russa, que interferiu nos sistemas de navegação orientados por GPS.

O conflito entre Rússia e Ucrânia evidenciou o embate entre nações com disparidades significativas em termos de capacidade militar. Nesse contexto, é notável o suporte oferecido à Ucrânia pelos países membros da OTAN. As armas de alta precisão fornecidas pela OTAN aos ucranianos emergiram como um grande sinal de esperança para uma vitória tática na guerra contra a Rússia, especialmente no início de 2023, quando se planejava uma contraofensiva ucraniana no leste do país.

O uso dessas armas modernas infundiu esperança nos ucranianos. Enquanto os projéteis convencionais exigem múltiplos disparos para atingir seus alvos, as armas de precisão provaram ser extremamente eficazes – ou, como os ucranianos dizem: “um tiro, um acerto”. No entanto, em março de 2023, a situação mudou. Os projéteis Excalibur começaram a explodir no ar ou falharam em destruir seus alvos. Passaram-se semanas sem um único disparo bem-sucedido¹.

¹ *The latest in the battle of jamming with electronic beams. The Economist Special report, 3 de julho de 2023.* Disponível em: <https://www.economist.com/special-report/2023/07/03/the-latest-in-the-battle-of-jamming-with-electronic-beams>.

A realidade é que a principal esperança para a contraofensiva ucraniana foi frustrada pela guerra eletrônica russa, que interferiu nos sistemas de navegação orientados por GPS. A surpresa tecnológica da OTAN foi superada pela guerra eletrônica russa. Isso ocorreu com o Excalibur, com o GMLRS lançado pelo HIMARS e com as bombas de precisão JDAM-ER, para citar os exemplos mais comentados.

COMO FUNCIONAM AS ARMAS DE PRECISÃO FORNECIDAS PELA OTAN?

Para compreender a importância desses equipamentos para a Ucrânia, precisamos entender o conceito de Erro Circular Provável (ECP), a medida mais simples da precisão de uma arma. O ECP é o raio de um círculo dentro do qual se estima que 50% dos impactos de uma arma ocorrerão. Quanto menor o ECP, maior a precisão.

Desde a Segunda Guerra Mundial, o ECP dos sistemas de armas tem diminuído progressivamente: de mil metros para o (bombardeiro) B-17, 61 metros para o F-16, três metros para o (caça furtivo) F-117 e, atualmente, menos de 0,9 metros para um F-35 utilizando uma bomba Spice 250² (ROSA, 2022, p.104).

Para exemplificar na realidade da Força Aérea Brasileira (FAB), a bomba Spice que será incluída no arsenal do F-39 Gripen é uma bomba que pesa 250 libras no total, com um ECP de três metros³. A precisão aumentou significativamente e cada equipamento tem sua própria solução, como veremos a seguir.



² ROSA, Carlos E. V. *O Poder Aeroespacial na Guerra da Ucrânia*. In: SENHORAS, Elói Martins (organizador). *Ucrânia sob Fogo Cruzado: Discursos, Ações e Repercussões* (2022). Boa Vista: Editora IOLE, 2022, 183 p.

³ CENTENO, Gabriel. *Conheça os armamentos que a FAB usará no F-39 Gripen*. Aeroflap, 26 de março de 2022. Disponível em: <https://www.aeroflap.com.br/conheca-os-armamentos-que-a-fab-usara-no-f-39-gripen/>.

FIGURA 1: High Mobility Artillery Rocket System (HIMARS), produzido pela Lockheed Martin.

O High Mobility Artillery Rocket System (HIMARS, Figura 1), é um dos mais citados. A Ucrânia incorporou 16 deles, podendo usar diversos tipos de munição, todas guiadas por GPS. As munições autorizadas para envio à Ucrânia são:

- *Guided Multiple Launch Rocket System (GMLRS)*: seis lançamentos por vez, com alcance de 70 km; e
- *Army Tactical Missile System (ATACMS)*: Um lançamento por vez, com alcance de 300 km (aprovado para envio à Ucrânia com alcance de 160 km)⁴.

Possui uma tripulação de três militares e pode ser transportado pela aeronave de transporte Hércules C-130⁵.

O XM/982 Excalibur é um projétil de artilharia de 155 mm com trajetória controlável (Figura 2).

O Excalibur é preparado, programado e lançado da mesma maneira que um projétil convencional. A seção traseira do Excalibur é equipada com um conjunto de lâminas, enquanto a parte frontal possui asas móveis para estabilização. Essas asas frontais conferem controle ao sistema de orientação de trajetória, proporcionando precisão ao armamento.



FIGURA 2: O XM/982 Excalibur é um projétil com trajetória corrigível de artilharia de 155mm produzido pela BAE Systems.

⁴ The New York Times. ATACMS: conheça os novos mísseis usados pela Ucrânia contra a Rússia. O Globo, 18 de outubro de 2023. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/mundo/noticia/2023/10/18/atacms-conheca-os-novos-misseis-usados-pela-ucrania-contra-a-russia-video.ghtml>.

⁵ High Mobility Artillery Rocket System Fast Facts. Lockheed Martin. Disponível em: <https://lockheedmartin.com/content/dam/lockheed-martin/mfc/documents/himars/TSM-Fast-Facts-HIMARS.pdf>.

A correção de trajetória do Excalibur começa após o projétil atingir seu ponto mais alto. A partir desse momento, a trajetória é guiada pelo Sistema de Navegação Inercial e corrigida pelo GPS.

O Excalibur pode ser programado para detonar a uma certa distância do alvo, ao contato ou com retardo. O projétil pode ser equipado com diferentes tipos de ogivas e tem um alcance aproximado de 60 km.

O Erro Circular Provável (ECP) do projétil é inferior a 20 m, independentemente do alcance. Isso oferece a possibilidade de acertar alvos pontuais e reduzir a distância de segurança para as tropas aliadas. Além disso, é possível abortar a missão ou atualizar as coordenadas do alvo durante a fase terminal da trajetória do projétil⁶.

Armamento Aéreo JDAM-ER (*Joint Direct Attack Munition-Extended Range*) (Figura 3).



FIGURA 3: Bomba com kit JDAM-ER produzido pela Empresa Boeing. Destaca-se o conjunto de asas para aumento de alcance do armamento.

O JDAM (Figura 4) é um *kit* de controle de voo de baixo custo produzido pela Boeing, que converte bombas de queda livre não guiadas, em armas “inteligentes” de alta precisão. O *kit* JDAM consiste em uma seção de que abriga um sistema de orientação GPS/Sistema de Navegação Inercial e frisos estruturais no corpo da bomba para proporcionar estabilidade e ascensão.

⁶ *Excalibur - Tell the round where to go – and it goes there.* BAE Systems. Disponível em: <https://www.baesystems.com/en/product/excalibur-tell-the-round-where-to-go-and-it-goes-there>.



FIGURA 4: Bomba com kit JDAM produzida pela empresa Boeing.

Com isso, a bomba pode atingir um alvo a uma distância de até 28 km. [...] O JDAM *Extended Range* (JDAM ER) inclui um conjunto de asas para ampliar o alcance da JDAM para mais de 64 km⁷. O ECP deste armamento é de, no máximo, 13 m.

COMO O GPS FUNCIONA?

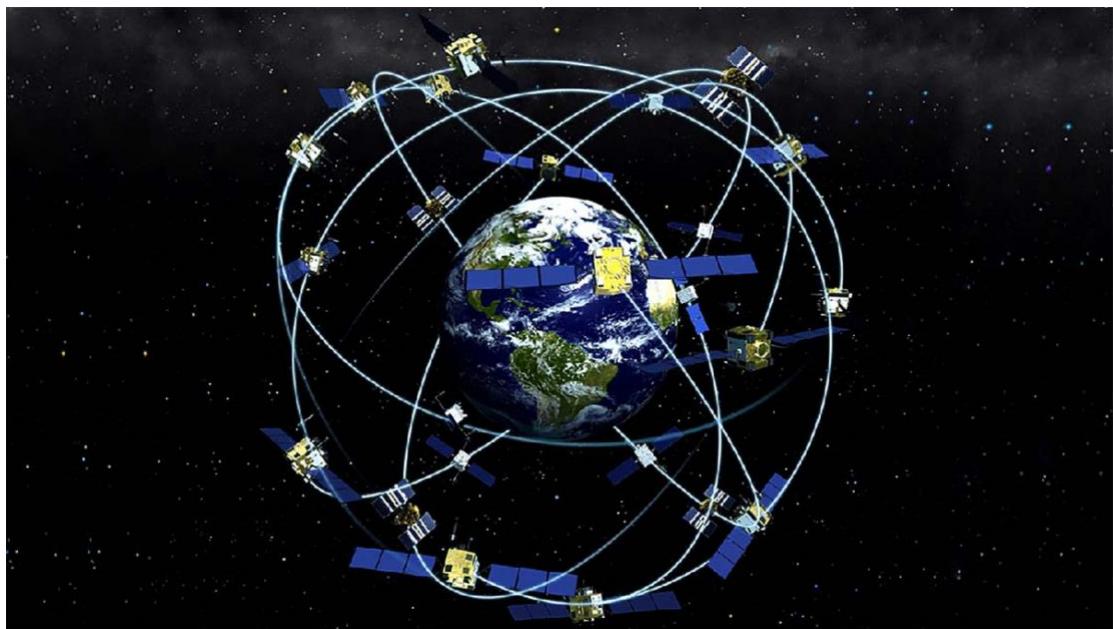


FIGURA 5: O sistema GPS foi criado pelo Departamento de Defesa Americano para uso militar e foi estendido para o uso civil.

⁷ Armamento: Joint Direct Attack Munition. Boeing. Disponível em: <https://www.boeing.com.br/produtos-e-servicos/defesa-espaco-seguranca/armamento.page>.

O *Global Positioning System* (GPS) é o nome do sistema utilizado para navegação e aquisição de medidas precisas de localização geográfica e geodésica. Foi desenvolvido e mantido em órbita pelo Departamento de Defesa do Governo dos Estados Unidos, inicialmente idealizado para uso militar e aberto para uso civil a partir da década de 1980.

Atualmente outros sistemas de *Global Navigation Satellite Systems* (GNSS) também estão em operação, como é o caso do sistema russo Glonass, o sistema europeu Galileo e o sistema chinês Beidou/Compass.

Cada satélite do sistema emite sinais de rádio de forma muito precisa, simultânea e ininterrupta. Os sinais de rádios utilizados para posicionamento global são enviados em frequências que operam na Banda L (1 GHz a 2GHz).

Esses sinais são transmitidos em fase e contém códigos de precisão que só podem ser decodificados pelos receptores de uso militar, que possuem maior precisão. [...] Os códigos gerais de posicionamento são captados pelos receptores disponíveis no mercado para uso civil. [...]

Se o usuário estiver conectado a três satélites, o receptor consegue calcular o posicionamento horizontal e se estiver conectado a quatro ou mais satélites, também consegue obter posicionamento vertical (altura)⁸.

COMO A GUERRA ELETRÔNICA RUSSA INTERFERE NO SISTEMA GPS?

Para compreendermos as estratégias adotadas pelos russos para interferir nos equipamentos de recepção GPS ucranianos, é necessário revisitar, de forma resumida, a teoria da Guerra Eletrônica (GE).

A fim de acessar as informações que o inimigo disponibiliza ao emitir uma onda eletromagnética, utilizada nos principais sistemas de armas modernos, recorremos às Medidas de Apoio à Guerra Eletrônica (MAGE). Nesse contexto, os sensores passivos russos detectam a emissão dos satélites GPS que estão sobre a área de operação. Para isso, os sensores devem estar dentro da área de cobertura do satélite e receber seu sinal.

O próximo passo é emitir um sinal em direção ao receptor GPS da plataforma (avião/armamento) que será alvo da interferência. Isso é conhecido como Medida de Ataque Eletrônico (MAE) e tem como objetivo impedir o uso adequado do sinal proveniente do satélite GPS, seja bloqueando o sinal ou enganando a plataforma ucraniana com informações falsas⁹ (Adaptado de ADAMY, 2021) (Figura 6).

⁸ *Satélites de Monitoramento: GPS – Global Positioning System. EMBRAPA. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/gps>.*

⁹ *ADAMY, David L. EW 105: Space Electronic Warfare. Artech House, 2021. 230 p.*

Se o equipamento ucraniano, alvo da interferência, possui capacidade de se proteger da interferência russa, estamos falando de uma Medida de Proteção Eletrônica (MPE), que será detalhada no próximo tópico.

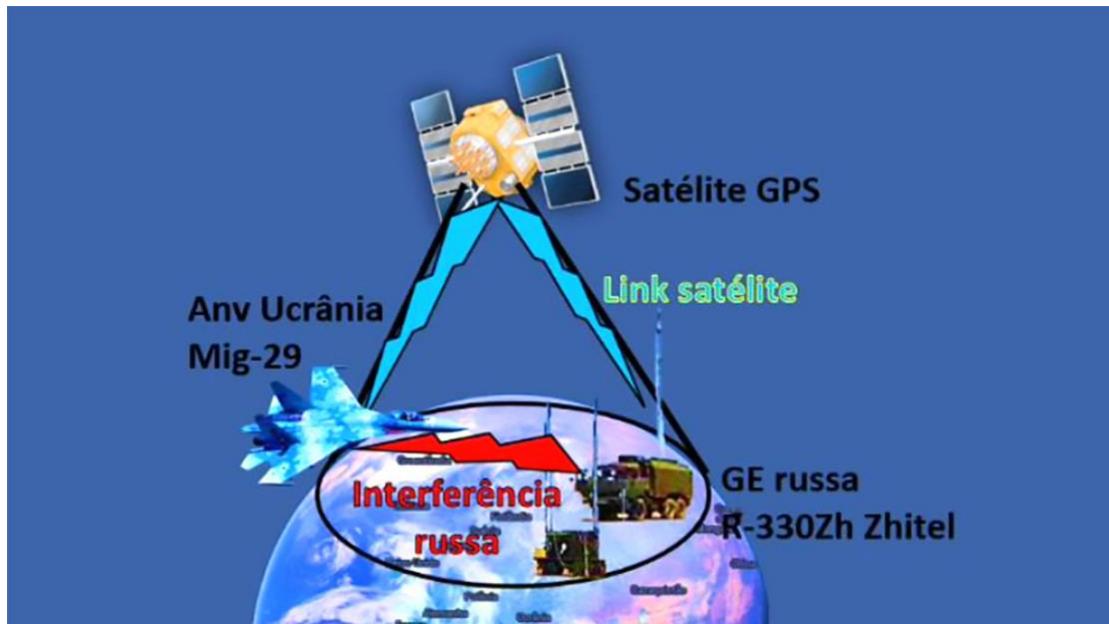


FIGURA 6: Exemplo de interferência do equipamento de GE russa Zhitel na recepção do sinal GPS da aeronave ucraniana MiG-29 (adaptado de ADAMY, 2021)⁹.

Os equipamentos de Guerra Eletrônica de Comunicação russos que têm interferido nos sistemas de navegação GPS da Ucrânia e que têm recebido maior destaque são: Borisoglebsk-2, R-330Zh Zhitel e Pole-21¹⁰. Os dois primeiros equipamentos de GE russa foram detalhados no artigo elaborado sobre a Guerra Eletrônica de Comunicações russa na Ucrânia (Figuras 7 e 8)¹¹, mas o Pole-21 detalharemos a seguir.

¹⁰ NIKOLOV, Boyko. Borisoglebsk-2, Zhitel, Pole EW stations are Ukraine's first target. Bulgarian Military, 2023. Disponível em: <https://bulgarianmilitary.com/2023/07/23/borisoglebsk-2-zhitel-pole-ew-stations-are-ukraines-first-target/>

¹¹ SCHWERZ, Jorge Luiz. O papel da Guerra Eletrônica de Comunicação no conflito Rússia-Ucrânia. Velho General, 4 de dezembro de 2023. Disponível em: <https://velhogeneral.com.br/2023/12/04/o-papel-da-guerra-eletronica-de-comunicacao-no-conflito-russia-ucrania/>



FIGURA 7: Sistema de GE russo R-330Zh Zhitel.



FIGURA 8: Sistema de GE russo RB-301B Borisoglebsk-2.

O sistema “Pole-21” também faz parte da GE russa, com a função de bloquear ou despistar sinais de GPS, Glonass, Galileo e Beidou (1GHz-2GHz), protegendo instalações estratégicas e grandes áreas. Possui a peculiaridade de poder ser instalado em torres de telefones móveis¹² (Figura 9).

¹² IZ.RU. Ministério da Defesa vai bloquear GPS a partir de torres de celular (traduzido). Disponível em: <https://iz.ru/news/628766#ixzz4IHzFOXt>.



FIGURA 9: O sistema de GE russo Pole-21 é um dos responsáveis pela interferência nos sistemas orientados por navegação GPS.

O Pole-21 é uma estação de rádio R-340RP, que inclui a parte instrumental e módulos de antena. O sistema é construído de forma modular, o que simplifica sua produção e implantação. Cada posto do sistema inclui um contêiner com equipamentos e até três módulos de antenas. O sistema também inclui um painel de controle remoto que permite controlar mais de 100 postos. Cada módulo de interferência de antena é capaz de suprimir sinais de rádio em distâncias de pelo menos 25 km. [...] A operação abrange um setor com abertura de 125 graus em azimute e 25 graus em elevação.

A desvantagem do sistema é que suas interferências eletrônicas afetam tanto o inimigo que usa o sistema GPS, quanto os usuários domésticos de GPS e seu análogo russo, Glonass¹³.

COMO PROTEGER A NAVEGAÇÃO GPS?

As antenas modernas equipadas com varredura eletrônica possibilitaram a implementação de Medidas de Proteção Eletrônica (MPE) altamente eficazes contra sistemas que interferem na navegação por GPS.

O mercado de produtos de proteção dos sistemas GPS apresenta vários nomes para este tipo de antena: *Controlled Reception Pattern Antennas* (CRPA), *adaptive antennas*, *null-steering antennas*, *beamforming antennas* etc.

Apesar das diferenças de nomenclatura, os sistemas de proteção utilizam-se do fato de os sinais de satélite desejados e os sinais de interferência indesejados

¹³ SYNGAIVSKA, Sofia. Ukrainian Scouts Neutralized Rare Russian Pole-21 Electronic Warfare System. Defense Express, 20 de agosto de 23. Disponível em: https://en.defence-ua.com/weapon_and_tech/ukrainian_scouts_neutralized_rare_russian_pole_21_electronic_warfare_system-7690.html.

chegarem, geralmente, de direções diferentes. Em termos simples, é criado um filtro espacial. Este filtro elimina sinais que chegam de direções específicas (interferidor), enquanto deixa passar sinais provenientes de outras direções (satélite).

Um exemplo visual pode esclarecer as técnicas empregadas:

Nas figuras a seguir, a linha azul representa a direção de chegada de um sinal de satélite GPS ao receptor GPS da plataforma (avião/armamento) que usa o GPS para sua orientação, enquanto as linhas vermelhas indicam a direção de chegada de uma emissão de um interferidor ao receptor GPS da plataforma alvo (avião/armamento).

No primeiro diagrama (Figura 10), temos um único sinal de interferência (linha vermelha): o padrão de ganho da antena é um grande hemisfério, mas há um nulo profundo e planejado na direção do bloqueador (linha vermelha). O objetivo é minimizar ou cancelar completamente o sinal vindo do interferidor, esta técnica é chamada de *null-steering* ou cancelamento de lóbulos secundários (*sidelobe cancelling*).

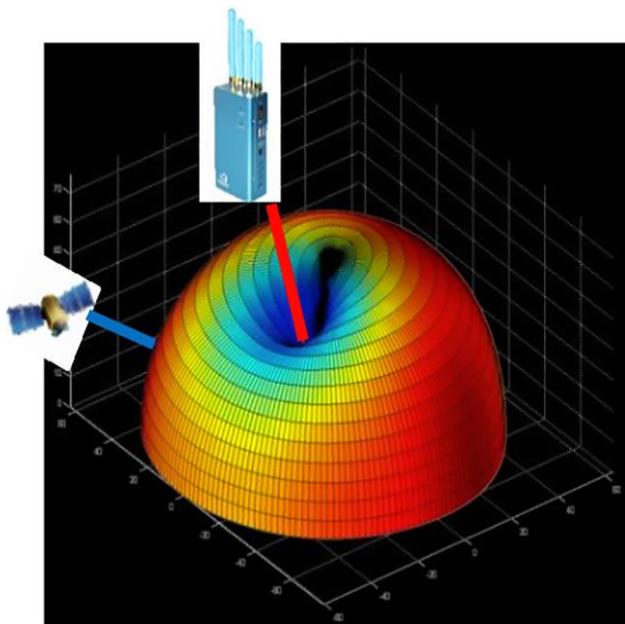


FIGURA 10: O sinal proveniente do satélite está representado pela linha azul e o proveniente do interferidor pela linha vermelha (Michael Jones).

Ao avançarmos para o próximo diagrama (Figura 11), podemos observar o impacto de três interferências simultâneas (vermelho) na mesma antena. Novamente, temos nulos na direção de cada interferência. No entanto, nessas circunstâncias, começamos a perder áreas do diagrama de onde os sinais do satélite poderiam se originar.

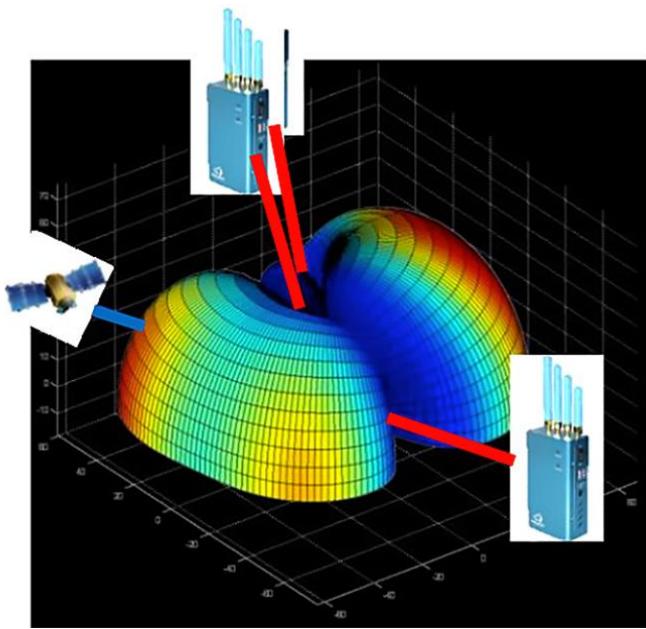


FIGURA 11: O sinal proveniente do satélite está representado pela linha azul e as três em vermelho vêm de interferidores (Michael Jones).

Por fim, o último diagrama (Figura 12) exemplifica a formação de feixes (*beamforming*) direcionado ao sinal do satélite (linha azul). Isso ocorre porque o ganho máximo geral da antena é orientado para esse satélite. O diagrama se ajusta na direção da emissão do satélite (linha azul), neutralizando a interferência (linha vermelha).

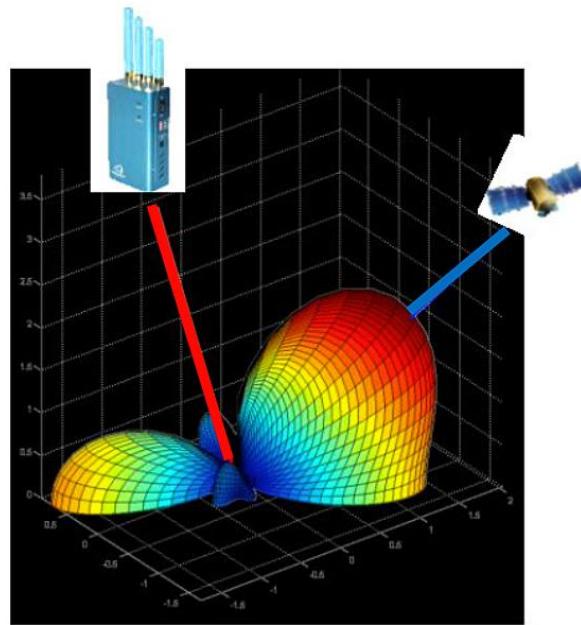


FIGURA 12: O sinal proveniente do satélite está representado pela linha azul e o proveniente do interferidor, linha vermelha (Michael Jones).

É importante destacar que, para se obter este nível de Proteção Eletrônica, os sistemas empregados não exigem que se faça nenhuma alteração no próprio receptor GPS. [...] simplesmente substitui-se a antena existente. [...] que é,

geralmente, maior do que as antenas GPS típicas, porque contêm vários elementos de antena e alguns eletrônicos associados¹⁴.

INTERFERIR NO SINAL GPS IMPLICA EM SE EXPOR AO INIMIGO

Na Guerra Eletrônica, emitir sinais é sinônimo de exposição ao inimigo. As Forças russas não têm outra opção, pois se não neutralizarem os sistemas de navegação ucranianos, suas perdas serão substanciais. Trata-se de um risco calculado.

Os grandes bloqueadores emitem um sinal potente, tornando-se alvos visíveis. Os Estados Unidos estão fornecendo à Ucrânia mapas de atividade eletromagnética – especificamente, a localização do bloqueio e as frequências utilizadas – 32 vezes por dia, conforme informado por T. J. Holland, do XVIII Corpo de Exército americano¹.

Da mesma forma, os Estados Unidos ajudaram a resolver os problemas com o JDAM-ER, garantindo que as bombas adquirissem um bom sinal de GPS antes de serem lançadas [...] A Excalibur está novamente atingindo seus alvos, como afirmado por um correspondente do ocidente¹.

“Na guerra eletrônica, as coisas mudam muito rápido”, diz representante ucraniano. [...] “Nesta guerra, se não controlarmos este domínio, não seremos eficazes em outros domínios”¹.

Com o apoio da OTAN, o esforço ucraniano começa a apresentar resultados contra os sistemas de Guerra Eletrônica russos. Imagens recentemente divulgadas mostram interferidores GPS Pole-21 russos sendo destruídos por uma bomba guiada por GPS.

Assista no X: A Rússia monta um interferidor de GPS, que é destruído por uma bomba guiada por GPS. Acesse o post: Perfil hochu dodomu v UA no X (ex-Twitter): “Українська авіація завода удару клерованною авіабомбою JDAM по позиції ворога, ймовірно із засобами РЕБ. Запорізький напрям. Краса!” (em português, seria algo como: “A Força Aérea Ucraniana ataca uma posição inimiga com uma bomba aérea guiada JDAM, provavelmente com equipamento de guerra eletrônica. Direção Zaporizhya. Beleza!”): <https://t.co/vBGn8c0LhF>.

***Jorge Schwerz** é coronel-aviador veterano da Força Aérea Brasileira, MsC em Guerra Eletrônica pelo ITA, ex-adido de Defesa e Aeronáutica na França e na Bélgica e coordenador do Canal Ao Bom Combate!

¹⁴ **JONES, Michael.** Anti-jam technology: Demystifying the CRPA. GPS World, 12 de abril de 2017. Disponível em: <https://www.gpsworld.com/anti-jam-technology-demystifying-the-cropa/>.