

# Emprego de Telemetria Acústica Terrestre na localização de disparos e fogo de contrabateria

15



Capitão de Corveta Guilherme Ferreira **Murrel** Liali

Ingressou na MB por meio do Colégio Naval. Ao longo de sua carreira, realizou diversos cursos, com destaque para o Curso de Aperfeiçoamento em Submarinos para Oficiais (CASO), o Curso de Operação e Manutenção do Sistema de Combate Integrado AN/BYG-501 e o Mestrado em Engenharia de Defesa pelo Instituto Militar de Engenharia. Entre as principais comissões, foi Encarregado da Divisão de Operações, Chefe do Departamento de Operações no Submarino Tikuna e Instrutor do CASO no Centro de Instrução e Adestramento Almirante Átilla Monteiro Aché. Em 2022, assumiu a Divisão de Análise de Campo em Guerra Acústica do CGAEM.

## Introdução

A telemetria de peças de artilharia, ou posições de armas inimigas por métodos acústicos, visa estimar a sua localização através do som produzido, predominantemente, pelos disparos realizados. Outra abordagem para essa estimativa consiste na análise da onda de choque gerada pelo projétil durante a fase supersônica de sua trajetória.

Inicialmente, os métodos acústicos, associados à mensuração temporal da recepção, emergiram antes da Primeira Guerra Mundial. Essa metodologia engloba a identificação do ruído proveniente do disparo de uma peça, a estimativa de sua direção e a mensuração da diferença de tempo de chegada entre dois receptores distanciados por alguns quilômetros. Embora os alemães tenham empregado esse método durante a guerra, ele foi prontamente descartado por ser considerado ineficaz pelas nações da Tríplice Entente, que desenvolveram os fundamentos científicos para a telemetria acústica, ainda vigente.

A base científica para a telemetria acústica é a utilização de sensores compostos por vários microfones visando à obtenção de linhas de posição (LDP) do disparo e sua origem. Essas LDPs são derivadas das diferenças temporais na chegada do sinal aos microfones (*Time Difference of Arrival* – TDoA). Tipicamente, cada sensor é equipado com três microfones, dispostos triangularmente com uma separação de aproximadamente 10 metros, medida necessária para alcançar a relação sinal-ruído ideal na faixa de frequência mais baixa (infrassom, abaixo de 20 Hz), característica dos disparos de peças de artilharia.

Após um período de suspensão ao término da Segunda Guerra Mundial, quando sistemas de radares terrestres e aéreos dominaram a tarefa de localização de artilharia, a década de 2010 testemunhou uma nova abordagem, ainda em desenvolvimento, que utiliza os denominados Sensores Acústicos Multimissão. Eles incorporam microfones vinculados a sensores de velocidade de partículas capazes de proporcionar a direção de chegada para sinais de banda larga e baixa frequência, reduzindo substancialmente as dimensões dos sensores e consolidando-os em uma única unidade.

## 1. Histórico

A Primeira Guerra Mundial coincide com o advento da Acústica como ciência em um período que reuniu sensores, tecnologia de medição precisa de tempo e recursos de análise necessários para a obtenção de uma telemetria acústica eficaz. Como muitos conceitos tecnológicos, a ideia de utilizar o som para localizar peças de artilharia inimigas surgiu de várias iniciativas individuais quase simultâneas.

O conflito proporcionou o ambiente propício para o desenvolvimento da telemetria acústica, pois o processamento de sinais elétricos de microfones estava amadurecendo devido ao início do desenvolvimento da telefonia, assim como das tecnologias para a gravação de sons. Esses avanços permitiram a medição precisa da diferença de tempo de chegada na ordem de centésimos de segundo. Dessa forma, a necessidade de suprimir a artilharia, central na guerra estática das

trincheiras, automaticamente gerou a opção mais viável: o fogo de contrabateria.

Embora o exército britânico não tenha sido o primeiro a testar a telemetria acústica para artilharia, foi ele que efetivamente implementou o primeiro sistema eficaz para essa tarefa durante a Primeira Guerra Mundial. Em meados de 1915, os britânicos atribuíram ao cientista australiano e ganhador do Prêmio Nobel, Sir William Lawrence Bragg, a responsabilidade pelo desenvolvimento de uma solução.

A primeira tarefa de Bragg foi investigar trabalhos existentes, especialmente as iniciativas francesas que, apesar de relevantes, careciam de aplicabilidade prática em combate. Bragg concentrou-se na natureza dos sons da artilharia e na necessidade de isolar o infrassom do ruído (relacionado à detonação do propelente do projétil) da fase supersônica de sua trajetória. Esse desafio foi resolvido em meados de 1916 por um membro da equipe de Bragg, o cabo William Sansome Tucker, militar ex-integrante do Departamento de Física da Universidade de Londres. Tucker desenvolveu um microfone de baixa frequência para separar o som do disparo da arma do estrondo supersônico do projétil. Outras questões foram igualmente resolvidas, resultando em dispositivos operacionais eficazes já em 1917.

Durante a Segunda Guerra Mundial, a tecnologia de alcance do som estava madura e foi amplamente empregada nas ilhas do Pacífico, especialmente pela Inglaterra, pioneira nesse campo, e pelos Estados Unidos – notadamente pelos fuzileiros navais. Em 1944, o radar iniciava, de maneira limitada, sua incursão na detecção de projéteis e na localização de baterias, inaugurando uma nova fase que se estenderia pelas décadas seguintes. Vale destacar que, tanto antes quanto durante a Batalha da Inglaterra, a detecção e a telemetria acústica foram utilizadas de forma alternativa para a defesa aérea das ilhas britânicas, complementando a então recente tecnologia de radar.

Na Guerra Fria, o emprego generalizado de radares terrestres e aéreos foi acompanhado pelo desenvolvimento da microeletrônica e da computação. A detecção de projéteis e suas trajetórias possibilitava a localização dos lançadores, bem como a determinação da direção dos disparos da contrabateria e dos primeiros sistemas de defesa de ponto.

## 2. Modernidade: Pós-Guerra Fria e dias atuais

No Pós-Guerra Fria, a telemetria acústica ressurgiu e se destacou novamente graças à Inglaterra, sendo empregada até os dias atuais. O salto tecnológico que propiciou esse ressurgimento foi o advento dos sensores multimissão, que integram sensores de velocidade

e microfones, permitindo uma significativa redução no tamanho dos arranjos de sensores.

O pioneirismo dessa reinserção foi evidenciado no protótipo do sistema HALO (*Hostile Artillery Locating* – localização de artilharia hostil), utilizado em Sarajevo em 1995. A versão de produção, também denominada ASP (*Advanced Sound Ranging Project* – projeto avançado de alcance sonoro), foi adotada pelos britânicos em 2001 e alega-se que, em 2003, no Iraque, foi capaz de localizar artilharia hostil a uma notável distância de 50 km. Atualmente, essa tecnologia vem sendo adotada por diversos outros operadores, incluindo os fuzileiros navais dos Estados Unidos.

Países como Rússia e Alemanha também desenvolveram sistemas semelhantes. A versatilidade dos sensores multimissão possibilita a sua instalação em diversos tipos de veículos, o que confere capacidade de telemetria acústica para escalões inferiores, proporcionando, assim, maior sobrevivência e disponibilidade espacial e temporal desse recurso.

O cenário atual contempla, ainda, técnicas de processamento de sinais acústicos que incorporam significativos avanços motivados por mudanças nas peças de artilharia contemporâneas. Com armamentos de alcances cada vez maiores, o processamento do estampido do disparo torna-se proibitivo devido às atenuações sofridas durante a propagação, o que dificulta a sua detecção em longas distâncias. Adicionalmente, a velocidade do som no ar e a elevada mobilidade de peças autopropulsadas contribuem para que a detecção e a localização ocorram tarde demais, inviabilizando o efetivo emprego do fogo de contrabateria antes que o inimigo reposicione sua própria artilharia. Nesse contexto, os lançadores múltiplos de foguetes ganham destaque e se tornam cada vez mais difundidos, complementando e substituindo a artilharia de tubo, pois a propulsão contínua dos foguetes ao longo de sua trajetória elimina o ruído do disparo.

Dessa forma, a telemetria acústica contemporânea concentra-se não mais no ruído do disparo, mas sim nas ondas de choque geradas pelo deslocamento supersônico dos projéteis e foguetes. As características singulares desse sinal acústico o tornam mais propenso a ser explorado no cenário moderno, uma vez que é mais intenso, possui maior duração e sofre menor atenuação na propagação. É importante ressaltar que as ondas de choque apresentam um nível sonoro inicial mais elevado, sofrendo atenuações apenas em duas dimensões (ao contrário da propagação esférica do estampido), e geralmente possuem um ângulo de chegada em elevação mais obtuso. Vale destacar que o tempo de aquisição do alvo não é mais ditado pela velocidade do som, mas sim pela velocidade supersônica do projétil,

resultando na localização mais rápida da origem do disparo e na maior efetividade do fogo de contrabateria.

Por fim, é de suma importância salientar que, em determinados sistemas acústicos modernos, as capacidades de telemetria acústica mencionadas anteriormente estendem-se à localização de disparos de armas portáteis de pequeno calibre. Essas capacidades tornam-se primordiais nos dias atuais, marcados pela proliferação de conflitos de baixa intensidade, assimétricos e em áreas urbanizadas. Em tais cenários, é comum ver forças convencionais, inclusive em Operações de Paz, enfrentarem agentes irregulares que utilizam uma variedade de armas leves em ambientes urbanos ou que impedem qualquer tipo de detecção por linha de visada (*Non-Line of Sight* – N-LOS).

### 3. Vantagens e desvantagens da Telemetria Acústica Terrestre

A variação do som oferece uma série de vantagens em relação a outros métodos: a detecção acústica é um método passivo caracterizado pela ausência de emissões rastreáveis até o receptor, diferentemente de sistemas como radares ou sensores ativos. Os equipamentos de telemetria acústica terrestre, comparados a radares desempenhando funções semelhantes, tendem a ser mais compactos e leves, conferindo maior mobilidade e disponibilidade. Além disso, dispensam a necessidade de extensos arranjos de sensores ou significativas quantidades de energia.

Essas vantagens, contudo, implicam uma solução de compromisso: a velocidade do som varia consideravelmente em função da temperatura e de outras condições atmosféricas, como a intensidade e a direção do vento. Para a detecção em longas distâncias, o som gerado por uma arma não se traduz em um estampido discreto, mas sim em um estrondo de duração considerável, resultado da propagação multipercurso. Isso torna desafiadora a medição precisa do tempo exato de chegada da frente de onda por correlação cruzada do sinal entre diferentes sensores.

## 4. Sistemas atualmente em serviço

### 4.1. HALO

O Sistema de Localização de Artilharia Hostil, conhecido como HALO, encontra-se atualmente em operação nas forças armadas do Reino Unido, dos Estados Unidos e do Canadá, entre outros países. O HALO utiliza técnicas avançadas de processamento de dados acústicos para realizar a localização rápida, precisa e confiável de peças de artilharia, morteiros pesados e lançadores múltiplos de foguetes. O sistema é composto por até

12 conjuntos de sensores não tripulados autônomos, denominados *Sensor Posts* (SP), que são distribuídos com espaçamento de dois a quatro quilômetros de distância.

Cada conjunto SP é constituído por sensores meteorológicos e grupos de microfones georreferenciados por GPS, o que proporciona uma redundância eficiente contra falhas de equipamento ou ações inimigas. Os dados coletados pelo SP são transmitidos para o Posto de Comando (CP – *Command Post*), onde a localização da arma é calculada com um erro inferior a 1% em alcance e quase em tempo real, ou seja, praticamente instantaneamente para transmissão subsequente. Esse sistema vem sendo submetido a testes em situações reais de combate desde os anos 1990, tendo demonstrado sua eficácia nos conflitos da Bósnia, do Kosovo, do Iraque e do Afeganistão.

Figura 1: Postes de suporte dos sensores acústicos e de velocidade de partículas (sensores multimissão) do sistema HALO.



Fonte: Military Periscope, [s.d.].

### 4.2. AZK-7M e WLS POLOZHENNYA-2

O sistema russo AZK-7M é utilizado tanto para localizar armas e morteiros inimigos quanto para direcionar o fogo da própria artilharia contra alvos inimigos. É composto por um Posto de Comando (CP) e três Pontos-Base (BP – *Base Point*), que são transportados por viaturas de cinco toneladas. O AZK-7M opera de maneira eficiente no campo de batalha: cada BP é equipado com duas Estações de Som (SS) e cada SS é composta por três microfones.

O sistema é capaz de localizar projéteis de morteiros ou de canhões em distâncias que variam de 8 km a 16 km, respectivamente, com um erro de apenas 1% em alcance e em um rápido intervalo de 15 segundos. A cobertura efetiva de três BPs abrange uma frente de até 12 km.

Uma versão modernizada do AZK-7M, conhecida como Polozhennya-2, apresenta configuração e capacidade semelhantes, mas se destaca por sua maior mobilidade, sendo instalada em diversos tipos de veículos.

Originado na Ucrânia, o Polozhennya-2 é considerado um Sistema Automatizado de Localização Acústica de Armas (*Weapons Localization System – WLS*). Alega-se que esse sistema possui a notável capacidade de localizar disparos em distâncias de até 35 km em apenas 5 segundos, além de dirigir o fogo da própria artilharia a uma distância máxima de 15 km. Essas características destacam a avançada tecnologia empregada no Polozhennya-2, tornando-o uma ferramenta eficaz para a moderna gestão do campo de batalha.

**Figura 2:** Viatura URAL de transporte do Posto de Comando do Sistema AZK-7M.



**Fonte:** Russian Defence Export.

### 4.3. SL2A

O Sistema de Localização Acústica de Artilharia SL2A (*Système de Localisation de l'Artillerie par l'Acoustique*) foi desenvolvido pelo Grupo Thales da França. Esse sistema autônomo proporciona cobertura de 360° em uma área de 2.000 m<sup>2</sup>. Sua capacidade de detecção e localização automática abrange uma ampla gama de tipos de disparos, desde tiros de artilharia até bombas, minas, armas leves e dispositivos explosivos improvisados.

Composto por um posto de comando e oito conjuntos de sensores autônomos, cada um equipado com três microfones, o SL2A é capaz de oferecer uma resposta abrangente em cenários variados. A integração eficiente desses conjuntos de sensores é coordenada por um posto de comando central, proporcionando uma gestão unificada e precisa das informações coletadas. Essa configuração permite uma rápida e precisa localização acústica de eventos de interesse em um amplo espectro de situações operacionais.

**Figura 3:** Sistema SL2A. À esquerda: elemento sensor acústico portátil. Centro: arranjos triangulares de elementos sensores. Direita: Posto de Comando (CP) portátil.



**Fonte:** Lemer; Ywanne, 2006.

## Conclusão

Os modernos sistemas de telemetria acústica superaram eficazmente as limitações associadas à sua utilização em campos de batalha dinâmicos e de ritmo acelerado graças aos complexos esforços e ao tempo despendidos para essa finalidade. Avanços notáveis em sensores, técnicas de processamento de sinais e miniaturização de componentes do sistema resultaram em elevados níveis de mobilidade e disponibilidade. Essas inovações permitiram que a telemetria acústica não apenas se integrasse de forma complementar, mas também superasse as soluções tradicionais baseadas em sistemas de radar.

Recentemente, surgiram sistemas dedicados à detecção de disparos provenientes de armas portáteis e de pequeno calibre. Essa evolução reflete tanto a adaptação a conflitos *near-peer* convencionais como a capacidade para enfrentar cenários não convencionais ou assimétricos. Esses avanços, portanto, destacam a versatilidade e a capacidade de resposta da telemetria acústica em um espectro diversificado de contextos operacionais contemporâneos.





## Referências Bibliográficas

ARMED FORCES – the website for UK defence information. The British Army. Artillery. **Sound Ranging**. Disponível em: <<http://www.armedforces.co.uk/army/listings/I0144.html>>. Acesso em: 06 mar. 2024.

LEMER, A.; YWANNE, F. Acoustic/Seismic Ground Sensors for Detection, Localization and Classification on the Battlefield. In: **Battlefield Acoustic Sensing for ISR Applications. Meeting Proceedings RTO-MP-SET-107**, Paper 17, p. 1-12, 2006. Disponível em: <<https://www.sto.nato.int/publications/STO%20Meeting%20Proceedings/RTO-MP-SET-107/MP-SET-107-17.pdf>>. Acesso em: 06 mar. 2024.

MACLEOD, R. Sight and Sound on the Western Front: Surveyors, Scientists, and the 'Battlefield Laboratory' 1915-1918. **War & Society**, 2000, 18(1), p. 23-46. DOI: 10.1179/072924700791201405

MEYER, G. J. **A World Undone: the story of the Great War, 1914 to 1918**. New York: Bantam Books, 2006.

MILITARY PERISCOPE. **HALO - Hostile Artillery Location System**. [s.d.]. Disponível em: <<https://www.militaryperiscope.com/weapons/sensorselectronics/ground-radars/halo-hostile-artillery-location-system/overview/>>. Acesso em: 28 fev. 2024.

MITCHELL, A. J. **Technology for Artillery Location, 1914-1970**. Glasgow, UK: Lulu Press Inc., 2012.

MUIR, T. G.; BRADLEY, D. L. Underwater acoustics: a brief historical overview through World War II. **Acoustics Today**, 2016, 12(3), p. 40-48.

NAMORATO, M. V. A concise history of acoustics in warfare. **Applied Acoustics**, 2000, 59, p. 101-135.

RUSSIAN DEFENCE EXPORT. Catalog. Land Forces. **AZK-7M Automatic Sound Ranging System**. Disponível em: <<http://roe.ru/eng/catalog/land-forces/automated-artillery-fire-control-systems/azk-7m>>. Acesso em: 28 fev. 2024.

STEFFENS, H.; SCHUTTE, M.; EWERT, S.D. Acoustically driven orientation and navigation in enclosed spaces. **Journal of the Acoustical Society of America**. Sep. 2022; 152(3): 1767. DOI: 10.1121/10.0013702. PMID: 36182293.

STORZ, D. Artillery. In: **1914-1918 Online – International Encyclopedia of the First World War**. Daniel, U.; Gatrell, P.; Janz, O.; (Eds.). Trad. (inglês): Christopher Reid. Freie Universität Berlin, 2014. Disponível em: <<https://encyclopedia.1914-1918-online.net/article/artillery?version=1.0>>. Acesso em: 06 mar. 2024.

THOMPSON, S. C. As we enter the second century of electroacoustics... **Acoustics Today**, 2019, 15(4), 55-63. Disponível em: <<https://acousticstoday.org/issues/2019AT/Winter2019/index.html#p=55>>. Acesso em: 06 mar. 2024.

TROWBRIDGE, A. (1920). Sound ranging in the American Expeditionary Forces. In: YERKES, R. M. (Ed.). **New World of Science**. New York: The Century Co., 1920. p. 63-88.

VAN DER KLOOT, W. (2005). Lawrence Bragg's role in the development of sound-ranging in World War I. **Notes and Records of the Royal Society of London**, vol. 59(3), Sep. 2005, p. 273-284. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/30041503>>. Acesso em: 06 mar. 2024.

.....  
**Figura 4:** ComAnf em Furnas.  
**Fonte:** Acervo MB.