

Revisão de técnicas de detecção de minas terrestres

Leandro Vitral Andraos, Paulo Henrique Coelho Maranhão, Rodrigo Otávio de Castro Guedes

Instituto Militar de Engenharia (IME)

Praça General Tibúrcio, 80, 22290-270, Praia Vermelha, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

*luizparente.felipe@eb.mil.br

RESUMO: Apesar dos avanços tecnológicos, as ações de minas terrestres ainda afetam a vida de muitas pessoas e a busca de métodos eficientes para a detecção dessas minas torna-se um tema atual e relevante. Existem cerca de 100 milhões de minas espalhadas pelo mundo, remanescentes de guerras anteriores em mais de 70 países. O presente artigo apresenta uma revisão de diversas técnicas existentes e atuais para detecção de minas terrestres. Vantagens e limitações também são analisadas dentre as técnicas discutidas.

PALAVRAS-CHAVE: Minas terrestres. Revisão. Técnicas existentes.

ABSTRACT: Despite technological advances, landmine actions still affect the lives of many people and the search for efficient methods to detect these mines becomes a current and relevant issue. There are about 100 million mines in the world, remnants of previous wars in more than 70 countries. This paper presents a review of several existing and current techniques for landmine detection. Advantages and limitations are also analyzed among the techniques discussed.

KEYWORDS: Landmines. review. existing techniques.

1. INTRODUÇÃO

A mina terrestre é um artefato explosivo com o objetivo de criar um obstáculo, dificultando a passagem de indivíduos ou veículos em um determinado local. São enterradas e fabricadas normalmente com materiais duradouros como plástico, vidro ou metal. A forma mais comum de sua explosão é devido a pressão direta realizada sobre o local, embora também existam outras formas menos frequentes de ativação, tais como som, fios, vibrações e eletromagnetismo.



Fig. 1 - Exemplos de mina antipessoal das forças armadas brasileiras.

De acordo com o tipo, as minas podem ser classificadas em duas classes: antipessoais e antiveículo. O tipo veicular possui um dispositivo que impede a sua desativação e, dessa forma, podem explodir ao serem manuseadas [1]. No presente artigo, todo o estudo e levantamento de informações foram baseados nos artefatos de contenção humana, logo os termos “minas terrestres” referem-se sempre ao caso antipessoal (enterradas cerca de 3 a 5 cm do solo). Um exemplo pode ser visto na Fig. 1.

As minas apresentam longa vida útil, sobrevivendo aos efeitos do tempo, do clima e das estações. Possuem baixo custo de aquisição com preço inferior a 10 dólares e necessidade de pouca quantidade de mão de obra, em geral não especializada, para sua instalação no solo [2]. Devido a essas facilidades tornou-se um grande problema para a população civil desde o início das guerras e conflitos do século XX.

Os danos causados pelas explosões das minas não discriminam soldados de civis ou períodos entre guerra e paz. Após sua implantação podem permanecer ativas por muitos

anos, mesmo após o fim de conflitos e guerras no local. Na Polônia, por exemplo, após 30 anos do fim dos conflitos da Segunda Guerra Mundial, minas remanescentes enterradas no território causaram a morte de 4000 pessoas e cerca de outras 9000 ficaram feridas, e isso aconteceu mesmo após a retirada de 15 milhões de minas [3].

A convenção sobre a proibição do uso, armazenamento, produção e transferência de Minas Antipessoais criou o Tratado de Ottawa em 1997. Assinado por 197 países, tinha o compromisso de proibir o uso por completo, produção, transferência e armazenamento, além de limpar áreas contaminadas, destruindo estoques existentes. Alguns países não fizeram parte do tratado, entre eles, Estados Unidos, Cuba, Rússia, Índia e China.

Outros governos não aderiram ao acordo e permanecem produzindo os artefatos em larga escala; entre os quais podemos citar: Coreia do Norte, Mianmar e Síria, além de grupos armados não - estatais de dez países (Afeganistão, Colômbia, Iraque, Líbia, Mianmar, Paquistão, Síria, Tunísia, Ucrânia e Iêmen).

Por outro lado, os Estados Unidos não utilizam minas desde 1991, não exportam desde 1992 e baniram sua produção em 1997 [4]. Já China, Rússia e Índia extinguíram sua exportação nos anos 1990 [5]. Apesar disso, esses países ainda registram estoques de minas terrestres, conforme consta na Tabela 1.

Tab 1 - Estimativa dos maiores estoques de minas (em Milhões de Unidades em 2013).

País	Estoque
China	5
Rússia	3
Estados Unidos	3
Paquistão	2
Índia	4

Fonte: International Campaign to Ban Landmines (2017).

A república de Angola, por exemplo, possui a maior população de amputados no mundo devido as minas e ain-

da tinham cerca de 20 milhões de objetos enterrados [6]. A Tabela 2 mostra as vítimas por minas terrestres em diversos países até o final do ano de 2013.

Informações do Serviço de Ação de Minas apontam que em média dez pessoas são mortas ou mutiladas por uma mina terrestre a cada dia e existe, ainda hoje, uma mina para cada 17 crianças no mundo, apresentando um sério risco para a população [7]. A cada três vítimas de explosões de minas terrestres, uma é ainda criança.

Tab 2 - Vítimas conhecidas de acidentes com minas em vários Países até 2013.

Posição	País	Vítimas
1	Vietnã	105.023
2	Angola	*
3	Camboja	64.314
4	Laos	50.525
5	Iraque	30.495
6	Afeganistão	22.546
7	Etiópia	16.849
8	Colômbia	10.626
9	Egito	8.313
10	Paquistão	3.817
11	Mianmar	3.450
12	Rússia	3.169
13	Índia	3.166
14	Somália	3.010
15	República do Congo	2.516
16	Sudão	1.913

Fonte: International Campaign to Ban Landmines. Tabela elaborada pelo autor. *Estimativa de 80.000 vítimas para o País.

Estimativas apontam que ainda existem pelo menos 100 milhões de minas terrestres espalhadas por mais de 60 países [8], o que torna a busca por métodos mais eficientes para detecção de minas um tema ainda atual e importante. Autoridades militares estimam que, para cada 5.000 minas terrestres que as forças de segurança desativam, um desminador morre e dois ficam feridos. Devido à falhas no processo de remoção a Colômbia liderou o mundo em número de vítimas militares em 2014, com 156 feridos e 31 mortos [9].

Além da perda de pessoas e danos psicológicos causados por esses objetos, há também um grande prejuízo financeiro. Nos locais onde o mapeamento aponta possíveis instalações, há uma grande perda em termos econômicos, uma vez que tais áreas tendem a permanecer isoladas, afetando assim as populações e economias que dependam de atividades agropecuárias. Por outro lado, o processo de desminagem demanda um grande recurso material e humano. É um processo longo e dispendioso, com um custo estimado entre US\$ 300 e US\$ 1.000 para cada remoção e estimativas apontam que o valor total das remoções no mundo hoje seria de, pelo menos, US\$ 33 bilhões [4].

2. POLÍTICA E ATUAÇÃO DO BRASIL

Em 1980, a partir do tratado de armas convencionais, o Brasil se posicionou de forma contrária ao uso indiscrimina-

do das minas terrestres. Mas foi em 1984 que a exportação desses artefatos passou a ser proibida no país e, em 1989, sua produção também foi proibida [10].

O Brasil assinou, então, o Tratado de Ottawa em 1997 proibindo em definitivo, atividades envolvendo minas terrestres em território nacional. Além disso, vem desempenhando um papel importante no processo de desminagem, disponibilizando militares para atuação no processo, em alguns países da África e América do Sul, principalmente na Colômbia.

Uma das primeiras atuações do Exército Brasileiro no processo de desminagem ocorreu em Angola no período 1995-1997 [10]. Posteriormente atuou na América Central em países como Honduras, Nicarágua, Guatemala e Costa Rica. No período 1994-2003, dos 170 oficiais envolvidos no processo de retirada das minas, 101 eram brasileiros (quase 60% do total) e, neste mesmo período, a missão foi comandada quatro vezes por um oficial brasileiro [10]. Além do aporte de pessoal, o governo brasileiro envolveu-se financeiramente no suporte da missão: até 2002, o país havia despendido US\$ 4 milhões.

O Brasil faz parte de um seleto grupo de Estados a partir do Tratado de Ottawa que ainda mantêm estoques com o propósito de treinar equipes de desminagem [11]. Em 2001, o estoque brasileiro totalizava 30.748 minas, das quais 16.545 seriam mantidas para fins de treinamento e o restante deveria ser destruído. daquelas minas, 4.132 eram de fabricação nacional e 26.616 de fabricação Belga [10].

Em 2006, o Ministério da Defesa declarou que o estoque havia sido reduzido a 13.550 minas, sendo que todas deveriam ser utilizadas em treinamentos até o ano de 2019 [12]. Em 2008, o Ministério da Defesa informou que o estoque havia sido novamente reduzido para 10.986 minas, das quais 2.200 estavam sob a guarda da Marinha do Brasil e o restante sob a guarda do Exército Brasileiro [13]. No mesmo documento, também foi confirmada a inexistência de fabricação de minas terrestres em território nacional ou mesmo de capacidade instalada para produção.

Atualmente, o Exército Brasileiro atua eficazmente no processo de desminagem na Colômbia, onde coopera com as Forças Armadas daquele país nessas ações desde a última década. Desde 2007, os militares desativaram 1.624 minas no país, segundo a Direção para Ação Integral contra Minas Antipessoais (DAICMA). Grande parte do arsenal foi implantado por grupos guerrilheiros, como as Forças Armadas Revolucionárias da Colômbia (FARC) e o Exército de Libertação Nacional.

Apesar dos números expressivos em termos de remoção, a equipe de campo pode levar um dia inteiro para remover apenas uma mina, já que o processo é lento e deve ser feito com todo cuidado e preparação. O processo de desminagem do Exército Brasileiro na Colômbia pode ser resumido nos passos abaixo [14]:

1) A equipe realiza o mapeamento da região tentando encontrar fios onde se possa tropeçar e outros possíveis mecanismos de disparo.

2) Um soldado joga repetidas vezes no campo minado um peso feito de material especial resistente a explosivos. O peso está preso a uma corda de 70 metros de comprimento e, quando ele o puxa de volta, detona as minas no caminho.

3) Depois desse procedimento, um cachorro e seu treinador entram no campo para identificar substâncias explosivas que não puderam ser encontradas pelo detector de metal.

4) Por fim, dois soldados conferem o terreno com um de-

tector de metais e o sargento detona os dispositivos que ainda não explodiram.

Nesse sentido, o Brasil tem um papel importante no processo de remoção e erradicação das minas, e para isso, mantém um curso de especialização em desminagem, destinado a militares brasileiros e estrangeiros [15]. Mas, apesar do grande esforço do Exército Brasileiro em realizar a remoção das minas, o processo ainda é feito de maneira muito rudimentar. Novas técnicas precisam ser desenvolvidas ou aprimoradas para facilitar a identificação e monitoramento das minas terrestres.

3. MÉTODOS DE DETECÇÃO DE MINA TERRESTRE

A detecção de minas terrestres e sua remoção é um processo que pode ser extremamente demorado. Além de ser uma tarefa bastante perigosa, ainda não existe uma única técnica que seja eficiente e precisa. O desenvolvimento de técnicas de detecção deve sempre tentar minimizar a taxa de falso alarme positivo (diagnóstico positivo porém ausência da mina enterrada). Algumas das técnicas existentes serão discutidas nesse artigo.

A desminagem de terrenos é uma tarefa árdua e perigosa com um custo de remoção excessivamente alto, mas responsável por salvar milhares de vidas e evitar mutilações em inúmeras pessoas. Os métodos tradicionais de detecção de minas são pouco eficazes e perigosos, assim estudos vêm sendo realizados para aperfeiçoar as técnicas existentes ou implementar novas metodologias para melhorar sua qualidade em termos de sua percepção [16].

3.1 Métodos básicos

3.1.1 Inspeção visual

Método mais primitivo para detecção de minas. Nesse modelo, observa-se a composição do terreno, identificando objetos em formato similar ao das minas terrestres ou que contenham cargas explosivas. Apesar de realizado por pessoas qualificadas para a função, tornou-se um sistema limitado e sujeito a falhas humanas. As limitações de uma inspeção visual superficial são simples e óbvias.

3.1.2 Detector de Metal

A utilização dos detectores de metais é uma das formas mais clássicas para monitoramento das minas terrestres. Além de popular, é fácil de manusear, barato de comprar e apresenta uma taxa de sucesso razoável. Seu funcionamento é feito a partir do princípio da indução eletromagnética onde bobinas presentes no equipamento criam um campo eletromagnético. Esse campo induz uma corrente de Foucault nos objetos metálicos e uma corrente oposta é gerada nas bobinas do detector. O equipamento de metal detecta esta corrente no objeto enterrado e gera um sinal que indica a presença da mina.

Embora esta técnica seja muito eficiente quando a mina é composta de metal, não consegue detectar as minas terrestres feitas de plástico já que contém pouca ou nenhuma quantidade de metal. Na sua versão atual, é capaz de detectar peças metálicas com no máximo 50 cm de profundidade [17].

Em [18] é discutida exatamente esta questão, já que o detector de metais ainda era o dispositivo popular mais utilizado na detecção de minas terrestres metálicas, no entanto era pouco útil no caso mais comum, mina não metálica (PVC e polietileno).

Os tipos de indução eletromagnética podem interferir no desempenho do detector de metal. Um estudo metodológico para avaliar diferentes desempenhos de detectores de metal foi realizado por [19].

3.1.3 Veículos de limpeza

Este método envolve principalmente a questão da velocidade da remoção da mina e a economia de tempo decorrente disso. Quando o processo de limpeza precisa acontecer rapidamente a utilização de máquinas de rolamento pelo caminho acabam se tornando prioridade. Forças militares empregam vários tipos de máquinas de limpeza de minas para limpar ou detonar minas. Como essas máquinas geralmente são de grande porte desencadeiam os explosivos das minas por pressão e causa sua detonação.

Algumas máquinas são projetadas especificamente para a tarefa de remoção de minas, enquanto os tanques de guerra também podem ser equipados com certos dispositivos de remoção de minas. Atualmente, vários tipos de máquinas de limpeza de minas são empregados para limpar os campos de minas [20]. As formas mais convencionais incluem correntes para bater no chão, rolos ou lâminas para arar pelos campos minados, empurrando as minas para o lado. Esses métodos são rápidos e eficientes e há menos chances de pessoas se ferirem durante o processo. No entanto, isso deixa a área praticamente destruída causando prejuízos econômicos.

3.2 Principais métodos eletromagnéticos

3.2.1 Infravermelho térmico

A utilização de imagens térmicas infravermelhas (IR) para a detecção de minas terrestres tornou-se um tema de grande interesse nos últimos tempos, embora a teoria básica tenha sido desenvolvida em 1975 [21]. A técnica de detecção por IR baseia-se nas diferenças da capacitância térmica entre o solo e a mina, afetando assim suas taxas de aquecimento/resfriamento e consequentemente, suas emissões infravermelhas associadas.

Trabalhos precursores no assunto foram desenvolvidos em 1995 já que relataram assinaturas térmicas (representação visível da temperatura exterior de um objeto) em áreas com minas terrestres [22]. As câmeras térmicas mapeiam a irradiação do calor proveniente da terra, fazendo desse método termográfico uma técnica de identificação por semelhança, onde cada objeto apresenta uma assinatura térmica diferente [23]. A técnica mede, então, a emissão térmica da terra e interpreta as possíveis mudanças ocorridas devido à presença da inserção de algum corpo estranho.

Além disso, a utilização de imagens infravermelhas térmicas para detectar minas terrestres baseia-se no pressuposto de que as minas têm propriedades térmicas diferentes do solo onde estão inseridas [24]. Por isso, muitas vezes, sua aplicação é restrita ao período noturno, pois nesse momento, solo e mina estarão em equilíbrio térmico, não criando assim um gradiente de temperatura na superfície da terra.

Todo corpo emite radiação IR de acordo com suas pro-

priedades específicas mesmo que a temperatura seja a mesma. As propriedades térmicas da mina terrestre são diferentes de outros objetos, portanto, sua assinatura pode ser isolada, ainda que a vegetação afete a discriminação de minas terrestres dos arredores pois também emite radiação IR. [25].

As minas terrestres detectáveis por este método devem estar enterradas próximas à superfície com uma profundidade de cerca de 10 cm [26].

Um exemplo de imagem infravermelha térmica pode ser visto na Fig. 2. A mina bem distinguível (mancha mais branca na parte superior esquerda) com uma temperatura mais alta e a pedra com uma temperatura mais baixa passa também a ser identificada (borrão escuro no flanco inferior direito).

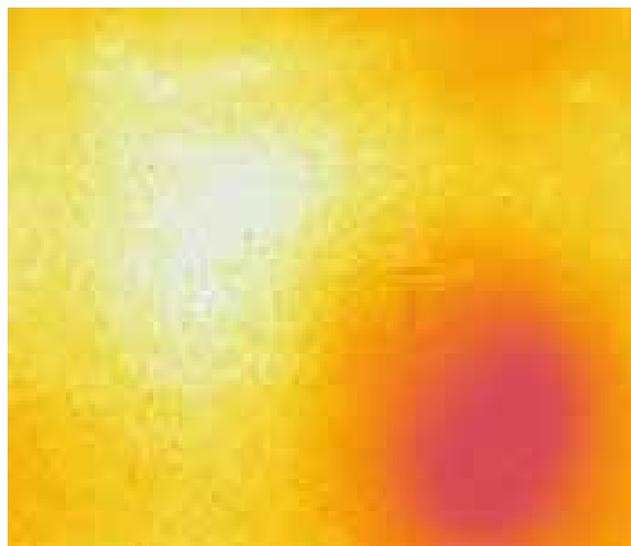


Fig. 2 - Imagem IR da mina e da pedra.

Novos estudos realizados em 2001 avaliaram como a textura do solo e a água afetam as assinaturas térmicas de minas terrestres [27]. Classificadores baseados em distância de Mahalanobis e Fisher também foram utilizados para encontrar objetos de forma circular baseadas em imagens infravermelhas [28].

O princípio da Termografia deixa claro que a assinatura do solo é alterada pela presença de objetos superficialmente enterrados. Assim, foi possível relacionar a detecção de minas terrestres com suas propriedades térmicas, resultando em perturbações do padrão térmico esperado, podendo então ser medidas por sensores IR [29]. Tal detecção vale para cada tipo de mina e, mesmo se houver pouca quantidade de metal, sua identificação pode ser realizada. Com o desenvolvimento da teoria de problemas inversos, uma análise não destrutiva interna do solo foi realizada, a fim de detectar a presença de minas enterradas [29].

Estudos realizados em 2004 investigaram como a absorção de temperatura cria um gradiente de concentração térmico na superfície do solo [30]. Técnicas baseadas em sensores e em processamento de sinais foram utilizadas para melhorar a detecção de minas com o uso de imagens de infravermelhos térmicos [31]. Investigações de outros métodos de detecção de minas foram realizadas. Este fato introduziu um método envolvendo Termografia infravermelha ativa com microondas combinando aquecimento e imagens térmicas [32].

Em 2018, a Análise Multivariada de Imagens foi utilizada para detecção das minas utilizando imagens infravermelhas térmicas (IR). Adicionalmente, o monitoramento dessas minas foi feito a partir do gráfico de controle multivariado

T² de Hotelling. Resultados experimentais mostraram que o método foi eficiente tanto para a detecção, quanto para o monitoramento das minas terrestres [33].

3.2.2 Sensores acústicos

A utilização de sensores acústicos também pode ser útil para detecção de minas terrestres [34]. A onda acústica é projetada no chão pelos sensores acústicos com uma frequência superior a 20kHz. Com isso a onda sonora reflete as diferentes propriedades acústicas dos materiais no meio em questão.

Utilizando ondas refletidas, a localização e a identidade do corpo alvo podem ser encontradas [35]. Estudos complementares por esses autores mostraram que a acústica é afetada pela densidade do solo. Assim, tal método é muito poderoso no solo úmido e pesado como a argila, mas menos ineficiente em solos arenosos, já que encontram problemas na interface do ar e do solo.

O procedimento pode ser resumido da seguinte forma: Quando a fonte de som está acima de uma superfície uniforme e superfície homogênea, os sensores gravam as mesmas formas de onda e a diferença entre as duas gravações é zero. Se, no entanto, a superfície contém um objeto como uma mina, as formas de onda retornadas não são iguais e a diferença é uma forma de onda diferente de zero. Com um processamento de sinal adequado, afirma-se que é possível determinar a profundidade do objeto e distinguir o tamanho e a forma do objeto, no caso a mina terrestre.

3.2.3 Radiação penetrante

As radiações penetrantes baseiam-se na excitação e detecção de elementos por raios gama ou nêutrons, do solo e de qualquer explosivo. Com isso, podem ser importantes na detecção de minas terrestres, particularmente na caracterização do material enterrado. A partir da radiação emitida é possível estudar as características dos materiais. É importante, então, analisar as principais composições dos materiais explosivos.

Para as minas terrestres, o material explosivo mais provável é o TNT, embora outros explosivos como o RDX também sejam utilizados [23]. Embora sejam ricos em nitrogênio (agente de ligação) e oxigênio (agente de oxidação), somente esses compostos não são suficientes para caracterizar uma mina terrestre. Dessa forma, a relação oxigênio/nitrogênio é um ótimo indicador do material explosivo [36].

A composição do solo também pode facilitar a identificação dos materiais. A crosta terrestre é constituída principalmente de oito elementos básicos: oxigênio (49,52%), silício (25,75%), alumínio (7,51%), ferro (4,7%), cálcio (3,39%), sódio (2,64%), potássio (2,40%) e magnésio (1,94%), elementos restantes constituem aproximadamente 2,15% [37]. Assim, o único elemento comum à crosta terrestre e ao material explosivo é o oxigênio.

O cuidado a se tomar é com a grande taxa de falsos alarmes, pois outros objetos, tais como as raízes das árvores e sucata, podem também estar enterrados no solo. Estes materiais e alguns outros possuem elementos químicos similares àqueles encontrados nos explosivos, o que pode gerar falsos alertas no processo de caracterização do material.

Alguns falsos positivos podem ser minimizados pelo fato dos explosivos apresentarem uma densidade mais elevada do que a maioria dos compostos orgânicos e menor do que a dos metais e tipos de solo [38]. De posse da informação sobre a

composição e a densidade do material a caracterização de um corpo suspeito de conter um material explosivo pode ser realizada [39].

3.2.4 Tomografia de impedância elétrica

A tomografia de impedância funciona gerando uma imagem com base na distribuição de condutividade do meio sob investigação. O sistema é simples, barato e leve. É constituída por uma disposição bidimensional de eletrodos que é colocada sobre a superfície para capturar sinais da distribuição da condutividade. Essa informação pode ser usada para detectar todos os tipos de minas [40].

É especialmente adequado para a detecção de minas em ambientes úmidos, devido à maior condutividade do substrato em meio aquoso. Devido à condutividade fraca, não é muito indicado em solo seco, como desertos ou superfícies rochosas. A maior desvantagem é que os sensores devem estar em contato com a superfície, logo tem como grande limitação a exigência do contato físico com o solo, aumentando o risco de desencadear a explosão da mina. Sua utilidade se restringe para a detecção de objetos próximos da superfície [41].

3.2.5 Microondas

As microondas podem ser usadas para detectar minas ou objetos enterrados que emitem energia analisando o resultado a partir dos sinais recuperados. Os sinais de frequência mais alta são mais usados para a detecção de objetos enterrados superficialmente enquanto as baixas frequências são menos atenuadas no solo e, portanto, podem ser usadas para detectar objetos enterrados mais profundamente.

A tecnologia mais recente que trabalha neste princípio é o radar de penetração no solo (GPR). As Transmissões dos sinais de altas e baixas frequências são feitas ao mesmo tempo a partir da antena transmissora. Esta é uma tecnologia promissora que pode ser usada para a detecção de minas metálicas e plásticas. Uma das maiores desvantagens é a ineficiência em solos úmidos, já que o desempenho pode variar de acordo com o tipo de solo [42].

3.3 Métodos biológicos

Os métodos biológicos são empregados para a detecção de explosivos utilizando animais com olfato altamente sensível como os cachorros e ratos, insetos e até mesmo microorganismos. É um procedimento eficiente para rastrear minas com uma taxa baixa de falso positivo.

3.3.1 Sensores a vapor

Uma ínfima quantidade de material explosivo consegue escapar na forma de vapores do invólucro da mina terrestre. Utilizando técnicas específicas, é possível identificar e diferenciar os vapores de explosivos de outros, já que os vapores que saem de rochas ou detritos são diferentes daqueles dos explosivos [43].

Dos vários sensores de vapor, um sistema que utiliza polímeros fluorescentes é atualmente o que possui a melhor detecção. O sensor consiste em duas lâminas de vidro, cada uma coberta por uma película fina do polímero fluorescente. Quando uma amostra de ar que contém explosivos passa entre as lâminas, alguns dos explosivos se ligam ao polímero

e, no processo, reduz-se temporariamente a quantidade de luz fluorescente que a película emite. Um pequeno fotomultiplicador no dispositivo detecta a redução da emissão de luz e a eletrônica sinaliza ao operador que os explosivos estão presentes.

A maior restrição é que a sensibilidade de detecção fluorescente pode não funcionar bem em ambientes muito secos. Outro problema é que a presença de resíduos explosivos no solo de outras fontes pode acarretar em alarmes falsos.

3.3.2 Cachorros e ratos

Cachorros treinados podem detectar o cheiro de explosivos enterrados em até 60 cm no solo. Eles são rápidos e treinados para trabalhar em diversos cenários e condições ambientais, sendo capazes de farejar uma área de 1200 metros quadrados em apenas duas horas [43]. Quando o canino encontra uma mina enterrada, esse local é marcado com uma bandeira vermelha.

Depois de a área ser completamente farejada pelo cão, um profissional treinado faz o trabalho final de remoção dos explosivos. A limitação é que se forem treinados para detectar altos níveis de explosivos, os cachorros podem não detectar níveis mais baixos e assim causarem muitos acidentes. O desempenho do cão varia muito dependendo do treinamento e da capacidade do próprio animal.

Como alternativa ao uso de cães, pesquisadores da Universidade de Antuérpia começaram a treinar ratos na década de 90 para detectar minas terrestres. Os animais são treinados recebendo alimentos como recompensa após sinalizarem a presença de explosivos no solo. Uma das vantagens de usar ratos é que as minas não os colocam em perigo, pois não são suficientemente pesados para acioná-las. Até o momento, nenhum deles morreu em serviço. Afinal, para que a mina seja acionada, é preciso colocar sobre ela uma carga de 5 kg, sendo que a maioria dos roedores não passa de 1,5 kg.

O trabalho que um humano leva mais de um dia para fazer, os ratos completam em cerca de 20 minutos. Em coleiras, com protetor solar nas orelhas e horários de descanso, os ratinhos riscam a superfície do solo com os pés caso encontre algum explosivo. O procedimento tem salvado milhares de vidas, especialmente no continente africano.

3.3.3 Abelhas

Entomologistas perceberam o incrível olfato das abelhas e estão treinando esses insetos para farejarem minas terrestres. Elas podem rastrear uma área relativamente grande em um curto espaço de tempo, chegando até mesmo a 4,5 quilômetros de distância. São treinadas a encontrar minas associando o cheiro de uma solução de açúcar ao do TNT.

Os especialistas passaram vários anos para aperfeiçoar esta técnica de treino. A colmeia de abelhas é exposta a vários pontos de alimentação, mas só alguns deles contêm alimento. Além disso, o solo imediatamente à volta desses pontos é impregnado com explosivos químicos. A ideia é que as abelhas associem o cheiro dos explosivos ao alimento. O estudo continua em andamento já que treinar uma abelha é relativamente fácil, mas fazer o mesmo com uma colônia inteira pode ser um problema.

4 MÉTODOS RECENTES

Atualmente novas investigações em detecção de mi-

nas estão sendo avaliadas. O radar holográfico, por exemplo, é um método promissor de detecção de minas terrestres. Estudos baseados nesse tipo de radar foram melhor explorados a partir de 2013. É uma metodologia que permite a discriminação entre alvos e objetos enterrados [44]. Em 2016, os radares holográficos foram aprimorados com simulações numéricas [45]. Os resultados experimentais confirmaram a viabilidade e a eficiência do radar holográfico na detecção de alvos enterrados na superfície [45].

Ainda em 2016, foram criados algoritmos capazes de escanear sistematicamente um campo de minas através de robôs [46]. Esse algoritmo permite um planejamento sistemático dos movimentos dos robôs para detectar as minas terrestres. A trajetória permite que o robô escaneie a área minada no menor tempo possível, evitando qualquer mina terrestre ao longo do processo. Permite também que o robô funcione de forma totalmente autônoma com mínima ou nenhuma intervenção humana e, por consequência, reduzindo drasticamente os riscos de ferimentos no local de trabalho e maximizando a eficiência da operação.

5. CONCLUSÕES

O presente artigo descreveu diferentes métodos utilizados para detectar minas terrestres. Foram apresentados métodos básicos e simples, bem como os mais complexos como os eletromagnéticos e biológicos. Observou-se que nenhuma técnica isolada é poderosa o suficiente para proporcionar um desempenho perfeito para detecção de minas. Fatores como clima, umidade do solo, profundidade da instalação das minas influenciam muito cada uma das técnicas estudadas. Todos os métodos sofrem alguma limitação, mas usando conjuntamente as melhores características de cada técnica, esses problemas podem ser compensados.

Apesar dos avanços tecnológicos, as ações de minas terrestres ainda afetam a vida de muitas pessoas e a busca de métodos mais eficientes para a detecção dessas minas torna-se um tema relevante. A existência das minas é uma preocupação na questão da segurança, tanto para veículos quanto para os indivíduos que se aproximam. Ter uma leitura a priori do terreno permitiria reduzir os riscos de acidentes decorrentes de explosões.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] GOOSE, S., 2000. Landmine and Cluster Munition Monitor Factsheets. Antivehicle mines with antihandling devices. Disponível em: <<http://www.the-monitor.org/index.php/content/view/full/18720>>. Acesso em: 28 out. 2017.
- [2] HUMAN RIGHTS WATCH. Landmines: a deadly legacy [The Arms Project of Human Rights Watch and Physicians for Human Rights]. Nova Iorque: Human Rights Watch, 1993.
- [3] MARESCA L e MASLEN, S. The Banning of Anti-Personnel Landmines: The Legal Contribution of the International Committee of the Red Cross 1955–1999. Cambridge University Press, 2000.
- [4] INTERNATIONAL CAMPAIGN TO BAN LANDMINES (ICBL). Landmine Monitor Report 2009: toward a mine-free world (special ten-year review of the Mine Ban Treaty). Landmine & Cluster Munition Monitor, 2009. Disponível em: <<http://www.the-monitor.org/index.php/publications/display?url=lm/2009>>. Acesso em: 28 out. 2017.
- [5] RUTHERFORD, KENNETH R. Internet activism: NGOs and the Mine Ban Treaty. International Journal on Grey Literature, v. 1, n. 3, p. 99-106, 2000a.
- [6] SAKAMOTO, L., 1999, “Guerrilha sem fim”, Revista ISTOÉ, n. 1573, pp. 150 - 154.
- [7] NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL (2014). Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/ONU-10-pessoas-morrem-ou- ficam-mutiladas-por-dia-no-mundo-devido-as-minas-terrestres/>>. Acesso: 21 de março de 2017.
- [8] HONG, S., MILLER, T., TOBIN, H., BORCHERS, B., HENDRICKX, J. M., LENSEN, H.A., SCHWERING, P. B. e BAERTLEIN, B. A., 2001. Impact of soil water content on landmine detection using radar and thermal infrared sensors. Proc. SPIE, 4394:409 – 416.
- [9] DEFESA NET. disponível em: <<http://www.defesenet.com.br/all/noticia/21440/Exercito-Brasileiro-apoiam-esforcos-de-desminagem-na-Colombia/>>. Acesso em: 14 dez. 2017.
- [10] INTERNATIONAL CAMPAIGN TO BAN LANDMINES (ICBL). Landmine Monitor Report 2009: toward a mine-free world (special ten-year review of the Mine Ban Treaty). Landmine & Cluster Munition Monitor, 2009. Disponível em: <<http://www.the-monitor.org/index.php/publications/display?url=lm/2009>>. Acesso em: 28 out. 2017.
- [11] HIZNAY, M., 2006. Mines retained for training: examples of states practice and questions. Disponível em: <https://www.apminebanconvention.org/fileadmin/APMBC/IWP/SC_may06/speeches_gs/HRW_art3_12May06.pdf>. Acesso em: 28 out. 2017.
- [12] ARAÚJO, P., 2007. Vítimas de minas terrestres caíram 16% no mundo todo, diz relatório. Folha Online, São Paulo, 14 nov. 2007. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/folha/mundo/ult94u345540.shtml>>. Acesso em: 28 out. 2017.
- [13] TIBURCIO J. E MORAES R. A Questão do banimento internacional das minas terrestres: Novos atores na segurança Internacional e os Casos das Américas Central e do Sul, 2011. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/cint/v33n2/a09v33n2.pdf>>. Acesso em: 28 out. 2017.
- [14] BBC, 2015. Com ajuda das Farc, Colômbia quer deixar de ser 2º maior ‘campo minado’ do mundo. Disponível em <http://www.bbc.com/portuguese/noticias/2015/03/150321_colombia_minas_nc_cc>. Acesso em: 28 out. 2017.
- [15] EXÉRCITO BRASILEIRO, 2017. Estágio de desminagem para oficiais. Escola de Instrução Especializada, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <<http://www.ccopab.eb.mil.br/pt/cursos-e-estagios/estagio-de-desminagem-humanitaria>>. Acesso em: 28 out. 2017.
- [16] SMITH, A. Understanding the use of Prodders in Mine Detection.” The Journal of ERA, 2014.
- [17] Wasserman.s High Tech Landmine Detection. <http://www.geocieties.com/SiliconValley/Pines/8516/>.
- [18] MACDONALD, J. e LOCKWOOD, J. R. Alternatives for Landmine Detection. RAND, 2003.
- [19] Glans, W.I., Geyer, R.G., and Klemperer, W.K. (1991). Quantifying standard performance of electromagnetic based mine detectors. NISTIR 3982
- [20] JENKINS, T.F., HEWITT, A.D. and RANNEY, T., 2003, Electrochemical methods (Paper II). In Alternatives for Landmine Detection, J. MacDonald, J.R. Lockwood, J. McFee, T. Altshuler, T. Broach, L. Carin, R. Harmon, C. Rappaport, W. Scott and R. Weaber (Eds), pp. 225–238 (Pittsburg, PA: RAND).
- [21] WATSON, K 1975 Geological application of thermal infrared images, Proc. IEEE, vol. 63, pp. 128–137, Jan. 1975.
- [22] DEPERSA, A.T., A, BOWMAN, P, LUCEY, e M. WINTER, 1995. Phenomenology considerations for hyperspectral mine detection, Proceedings of SPIE, 2496:159-167.
- [23] ASHLEY, S., 1996, “Searching for land mines”, Mechanical Engineering, v. 118, n. , p. 62..
- [24] JANSSEN, Y. H. L, JONG, A. N, WINKEL, H. e PUTTEN, F.J.M.V. Detection of surface laid and buried mines with IR and CCD cameras, an evaluation based on measurements. In A. C. Dubey, R. L. Barnard, and C. J. Lowe, editors, Proc. SPIE Vol. 2765, Detection and Remediation Technologies for Mines and Minelike Targets, pages 448–459, Orlando (FL), USA, Apr. 1996.
- [25] GEORGSON, M; PETERSON, L; SJOKVIST, S. AND UPSALL, M. Mine detection using infrared imaging technique, International Conference MINE’99, Firenze, Proceedings 1999.
- [26] MOODY K. A. And LeVasseur J. P , “Current and emerging technologies for use in a hand-held mine detector”, The Royal Military College Canada, 2000. <http://www.rmc.ca/academic/gradrech/minedetector.pdf>.
- [27] SIMUNEK, J., J.M.H, HENDRICKX, e B. BORCHERE, 2001. Modeling transient temperature distributions around landmines in homogeneous bare soils. Proc. of SPIE, This Volume, Detection and Remediation Technologies for Mines and Minelike Targets IV.
- [28] MESSELINK, W. A. C. M , SCHUTTE, K., VOSSEPOEL M. A,

- CREMER F. e SCHAVEMAKER J. G. M (2002). Feature-based detection of land mines in infrared images. Proc. SPIE 4742, Detection and Remediation Technologies for Mines and Minelike Targets VII, 108.
- [29] LOPEZ P., H. SAHLI, D. L. VILARINO, e D. CABELLO, (2003) Detection of Perturbations in Thermal IR Signatures: An Inverse Problem for Buried Landmine Detection. Brussels, Belgium. Available at http://www.clearfast.vub.ac.be/publications_files/Lopez_spie_2003.pdf
- [30] MENDE, H., DEJ, B., KHANNA, S., APPS, R., BOYLE, M. e ADDISON, F. Microwave enhanced IR detection of landmines using 915 MHz and 2450 MHz. Defence Research Reports, no. DRDC-OTTAWA-TM-2004-266. Ottawa (Canada): Defence R&D, 2004.
- [31] SENDUR, I e BAERTLEIN, B . Techniques for improving buried mine detection in thermal IR imagery, Proc. SPIE 3710, Detection and Remediation Technologies for Mines and Minelike Targets IV, 1272 (August 2, 1999); doi:10.1117/12.357009;
- [32] SZYMANIK, B. (2014). Inverse Problem Solution in Landmines Detection Based on Active Thermography. Radioengineering.
- [33] ANDRAOS, L, V. Detecção e Monitoramento de Minas Terrestres via Análise Multivariada de Imagens. Dissertação (Dissertação em Engenharia de Defesa) Instituto Militar de Engenharia (IME). Rio de Janeiro, 2018.
- [34] BRUNZELL, H. Signal processing techniques for detection of buried landmines using ground penetrating radar, PhD thesis, Department of Signals and Systems, Chalmers University of Technology, 1998.
- [35] DON C. G. , "Using acoustic impulses to identify a buried non-metallic object", in 127th Meeting of The Acoustical Society of America, (M.I.T.).
- [36] HUSSEIN, E., 1994, " Inspection of Luggage using Gamma Radiation", Proc. Cargo. Inspection Technologies, Lawrence, A.H., Ed., The International Society for Optical. Engineering, San Diego, California, v. 2276, pp. 321-325. IAEA, 1998, Detection of Explosives (in particular landmines) by Low Cost Methods,
- [37] CHRISTOPHER, C., 1981, Engineering Geology, Merrill Publ., Columbus, Ohio.
- [38] HUSSEIN, E., 1992, "Detection of explosive materials using nuclear radiation: a critical review", Proc. Conf. on The Aviation Security Problem and Related Technologies, W.H. Makky, Ed., SPIE, v. CR42, p. 126.
- [39] TANG, S. e HUSSEIN, E., 2004, "Use of isotopic gamma sources for identifying anti- personnel land mines", Applied Radiation and Isotopes, v. 61, pp. 3-10.
- [40] ELECTRICAL IMPEDANCE TOMOGRAPHY. Philip Church, Neptec Design Group. <http://www.rand.org/publications/MR/MR1608/MR1608.appi.pdf>
- [41] CHURCH, P., 2003, Electrical impedance tomography. In Alternatives for Landmine Detection, J. MacDonald, J.R. Lockwood, J. McFee, T. Altshuler, T. Broach, L. Carin, R. Harmon, C. Rappaport, W. Scott and R. Weaber (Eds), pp. 161–168 (Pittsburg, PA: RAND).
- [42] ABUJARAD, F. "Ground penetrating radar signal processing for landmine detection", 2007, PhD thesis.
- [43] BURLAGE, R.S., 2003, Biological systems (Paper I). In Alternatives for Landmine Detection, J. MacDonald, J.R. Lockwood, J. McFee, T. Altshuler, T. Broach, L. Carin, R. Harmon, C. Rappaport, W. Scott and R. Weaber (Eds), pp. 265–272 (Pittsburg, PA: RAND).
- [44] ZEA, Q., e CARDENAS M. (2013). RASCAN Type Radar Image Resolution Enhancement for Non-metallic Landmine Detection, XVIII Symposium of Image Signal Processing and Artificial Vision, pp. 1-4.
- [45] SONG, X., SU, J., HUANG, M., LU, S. e ZHU, P. (2016). Landmine detection with holographic radar, Ground Penetrating Radar (GPR) 16th International Conference on, pp. 1-4, 2016.
- [46] HAMEED, I, A. (2016). Motion planning for autonomous landmine detection and clearance robots. Engineering and Natural Sciences, Norwegian University of Science and Technology NTNU in Alesund, Postboks 1517, NO-6025 Alesund, Norway.