



**GENERAL DE BRIGADA
MARCIS**

Diretor do Serviço Geográfico do
Exército Brasileiro.

A APLICAÇÃO DA GEODÉSIA NO SISTEMA DE ARTILHARIA DE CAMPANHA

A evolução tecnológica ocorrida no mundo, principalmente a partir da década de 1940, com a invenção dos primeiros computadores, provocou uma profunda alteração na forma como o ser humano produz, manipula, armazena, analisa e dissemina informações de maneira geral. Nesse contexto, inserem-se as informações (qualitativas, quantitativas e representativas) dos elementos existentes nos espaços terrestres.

Até então, a produção de informações espaciais utilizava processos analógicos, nos quais a interação homem-equipamento era um elemento-chave para a consecução das diversas tarefas relacionadas à coleta de dados do terreno, à realização dos cálculos, bem como à elaboração e à distribuição dos produtos aos usuários.

Com o passar dos anos, com inserção da eletrônica nos equipamentos, houve um incremento considerável na velocidade de execução desses processos analógicos, com aumento significativo da produtividade e a melhoria da relação custo-benefício. De forma similar a uma curva exponencial, cuja velocidade inicial é baixa e sofre forte aceleração com o passar do tempo, a evolução tecnológica transformou radicalmente essa área da geoinformação, criando condições para que uma quantidade maior de dados fosse coletada e processada em um tempo significativamente menor.

Esse desenvolvimento tecnológico foi suportado por novas descobertas científicas, pela automação de processos e pela vasta

aplicabilidade na sociedade em geral, abrangendo desde rotinas simples das pessoas até políticas de Estado de alto nível.

A característica multidisciplinar exige suporte de uma vasta área do conhecimento, dependente de inúmeras e de variadas ciências e tecnologias relacionadas à área denominada Ciências da Terra, como a Geodésia, a Cartografia, a Astronomia, a Física, a Estatística e a Geografia. Elas geram conhecimentos científicos que são aplicados em tecnologias, como a fotogrametria, o sensoriamento remoto, o processamento de imagens digitais, a navegação e o posicionamento terrestre por sistemas *satelitais*, os levantamentos por *light amplification by stimulated emission (LASER, na sigla em inglês)* e *radio detection and ranging (RADAR, na sigla em inglês)*, a topografia, os programas de processamento de dados *etc.*

Nesse contexto, as operações militares se enquadram como potenciais beneficiárias da evolução tecnológica, sendo o Sistema de Artilharia de Campanha (SAC) um dos sistemas que mais se destaca como passível de crescimento em suas capacidades operacionais para atender uma doutrina focada no cumprimento de suas missões. Por ser um sistema projetado para ser implementado e executado no terreno, o SAC necessita massivamente de informações geográficas que, ao serem tratadas com o uso de sistemas específicos, podem beneficiá-lo, trazendo agilidade, eficácia e efetividade.

Este artigo aborda a oportunidade de evolução do SAC, a partir das potencialidades de aplicação da geoinformação, com base em conhecimentos consagrados nas ciências e nas tecnologias existentes e já internalizadas no âmbito do Exército Brasileiro.

O SISTEMA DE ARTILHARIA DE CAMPANHA - SAC

O manual de fundamentos EB20-MF-10.101 – O Exército Brasileiro (Brasil, 2014b, p. 5-3) descreve que a Artilharia “é a arma de apoio ao combate cuja missão é apoiar a manobra pelo fogo, destruir alvos estratégicos com precisão e letalidade, prover

a defesa antiaérea de estruturas estratégicas e meios da Força Terrestre”.

O manual C6-1 – Emprego da Artilharia de Campanha descreve a missão geral da Artilharia de Campanha como sendo “apoiar a força pelo fogo” (Brasil, 1997, p. 1-1), executando fogos sobre escalões avançados do inimigo e fogos de contrabateria, dando profundidade ao combate ao bater alvos na zona de ação da força. Para executar suas missões, o SAC é composto por oito subsistemas, cada qual com uma tarefa bem definida.

➤ Linha de fogo – composto pelos sistemas de armas (canhões, obuseiros, lançadoras *etc.*) e suas munições (granadas, foguetes e mísseis);

➤ Observação – para condução do tiro sobre os alvos engajados;

➤ Busca de alvos – para localização dos alvos a serem engajados;

➤ Topografia – que estabelece uma trama comum a todos os demais subsistemas;

➤ Meteorologia – encarregado de fornecer os dados sobre as condições atmosféricas;

➤ Comunicações – encarregado pela interligação dos demais subsistemas;

➤ Logística – encarregado pela atividade logística em todo o SAC; e

➤ Direção de tiro e coordenação de fogos – formado pelos órgãos encarregados pela direção do tiro e coordenação do apoio de fogo.

Os assuntos relacionados com o terreno têm correlação, em maior ou menor grau, com todos os subsistemas que formam o SAC, pois eles se desenvolvem no espaço geográfico de seu interesse. A compreensão de que o subsistema de topografia é o principal produtor de informações territoriais permite identificar que seus erros se propagam para todos os demais subsistemas, sendo, portanto, o responsável pelos erros de grandes dimensões na exatidão final do próprio SAC.

FATORES QUE AFETAM O DESEMPENHO DO SAC

Os conflitos apresentam características que têm relação direta com o conhecimento disponível, e suas aplicações, em cada um

dos momentos de desenvolvimento da sociedade em geral. Nesse sentido, estudiosos os analisam e procuram estabelecer traços comuns, de forma a permitir sua classificação pelo agrupamento de dados, de fatores e de propriedades, facilitando sua compreensão e seu entendimento ao longo de sua evolução.

Monteiro (2017) descreve a evolução dos conflitos ao longo dos tempos, apresentando um breve resumo com as características e as peculiaridades das guerras de 1ª, 2ª, 3ª e 4ª gerações. Santos *et al.* (2019) cita que a operacionalização dos drones, da biotecnologia e da nanotecnologia alargam as perspectivas da 4ª geração e criam condições para a 5ª geração. Ressalte-se que o principal fator influenciador de todas as cinco gerações de conflitos é a tecnologia aplicada, dos mosquetes de alma lisa do século XVII, passando pelos blindados da 2ª Guerra Mundial até as ações cibernéticas do século XXI.

Com base nessas observações, pode-se estabelecer os seguintes fatores, que devem ser considerados nos diversos processos e tarefas que compõem os subsistemas, e que fornecem as capacidades necessárias para o cumprimento das missões da Artilharia, a saber:

➤ exatidão – é o objetivo maior de qualquer sistema de armas, pois reflete fisicamente que os diversos processos que compõem o SAC viabilizarão que as granadas, os obuses, os foguetes e os mísseis atingirão os alvos dentro dos padrões de desempenho estabelecidos;

➤ estabelecimento de padrões – o uso de padrões é reconhecido como o elemento-chave para o eficaz atingimento de desempenho em qualquer sistema. Sua utilização agiliza todos os processos envolvidos com a missão precípua do SAC, pois delimita, define e estabelece todos os componentes empregados no sistema, mitigando os desperdícios provocados por elementos não padronizados;

➤ digitalização – digitalizar os processos é a base da automação e significa que os dados e informações utilizados pelo SAC deverão estar no formato digital, transitando nos diversos sistemas, equipamentos e programas

de forma contínua e célere;

➤ estabelecimento de um referencial terrestre único – a área de atuação do SAC engloba todo o território nacional, podendo, extraordinariamente, estender-se para fora dele. Por isso, o sistema de referência, que suporta a capacidade de obtenção de coordenadas, de direções e de outras informações geográficas de interesse, deve ser capaz de suplantar as limitações de referenciais locais e as decorrentes das projeções cartográficas utilizadas;

➤ automação – a disponibilidade para operação de diversos subsistemas complexos e complementares, dentro de parâmetros de desempenhos rigorosos e bem delimitados, faz com que a automação seja um recurso importante para agilizar o funcionamento do sistema como um todo, garantindo a fidelidade e a correção necessárias para que o SAC cumpra suas missões com a celeridade desejada;

➤ complementaridade e especificidade tecnológicas – uma das características mais importantes do uso das tecnologias se refere à grande variedade e à disponibilidade de diferentes formas de se obter resultados semelhantes. Com isso, tem-se duas importantes características, a complementaridade (uma tecnologia complementa a outra) e a especificidade (cada tecnologia possui condições específicas para sua aplicação), que atuam de forma conjunta na consecução dos objetivos;

➤ recursos humanos – para utilizar sistemas complexos dentro de condições específicas, deve-se preparar, treinar e condicionar seus recursos humanos para operar o sistema, provendo-os com os conhecimentos e adestramentos necessários para extrair sua máxima potencialidade;

➤ letalidade seletiva – as características dos conflitos modernos, com atores estatais e não estatais, restringem severamente a aplicação do SAC no sentido de evitar danos aos não envolvidos nos combates;

➤ eficácia imediata – a tecnologia disponível possibilita que o oponente, ao ser alvo do SAC, reaja em curto espaço de tempo. Por isso, os efeitos desejados no alvo devem

ser obtidos com a maior efetividade e o menor engajamento possíveis, no menor espaço de tempo disponível, de forma a minimizar a reação do inimigo;

➤ uso de ferramentas de apoio à decisão – os sistemas de apoio à decisão devem estar acessíveis para que o decisor, ao empregar os recursos disponíveis do SAC, tome, com base principalmente em dados estatísticos e probabilísticos, a decisão mais eficaz possível;

➤ flexibilidade – a correlação existente entre os meios disponíveis, a especificidade dos alvos e o efeito desejado formam uma tríade que deve ser analisada em conjunto, obrigando que o SAC seja flexível o suficiente para atender as necessidades impostas pela missão;

➤ confiabilidade – o grau de incerteza de um dado e de uma informação espacial tem influência direta no efeito desejado no alvo, na coordenação do apoio de fogo e na tomada de decisão sobre qual sistema de armas empregar. Por exemplo, a determinação da precisão dos levantamentos e do georreferenciamento das imagens é tarefa que permite avaliar a confiabilidade das coordenadas e dos azimutes utilizados no SAC; e

➤ avaliação da qualidade – o desempenho do SAC deve ser avaliado regularmente, a fim de fornecer informações sobre seu funcionamento e sua capacidade de atingir os padrões de desempenho previstos.

Deve-se ressaltar que todos esses fatores são interligados e aplicados em conjunto, de forma a garantir o desempenho desejado ao SAC.

POR QUE A TOPOGRAFIA NÃO FORNECE MAIS O SUPORTE NECESSÁRIO PARA O SAC?

O vocábulo topografia tem sua origem na união dos radicais gregos *topos* (lugar) e *graphen* (descrição), significando, à vista disso, descrição de um lugar. Para Espartel (1978), a finalidade da topografia é “determinar o contorno, dimensão e posição relativa de uma porção limitada da superfície terrestre, sem levar em conta a curvatura resultante da esfericidade terrestre”. Para Domingues (1979), a topografia:

é o conjunto dos princípios, métodos, aparelhos e convenções utilizadas para a determinação do contorno, das dimensões e da posição relativa de uma porção limitada da superfície da terra, dos fundos dos mares ou do interior das minas.

Para Veiga, Zanetti e Faggion (2012), a topografia “pode ser entendida como parte da Geodésia”.

A topografia pode ser dividida em topologia, que estuda as formas do terreno e as leis que regem o seu modelado, e topometria, que estuda as medições de ângulos, distâncias e desníveis de forma a possibilitar a representação do terreno. Por sua vez, a topometria se divide em planimetria e altimetria.

A análise dessas definições permite verificar que o uso da topografia é restrito a uma porção limitada da superfície terrestre, pois sua fundamentação matemática é baseada no plano, sem considerar a esfericidade terrestre. Mas qual o limite para definir até onde se pode utilizar as formulações topográficas?

Domingues (1979, p. 149) apresenta a dedução matemática do efeito da esfericidade terrestre no cálculo de distâncias e altitudes, comparando o plano topográfico com o modelo matemático que representa a Terra como se fosse uma esfera - Terra Esférica.

Planimetria:

$$\Delta S = \frac{S_0^2}{3R^2} \quad (1)$$

Altimetria:

$$\Delta h = \frac{S_0^2}{2R} \quad (2)$$

onde:

ΔS – efeito da curvatura da Terra na planimetria;
 Δh – efeito da curvatura da Terra na altimetria;
 S_0 – distância reduzida à superfície *geoidal*; e
 R – raio médio aproximado da Terra (6.370 km).

O gráfico da Figura 1 apresenta as diferenças entre os valores das distâncias medidas na Terra Esférica e seus efeitos na planimetria e na altimetria.

A análise do gráfico permite identificar que os erros provenientes da altimetria são superiores aos da planimetria, ou seja, o limite de emprego da topografia deve-se, basicamente, às mensurações altimétricas.

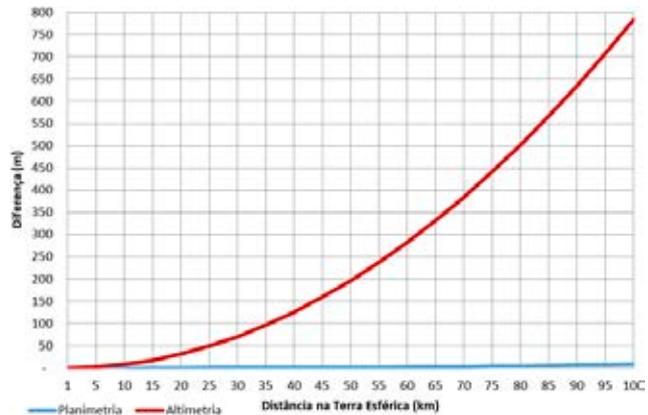


Fig 1 – Efeito da esfericidade terrestre na Topografia.

Tradicionalmente, admite-se que o limite de emprego da topografia situa-se em distâncias que variam entre 15 e 25 km, dependendo da finalidade do projeto. Para esses valores, os erros planimétricos são pequenos, entre 3 e 13 cm, mas os altimétricos entre 17 e 49 metros já são significativos.

Por ser uma técnica que não considera a curvatura terrestre, a topografia encontra importantes limitações de emprego quando os espaços geográficos de interesse aumentam de tamanho, pois os erros inseridos no sistema serão sempre resultantes da combinação da altimetria com a planimetria, com a imperiosa necessidade de se considerar a curvatura terrestre em seus modelos.

O aumento considerável do alcance nos sistemas de armas utilizados pela Artilharia, com obuses atingindo distâncias entre 40 e 60 km, foguetes a 80 km e mísseis a 300 km, faz com que os erros altimétricos, oriundos do levantamento topográfico, inviabilizem o emprego de qualquer um desses sistemas.

Deve-se considerar, também, que o uso de outras técnicas de obtenção de direções e de distâncias, com o uso de formulações derivadas da Geodésia, da Cartografia, da Astronomia e da Fotogrametria, dentre outras, não agrega ou aumenta possibilidades de emprego da topografia. Ressalte-se, ainda, que a ciência da mensuração terrestre é a Geodésia e que a topografia, ao considerar a superfície terrestre como plana, é considerada como uma simplificação desta.

O QUE É GEOINFORMAÇÃO?

A palavra geoinformação originou-se da contração do termo informação geográfica, que se refere de uma forma abrangente, a todo e qualquer dado e informação que se relacione ao planeta Terra. Segundo a Associação Cartográfica Internacional (2017), a informação geográfica “representa os mundos natural e antrópico, tangível e intangível”.

Uma importante observação refere-se à necessidade de se posicionar esse dado ou essa informação em um espaço geográfico, o que impõe a associação com um referencial que permita sua localização.

Segundo o manual EB20-MC-10.209 Geoinformação (2014a, p.2-1), a geoinformação “representa toda e qualquer informação ou dado que pode ser espacializado, ou seja, que tem algum tipo de atributo ou vínculo geográfico que permite sua localização”.

Para Câmara *et al* (2004, p.2-1), “trabalhar com geoinformação significa, antes de tudo, utilizar computadores como instrumentos de representação de dados espacialmente referenciados”. Para Mendonça Júnior (2017), a geoinformação envolve o uso intensivo de tecnologias relacionadas com a coleta, manipulação, tratamento e disponibilização de abundantes dados terrestres, em um ambiente computacional, com referencial terrestre estabelecido e segundo regras definidas em legislação e normas específicas.

Com isso, entende-se que a geoinformação alcança um vasto domínio e variadas possibilidades de dados de entrada e de informações produzidas, abrangendo insumos básicos (coordenadas de pontos, direções em geral, azimutes *etc.*); imagens originais e retificadas (provenientes de sensores terrestres, aéreos e orbitais); levantamentos no terreno (geodésicos, topográficos, astronômicos, *LiDAR* e *RADAR*); produtos do conjunto de dados geoespaciais (dados geoespaciais vetoriais, ortoimagens, modelos digitais de elevação, cartas topográficas e cartas ortoimagens); e sistemas de informações geográficas (ou de geoinformação).

É importante ressaltar que, até alguns anos atrás, não existia um termo genérico que relacionasse as informações dos fenômenos presentes nos espaços geográficos com suas aplicações e, principalmente, com seus fundamentos. Existiam, e ainda existem, termos mais específicos como geomática, geoinformática, geointeligência, geolocalização, georreferenciamento, geoposicionamento e geolocalização, cada um representando um campo ou um setor delimitado de atuação.

Com isso, entende-se que a geoinformação alcança um vasto domínio e variadas possibilidades de:

- dados de entrada e de informações produzidas, abrangendo insumos básicos – coordenadas de pontos, direções em geral, azimutes *etc.*;
- imagens originais e retificadas – provenientes de sensores terrestres, aéreos e orbitais;
- levantamentos no terreno – geodésicos, topográficos, astronômicos, *light detection and ranging (LiDAR, na sigla em inglês)* e *RADAR*;
- produtos do conjunto de dados geoespaciais – dados geoespaciais vetoriais, ortoimagens, modelos digitais de elevação, cartas topográficas e cartas ortoimagens; e
- sistemas de informações geográficas ou de geoinformação.

Se, para os elementos, naturais ou artificiais existentes no espaço geográfico, forem levantados também seus atributos, ou melhor, os dados e as informações que os descrevem de forma qualitativa, abrir-se-á uma quantidade imensa de aplicações decorrentes da execução de análises espaciais baseadas nas interações de suas diversas propriedades geométricas e atributivas.

POSSIBILIDADES DE EMPREGO DA GEOINFORMAÇÃO NO SAC

Como mencionado, a área de concentração da geoinformação é constituída por diversas ciências e tecnologias relacionadas à obtenção, à produção e à gestão de informações espacialmente distribuídas e que podem ser úteis aos diversos processos e tarefas que

compõem o SAC. De uma forma geral, são apresentados na Figura 2 os conhecimentos, os produtos, as tecnologias, os processos e as tarefas da geoinformação que podem ser úteis ao SAC.

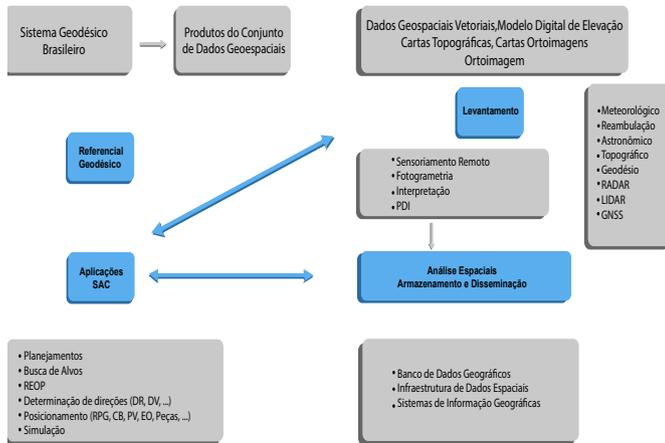


Fig 2 - Possibilidades de emprego da geoinformação no SAC.

ADOÇÃO DO REFERENCIAL GEODÉSICO

Embora não seja usual a utilização do termo referencial nos processos do SAC, esse é um condicionante fundamental para seu bom funcionamento, pois impõe a utilização de origens e de parâmetros comuns a todas as observações, orientações e as mensurações realizadas, sustentando uma das condições básicas para que o apoio de fogo seja eficaz.

Não se trata de um conceito novo para a Artilharia, que já o utiliza com uma forma simplificada denominada trama topográfica, cuja definição associa o estabelecimento de

um sistema de coordenadas retangulares bidimensional (E, N) a um plano de nível de referência (h). Trata-se de um assunto relevante, pois qualquer apoio de fogo que seja implementado para o conjunto: linha de fogo – observação – alvo exige que os parâmetros envolvidos sejam os mesmos, a fim de evitar que um mesmo alvo tenha referências diferentes.

Mas como manter o propósito da trama topográfica com a expansão dos espaços geográficos? A resposta está na utilização de um Sistema Geodésico de Referência (SGR), que vem a ser um sistema que permite a localização espacial de qualquer feição sobre a superfície terrestre e é definido pela adoção de um elipsoide de revolução corretamente posicionado e orientado em relação à Terra (DALAZOANA, 2001).

No caso do Brasil, o SGR oficial é estabelecido pela Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e é denominado Sistema Geodésico Brasileiro (SGB). No caso brasileiro, já foram caracterizados três SGB, sendo os dois primeiros com o enfoque clássico (Córrego Alegre e SAD69) e o último e vigente, com enfoque no posicionamento por satélites, é o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS), em sua realização no ano de 2000 (SIRGAS2000). O Quadro 1 apresenta suas características e a Figura 3 a geometria do elipsoide.

CARACTERÍSTICAS DO SIRGAS2000		
Característica	Descrição	Observação
Sistema Geodésico de Referência	Sistema de Referência Terrestre Internacional (ITRS)	-
Elipsoide de Referência	<i>Geodetic Reference System 1980 (GRS80)</i>	-
	$a = 6.378.137 \text{ m}$	a – semieixo equatorial b – semieixo polar
	$f = 1/298,257222101$	Achatamento $f = (a - b)/a$
Origem	Centro de massa da Terra	-
Orientação	Polos e meridiano de referência consistentes em $\pm 0,005''$ com as direções definidas pelo BIH (Bureau International de l'Heure), em 1984,0.	Eixo X (eixo primário) Eixo Z (eixo terciário) Eixo Y (eixo secundário)
Estações de Referência	21 estações da rede continental SIRGAS2000	Estações nas quais foram realizadas as observações
Época de Referência das coordenadas	2000,4	Época na qual foram realizadas as observações

Quadro 1 - Fonte: Adaptado da Fundação IBGE (2005).

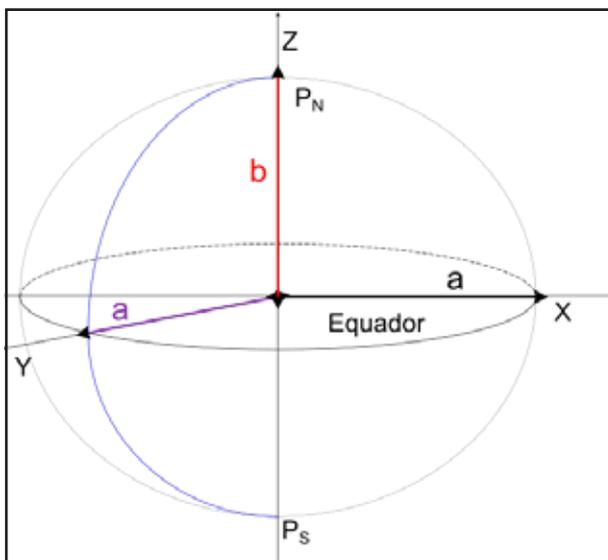


Fig 3 – Geometria do Elipsoide.

Pode-se entender, em termos práticos, que o SGB é um sistema que disponibiliza parâmetros padrão para a realização de observações e de mensurações com origem e superfície matemática bem definidas, estabelecidas por intermédio de rigoroso processo matemático, com aplicação em todo o globo terrestre.

A adoção do SGB como referencial terrestre cria as condições básicas para que o conceito de trama comum vigente na trama topográfica possa ser implementado, ampliado e aplicado em um ambiente no qual o SAC tenha a necessidade de ser mais eficaz a distâncias maiores, independentemente de sua localização na Terra e da projeção cartográfica utilizada. Além disso, por ser um referencial preparado para o posicionamento por satélite, permite que o SAC utilize qualquer dos Sistemas Globais de Navegação por Satélite (GNSS) existentes ou em desenvolvimento, minimizando a dependência do Sistema de Posicionamento Global (GPS, na sigla em inglês) e fornecendo liberdade de escolha na seleção de equipamentos e procedimentos decorrentes.

LEVANTAMENTOS

Com a definição de um referencial único, pode-se tratar da obtenção dos dados e das informações necessários para que o SAC execute suas missões. De forma genérica, o processo que visa a coletar as informações em um espaço geográfico é denominado levantamento. Segundo Oliveira (1993, p. 303),

levantamento é a “operação que tem por fim a execução de medições para a determinação de posições relativas de pontos acima ou abaixo na superfície da Terra”. Dessa definição infere-se que as medições não devem, necessariamente, ser realizadas no terreno, podendo dispor-se de produtos existentes ou de imagens em geral.

No entanto, devido ao tempo decorrido desde o seu estabelecimento, que é anterior ao crescimento exponencial das tecnologias nas geociências, entende-se ser necessário, além das medições de pontos, inserir a coleta de dados qualitativos de feições existentes no terreno, de forma a adequar a definição aos produtos hoje existentes. Com isso, pode-se estabelecer uma definição atualizada para levantamento como sendo as operações necessárias para a coleta de dados para a produção de informações quantitativas (coordenadas, direções *etc.*) e qualitativas (atributos) de elementos existentes em um determinado espaço geográfico.

A seleção do tipo de levantamento a ser utilizado é função da disponibilidade da informação desejada, do padrão de desempenho previsto (exatidão), de seu objetivo (quantitativo e/ou qualitativo), dos custos envolvidos, da possibilidade de acesso ao terreno e do tempo disponível.

Como forma de agregar as origens das informações levantadas, conforme a Figura 2, os levantamentos foram divididos em três grupos: levantamentos no terreno, por imagens e pelos produtos do conjunto de dados geoespaciais. Não se trata de uma divisão estanque, mas sim de uma forma de dividir as origens dos dados para sua compreensão, tendo o cuidado de se entender que há sobreposições nessas origens.

LEVANTAMENTOS NO TERRENO

Os levantamentos no terreno são aqueles nos quais existe a necessidade de se coletar os dados diretamente no terreno, ou pelo uso de sensores terrestres, aéreos ou orbitais, percorrendo-o na área de interesse.

Dependendo do objetivo a que se destina, o levantamento pode realizar mensurações diretas no terreno, por meio dos levantamentos topográfico, geodésico, astronômico e meteorológico; por meio da coleta de informações qualitativas como a

reambulação, ou pelo uso de sensores remotos aéreos e/ou orbitais para mensurações diretas sobre o terreno, como o *RADAR* e o *LiDAR*.

O caso mais simples é o levantamento topográfico que utiliza a topografia para definir sua modelagem matemática. Como já citado, os limites de sua aplicação são definidos pela possibilidade de acúmulo de erros decorrentes do uso do plano como modelo matemático. Não obstante, se a atuação do SAC ocorrer dentro desses limites, não há impedimento de sua aplicação.

Usualmente, o levantamento topográfico segue a normatização da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), designada NBR 13.133 Execução de Levantamento Topográfico. Na NBR são definidos os instrumentos para os levantamentos topográficos: teodolitos, níveis e medidores eletrônicos de distâncias (MED), suas respectivas precisões e as condições gerais de sua execução. Ressalte-se que a origem em qualquer levantamento topográfico deve ser, sempre que possível, o SGB.

A execução do levantamento geodésico clássico utilizava os mesmos equipamentos do levantamento topográfico com maior precisão, teodolitos, níveis e MED, com um número maior de repetições nas observações. Uma característica desse tipo de levantamento e seus métodos (triangulação, poligonação, trilateração e nivelamentos geométrico e trigonométrico) é que ele não permitia a obtenção das três coordenadas de forma simultânea (IBGE, 2017).

Nos dias atuais, esse tipo de levantamento perdeu espaço devido aos resultados obtidos nos levantamentos por satélite, os quais são mais rápidos e exatos. O IBGE emitiu, em 1983, as Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos em território brasileiro, que tratam desse tipo de levantamento (revogadas em 2017). Como exemplos, destaca-se que as observações angulares horizontais deveriam ser executadas 32 vezes cada (16 na posição direta – PD e 16 na posição inversa – PI do teodolito) e as verticais oito vezes (quatro na PD e quatro na PI), e que o erro relativo esperado nos levantamentos geodésicos de alta precisão era de 1/100.000, no de Precisão era de 1/50.000 e no Topográfico era de 1/5.000 (IBGE, 1983, p. 13).

Os levantamentos geodésicos GNSS são levantamentos de alta precisão baseados na Geodésia por satélites. Os sistemas mais conhecidos são o *GPS* dos Estados Unidos da América (EUA), o Sistema de Navegação Global por Satélite (*GLONASS*), da Rússia, o *Galileo*, da União Europeia e o *BeiDou*, da China. Além desses, existem sistemas com alcance limitado a porções do globo terrestre como o Sistema de *Satelital* de Navegação Regional Indiano (*IRNSS*), da Índia e o Sistema *Satelital Quasi-Zenith* (*QZSS*), do Japão. O Quadro 2 apresenta as principais características de cada um dos sistemas de alcance global.

SISTEMAS GLOBAIS DE NAVEGAÇÃO POR SATÉLITE					
Sistema	Operacionalidade	Satélites Operacionais 12/07/21 (un.)	Sistema Geodésico de Referência	Elipsoide (parâmetros)	País
GPS*1	1995	26	WGS 84	a = 6.378.137,0 m f = 1/298,257223563	EUA
Glonass*2	2011	23	PZ-90	a = 6.378.136,0 m f = 1/298,25784	Rússia
Galileo*3	2020	22	GTRF	a = 6.378.137,0 m f = 1/298,257222101	União Europeia
BeiDou*4	2011	44	BDC (CGCS2000)	a = 6.378.137,0 m f = 1/298,257222101	China

Fontes: *1 – <https://www.navcen.uscg.gov/?Do=constellationStatus>;
*2 – <https://www.glonass-iac.ru/en/GLONASS/>;
*3 – <https://www.gsc-europa.eu/system-service-status/constellation-information>; e
*4 – <http://www.csno-tarc.cn/en/system/constellation>

Quadro 2 – Principais características dos sistemas de alcance global GNSS.

Esses sistemas podem fornecer dois tipos de posicionamento, o por ponto (ou absoluto) e o relativo. O posicionamento absoluto é a técnica de levantamento mais simples e que utiliza as informações fornecidas pelo próprio sistema (código da portadora) para o cálculo da posição em tempo real. Uma variação mais acurada

dessa técnica é o posicionamento por ponto preciso (PPP) que utiliza as observações de código e de fase das portadoras, associadas a produtos de órbita precisa e a modelos atmosféricos, fornecendo soluções com precisão centimétrica (IBGE, 2017). A Tabela 1 apresenta as estimativas de precisão para o PPP.

ESTIMATIVA DA PRECISÃO PARA POSICIONAMENTO POR PONTO PRECISO – PPP						
Tempo de observação	Precisão L1			Precisão L3 (L1&L2)		
	Latitude	Longitude	Altitude	Latitude	Longitude	Altitude
1 h	10 cm	20 cm	20 cm	2 cm	4 cm	4 cm
2 h	5 cm	12 cm	12 cm	1 cm	2 cm	2 cm
4 h	3 cm	7 cm	8 cm	5 mm	1 cm	1 cm
6 h	3 cm	6 cm	7 cm	5 mm	1 cm	1 cm

Tabela 1 - Fonte: Fundação IBGE (2017, p. 21).

O posicionamento relativo é baseado na determinação das correções das coordenadas em um ponto de coordenadas conhecidas (estação-base) e sua distribuição para pontos de coordenadas a determinar. O cálculo das

coordenadas desses pontos, com a respectiva correção, pode ser realizado em tempo real, ou posteriormente. A Tabela 2 apresenta a Estimativa da Precisão para Posicionamento Relativo GNSS.

ESTIMATIVA DA PRECISÃO PARA POSICIONAMENTO RELATIVO GNSS			
Linha de base	Tempo de observação	Equipamento utilizado	Precisão
00 – 05 km	05 – 10 min	L1 ou L1/L2	05 – 10 mm + 01 ppm
05 – 10 km	10 – 15 min	L1 ou L1/L2	05 – 10 mm + 01 ppm
10 – 20 km	10 – 30 min	L1 ou L1/L2	05 – 10 mm + 01 ppm
20 – 50 km	02 – 03 h	L1/L2	05 mm + 01 ppm
50 – 100 km	Mín: 03 h	L1/L2	05 mm + 01 ppm
> 100 km	Mín: 04 h	L1/L2	05 mm + 01 ppm

Tabela 2 - Fonte: Fundação IBGE (2017, p. 22).

Deve-se ressaltar que todos os serviços de posicionamento estão sujeitos a interferências eletrônicas (negação ou interferência do sinal) em suas ondas eletromagnéticas, o que pode impedir ou impor restrições ao seu uso em épocas específicas. Por essa razão, o Exército dos EUA não autoriza o uso do serviço que provê o posicionamento absoluto padrão *Standar Position Service* (SPS, na sigla em inglês) em operações de combate, devendo ser utilizado, obrigatoriamente, o posicionamento preciso criptografado *Precise Positioning Service* - (PPS, na sigla em inglês) (2016, p. 9-2 e 9-3).

O levantamento astronômico, ou melhor, o uso de corpos celestes para o posicionamento terrestre e a determinação de direções, é uma técnica de levantamento fundamentada na Astronomia. Sua aplicação no posicionamento e na navegação remonta aos primórdios da civilização humana, foi muito utilizada até os anos 1960/1970, quando o primeiro sistema de posicionamento global (*TRANSIT*) se tornou ativo. Nos dias de hoje, seu emprego voltou a ser considerado como técnica alternativa e complementar, devido à possibilidade de interferência eletrônica nos sinais do GNSS. A Tabela 3 apresenta as precisões previstas em manuais do Exército Brasileiro (1977 e 1986) e dos EUA (1965 e 2016).

PRECISÃO PARA POSICIONAMENTO ASTRONÔMICO				
Classificação	Exército Brasileiro		Exército dos EUA	
	Manual Técnico Astronomia Expedita (1977)	Topografia do Artilheiro (1986)	Artillery Survey (1965)	Artillery Survey (2016)
Alta Precisão ou 1ª Ordem	0,1"	---	---	---
Precisão ou 2ª Ordem	1,5"	---	---	---
4ª Ordem ou 1/3.000	---	30"	0,15'''	0,15'''
5ª Ordem ou 1/1.000	---	1'	0,30'''	0,30'''

Tabela 3 - Precisões previstas em manuais.

A reambulação, um processo tradicional na construção de cartas topográficas, é definida como:

a coleta de topônimos, dados e informações, relativos aos acidentes naturais e artificiais (orográficos, hidrográficos, fitogeológicos, demográficos, obras de engenharia em geral), além da materialização das linhas divisórias nacionais e internacionais e respectivos marcos de fronteira (BRASIL, 2014a, p. 69).

Essa é uma definição abrangente e que se assemelha a uma espécie de reconhecimento no terreno para a produção da geoinformação. Até meados da década de 2000, a reambulação pautava-se, principalmente, pela denominada busca da verdade terrestre, ou seja, o levantamento de topônimos e a verificação *in loco* de áreas do terreno que poderiam gerar dúvidas, quando da interpretação das imagens aéreas. A partir da introdução efetiva do uso de bancos de dados geográficos na produção de geoinformação, a possibilidade de armazenar uma quantidade maior e mais detalhada de dados e informações qualitativas dos acidentes naturais e artificiais, houve uma revolução nesse processo, pois foram criadas as condições para a execução das análises semânticas integradas às geométricas.

O *LiDAR* é um "sistema de sensoriamento remoto ativo que determina as coordenadas tridimensionais de pontos sobre uma superfície por meio da geração, emissão e captura de pulsos *LASER*, integrados com dados *GPS* e do Sistema de Navegação Inercial (*INS*, na sigla em inglês)", segundo Mendonça Júnior (2010, p. 54). O produto

principal desse levantamento é uma densa malha de pontos tridimensionais que representa o Modelo Digital de Elevação (MDE) de um espaço geográfico, podendo-se, também, obter produtos secundários, como imagens de intensidade e hipsométrica.

O nível de detalhamento do levantamento é definido pela quantidade de pontos por unidade de área (pontos/m²). Devido à elevada densidade de pontos, é comum que essas malhas de pontos contenham, além de informações do terreno, representações de elementos de grande porte (pontes, vegetação, edificações *etc.*) a de pequeno porte (meios-fios, rede elétrica suspensa, postes, carros, pessoas, arbustos *etc.*). Por isso, é necessária a execução de tarefas que visem a classificar os inúmeros pontos de acordo com o acidente que o representa, de forma a eliminar os dados que não tenham relação com a missão do SAC.

Em relação à acurácia, Iordan e Popescu (2015) apresentam um estudo que analisa a acurácia vertical dos levantamentos *LiDAR* em diversos tipos de cobertura do terreno (estradas de asfalto, de terra e de pedra, cobertura vegetal, jardins, plantações de trigo e milho, cobertura de palhas, terreno exposto e encostas), obtendo erros quadráticos médios inferiores a 0,25 metros, em regiões de florestas, e 0,10 metros, em terrenos abertos. Não foram realizadas análises quanto à acurácia horizontal devido à dificuldade na identificação dos pontos no terreno (aleatoriedade na reflexão do pulso *LASER* no terreno e objetos).

O *RADAR* é um sensor remoto ativo que se baseia na emissão de pulsos eletromagnéticos, que se propagam até o

alvo, tem seu reflexo capturado pelo próprio sensor. Pode produzir, da mesma forma que o *LiDAR*, MDE e imagens, sendo que a onda eletromagnética pode ser polarizada pelos planos verticais (V) ou horizontais (H), o que permite uma combinação entre a emissão do sinal e sua recepção (VV, VH, HV e HH) (LILLESAND; KIEFER, 2000).

Diferentemente dos sensores óticos, o sensor *RADAR* é menos afetado por interferências decorrentes das condições atmosféricas e possui a capacidade de penetrar em regiões cobertas por vegetação, sendo essa capacidade de penetração dependente da umidade do ar, da densidade e do comprimento da onda. Em geral, os comprimentos de onda menores interagem com o dossel florestal e os maiores com a vegetação mais baixa, podendo até interagir com o solo ou o subsolo. A Tabela 4 apresenta as Bandas *RADAR* e suas designações.

BANDAS RADAR	
Designação da Banda	Comprimento de Onda (λ)
K _a	0,75 – 1,1 cm
K	1,1 – 1,67 cm
K _u	1,67 – 2,4 cm
X	2,4 – 3,75 cm
C	3,75 – 7,5 cm
S	7,5 – 15 cm
L	15 – 30 cm
P	30 – 100 cm

Tabela 4 - Fonte: Adaptado de Lillesand e Kiefer (2000).

No caso do Brasil, por suas características climáticas e ambientais, o levantamento *RADAR* aplica-se à produção de geoinformação da região Amazônica. Nos anos de 1970, foram empregados sensores *RADAR* da Banda C na construção de cartas topográficas na escala 1/250.000. Mais recentemente, a partir de 2008, foi executado o Projeto Radiografia da Amazônia, que empregou radares nas Bandas X e P, o que propiciou insumos do dossel florestal (Banda X) e do solo amazônico (Banda P).

STELLE (2011) analisou a exatidão planimétrica de ortoimagens da Bandas X, obtendo um erro quadrático médio de 9,31

metros, a exatidão altimétrica do modelo digital do terreno, oriundo da Banda P, obtendo um erro quadrático médio de 6,50 metros. Esses resultados permitiram classificar esses produtos como Classe A na planimetria e Classe C para a altimetria, segundo o Padrão de Exatidão Cartográfica para a escala 1/25.000, conforme o previsto no Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984. A análise desses resultados permite verificar que o SAC dispõe de informações do terreno, na região Amazônica, no mesmo nível de exatidão das cartas topográficas do restante do território nacional, o que habilita seu uso como insumo em seus processos.

LEVANTAMENTOS COM USO DE IMAGENS

O termo imagem é definido como “registro permanente, em meio analógico ou digital, de feições geográficas de uma determinada área, gerado por meio de discretização da resposta obtida por um sensor (passivo ou ativo) de todos os pontos da área abrangida pela imagem” (BRASIL, 2015, p. 143). Se essa imagem é obtida com controle de sua geometria, ela pode ser, além de uma fonte de dados qualitativos, uma fonte de dados quantitativos.

O uso de imagens como fonte de informação teve início na década de 1850, logo após a criação da fotografia na década de 1820, na França. A capacidade de disponibilização de dados de uma imagem é decorrente da interação de suas resoluções espacial (tamanho do pixel no terreno), radiométrica (profundidade das cores presentes nas imagens), espectral (faixa do espectro eletromagnético imageada) e temporal (tempo de revisita do sensor). A variedade cada vez maior dos sensores remotos terrestres, aéreos e orbitais, aliada à capacidade de processamento de imagens digitais e à exatidão das técnicas existentes, criou condições e ambientes únicos, capazes de atender as necessidades do SAC no que se refere à geoinformação, tanto métricas quanto qualitativas, dentro de padrões de desempenho estabelecidos [1].

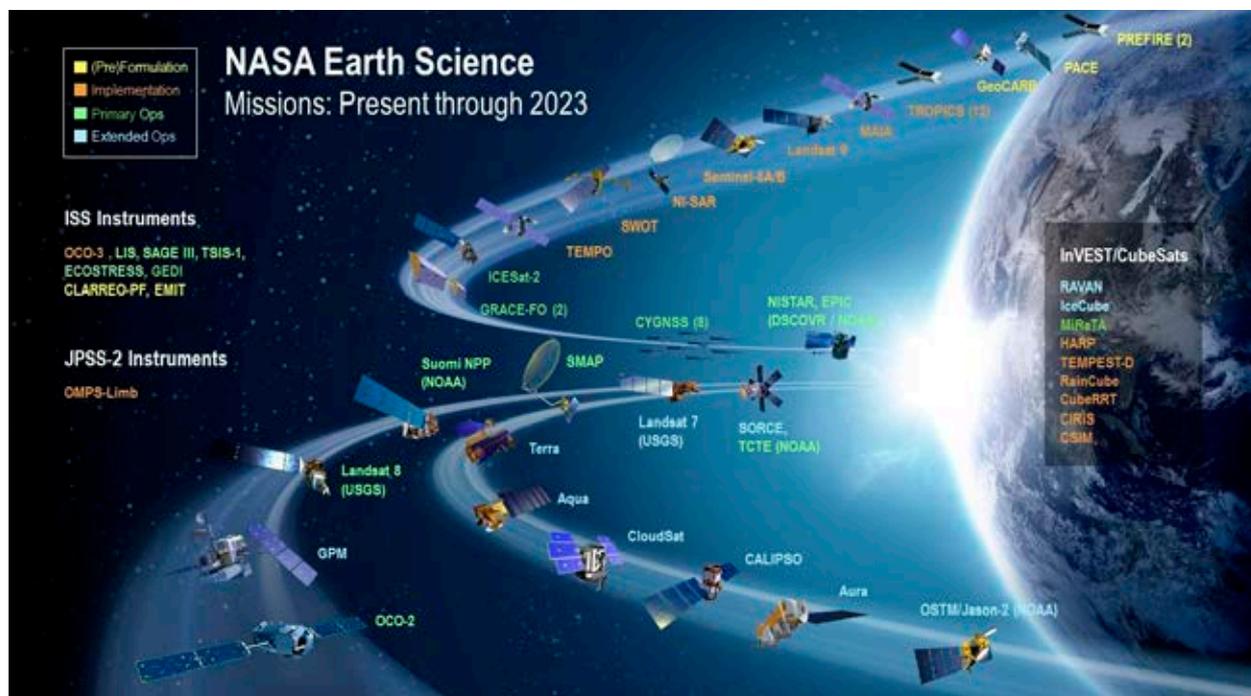


Fig 4 - Missões da NASA até 2023.

Fonte: <https://twitter.com/NASAEarth/status/1052589451828899841/photo/1>.

As constelações de satélites foram diversificadas com a entrada de empresas privadas, em complemento às empresas estatais, no mercado global de sensoriamento remoto, o que disponibilizou para os usuários em geral, uma grande variedade de sensores e de imagens.

É possível obter imagens com resolução espacial da ordem de 30 cm e resolução

radiométrica de 8 a 16 *bits*, inclusive com recobrimento estereoscópico, o que facilita a execução dos levantamentos quantitativos e qualitativos com uso de imagens em apoio aos processos do SAC. Como exemplo de satélites existentes, as Figuras 4 e 5 apresentam as constelações da Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço (NASA, na sigla em inglês) dos EUA e da empresa europeia Airbus.



Fig 5 - Constelação Airbus.

Fonte: <https://www.intelligence-airbusds.com/imagery/constellation/>.

Em relação aos sensores imageadores aerotransportados, as câmeras digitais já dominam o mercado há quase duas décadas, sejam as fotogramétricas sejam as de baixo custo. As câmeras fotogramétricas tornaram-se um conjunto de sensores diferentes integrados, com variadas câmeras digitais de diferentes resoluções, inclinadas e verticais. Com isso, viabilizou-se a obtenção de imagens derivadas, formadas a partir da combinação das imagens oriundas de diferentes sensores imageadores das câmeras.

As resoluções geométricas dessas câmeras, na atualidade, variam entre 3,5 e 5,0 μ m, com imagens que podem chegar a 300 ou 400 *Mpixels* de tamanho, o que permite a geração de modelos digitais de elevação, de forma automática, com densidade de pontos similar aos levantamentos *LiDAR*. A Figura 6 apresenta, a título de exemplo, uma câmera fotogramétrica digital da empresa *Leica*.



Fig 6 - Câmera Fotogramétrica Digital Leica ADS 100. Fonte: <https://geo-matching.com/digital-aerial-cameras/leica-ads100-airborne-digital-sensor>.

Além disso, a utilização dos veículos aéreos não tripulados (VANT) ou drones como plataformas, aliada às câmeras de baixo custo ou a fotogramétricas de tamanho médio e mais leves, permite levantar

dados do terreno não acessíveis, negadas pelo inimigo, auxiliando na busca de alvos e na obtenção de informações geoespaciais acuradas. A Figura 7 apresenta, a título de exemplo, uma câmera fotogramétrica digital para VANT, de tamanho médio, da empresa *G2 Airborne Systems*.

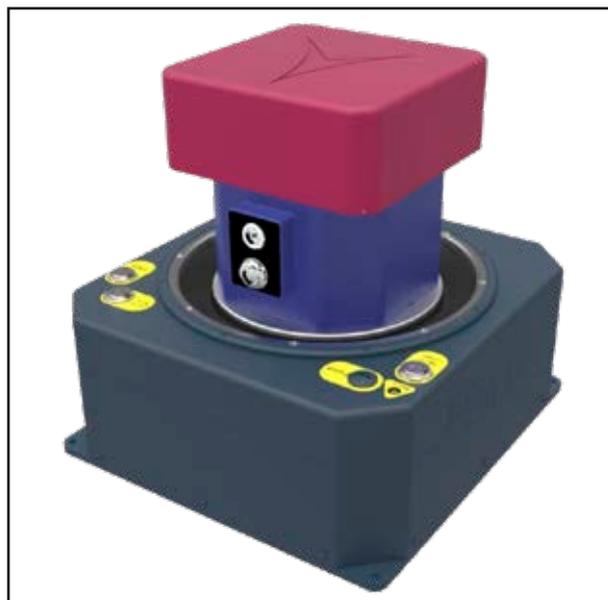


Fig 7 - Câmera Fotogramétrica Digital G2 AS100. Fonte: <https://geo-matching.com/digital-aerial-cameras/g2-as100>.

A exatidão que pode ser obtida nos levantamentos com uso de imagens depende, principalmente, da forma como sua orientação ou seu georreferenciamento foi realizado. Sua implementação utiliza modelos matemáticos específicos, o que exige a determinação dos parâmetros que permitem a transformação do sistema de coordenadas da imagem para o sistema de coordenadas de mundo.

Normalmente, existem duas formas de executá-la, sendo a primeira e mais comum, o uso dos chamados pontos de controle, que são pontos cujas coordenadas podem ser determinadas por intermédio de levantamentos no terreno, em outras imagens e em produtos já existentes; a segunda, e menos comum, a utilização dos parâmetros de orientação dos sensores no momento da tomada da imagem. Na

atualidade, no caso dos sensores aéreos, é comum a utilização de rastreadores GNSS embarcados, o que facilita a automação na determinação dos parâmetros de orientação das imagens por meio do ajustamento estatístico do bloco fotogramétrico.

LEVANTAMENTOS COM USO DOS PRODUTOS DO CONJUNTO DE DADOS GEOESPACIAIS

Os Produtos do Conjunto de Dados Geoespaciais (PCDG) são produtos básicos que disponibilizam a geoinformação de referência para diversas atividades em que o terreno é o meio de sua execução ou implementação.

Por essa característica primordial, os PCDG são normatizados e têm seus padrões de produção e de desempenho estabelecidos em normas específicas do Exército Brasileiro. São, portanto, excelentes fontes de informações espaciais.

De acordo com a Norma da Especificação Técnica para Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais (BRASIL, 2016), esses produtos são o Conjunto de Dados Geoespaciais Vetoriais, a carta topográfica, a carta ortoimagem, o modelo digital de elevação e a ortoimagem. Para cada etapa da produção de cada um dos PCDG, existem normas específicas:

- a parte conceitual está prevista na Especificação Técnica da Estruturação dos Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-EDGV);

- as regras de aquisição estão descritas na Especificação Técnica da Aquisição dos Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV);

- a representação cartográfica está consolidada na Especificação Técnica da Representação dos Dados Geoespaciais (ET-RDG); e

- o controle da qualidade está regulado na Especificação Técnica do Controle da Qualidade dos Dados Geoespaciais (ET-CDDG).

ARMAZENAMENTO, DISSEMINAÇÃO E ANÁLISES ESPACIAIS

A elevada quantidade de dados e de informações levantados no terreno e nas imagens, bem como nos produtos existentes, impõe a utilização de sistemas capazes de armazená-los, criando as condições para que as informações temáticas sejam produzidas, disseminadas e reusadas nos processos e nas tarefas do SAC. A tecnologia atual disponibiliza os bancos de dados geográficos como uma ferramenta capaz de armazenar esses dados e informações, em grandes quantidades, preparando-os para análises posteriores.

Para integrar diferentes bancos de dados geográficos e não geográficos (convencionais), a estrutura utilizada é denominada Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE). Essa estrutura permite que os dados e informações geoespaciais, de diferentes origens, sejam integrados para serem utilizados pelos usuários em geral. Deve-se ressaltar que, por ter a capacidade de fornecer dados e informações para emprego em outros sistemas além do SAC, existe a necessidade de se padronizar a geoinformação produzida e distribuída para todos os órgãos, principalmente para aqueles que integram a segurança e a defesa nacional.

No Brasil, para a geoinformação básica ou de emprego geral, a IDE se denomina Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE) e pode ser utilizada para acessar dados produzidos por diversas instituições públicas e privadas. Para esse tipo de geoinformação já existe uma modelagem normatizada pela ET-EDGV.

Para a Geoinformação de Defesa, foram criados, pela Portaria Normativa Nº 2445 GM/MD, de 1º de junho de 2021, do Ministério da Defesa, o Sistema de Geoinformação de Defesa (SisGeoDef), a sua Infraestrutura Nacional de Defesa (INDE-Defesa) e o Conselho de Geoinformação de Defesa.

O SisGeoDef visa a, em essência, padronizar a geoinformação de defesa produzida por diferentes instituições, públicas e privadas; definir normas e padrões de dados geoespaciais relativos à Segurança e Defesa Nacional; e assegurar o acesso à Geoinformação de Defesa com ênfase no planejamento e no controle das Operações Conjuntas (Brasil, 2021), ou seja, cabe ao SisGeoDef modelar e padronizar a Geoinformação de Defesa no país.

Para disponibilizar a geoinformação básica aos usuários, o Exército Brasileiro utiliza o Banco de Dados Geográficos do Exército (BDGEx) e para a geoinformação de defesa o BDGEx Operacional (BDGEx Op).

Uma característica importante do uso de um banco de dados geográficos nas operações é que os dados e as informações produzidos pelos subsistemas do próprio SAC podem ser armazenados, facilitando seu reuso por outras unidades componentes da Força ou pelo próprio SAC em operações posteriores.

Para utilizar a geoinformação disponível na área de operações, deve-se lançar mão de um tipo especializado de *software* denominado sistema de informações geográficas (SIG). Para uso interno, o Exército, nas linhas de produção de sua geoinformação, vem tomando iniciativas para migrar sua base produtiva para o *Quantum GIS (QGIS)*, um *software* livre de código aberto. Além disso, desenvolve ferramentas especializadas para a produção cartográfica e para a execução de análises focadas em processos e tarefas de interesse operacional.

Uma vantagem do uso de um SIG nas operações é decorrente de sua capacidade de visualizar espacialmente, em um único ambiente computacional, todas as variáveis de interesse e suas interações, na busca de soluções que facilitem a tomada de decisão nos diversos níveis existentes. Outra vantagem é a capacidade de

integrar bases cartográficas produzidas com diferentes sistemas geodésicos de referência e projeções cartográficas, transformando-os para uma base comum, criando, assim, condições para o uso integrado de diferentes produtos, produtores e épocas.

As fontes de geoinformação para serem utilizadas nessas operações são a INDE, o BDGEx, o BDGEx Op e outros bancos de dados que possam fornecer informações de interesse para o cumprimento da missão do SAC. Definida a área de operações, deve-se baixar a geoinformação de interesse da área de operações e utilizá-la no QGIS ou em outro SIG.

A principal aplicação da geoinformação é a realização das análises espaciais, que vem a ser a mensuração de características, propriedades e interações de diversos objetos com base em sua localização espacial. Uma classificação simples das análises espaciais é aquela que a divide em análise geométrica e análise semântica.

A análise geométrica utiliza somente a geometria dos objetos existentes no terreno e sua interação com os demais objetos e com o próprio terreno. São exemplos desse tipo de análise: os perfis do terreno; as mensurações de coordenadas; distâncias; ângulos e azimutes; a determinação de partes vistas e ocultas a partir de pontos e linhas; a determinação da declividade do terreno; os sobrevoos sobre áreas; a determinação de leitos de rios a partir de talvegues; a estimativa de áreas de inundação a partir de elementos da hidrografia; dentre outros.

A análise semântica utiliza, além das informações geométricas, os atributos e as qualificações dos objetos presentes no espaço geográfico. São exemplos desse tipo de análise: a localização e a interação de objetos no terreno por



Fig 8 - Visibilidade da Zona Sul do Rio de Janeiro a partir do Posto de Observação do Forte do Leme.

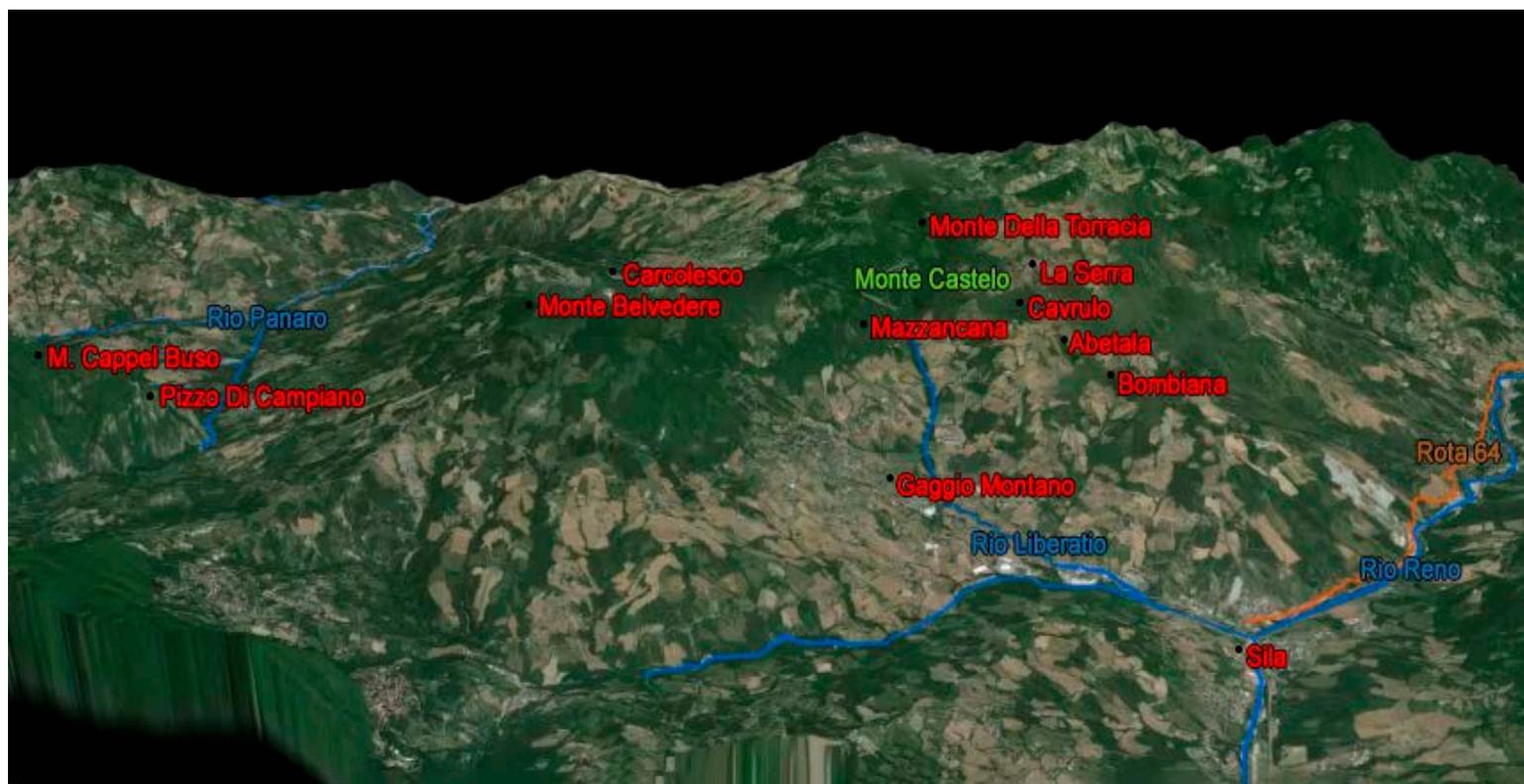


Fig 9 - Vista inclinada obtida a partir de sobrevoo na região de Monte Castelo, Itália.

algum atributo de interesse; a definição de rotas segundo critérios estabelecidos; os mapas de incidência de crimes; os mapas de evacuação de áreas; os mapas demográficos em geral; dentre outros.

A Figura 8 apresenta um exemplo de análise espacial (visibilidade do terreno) feita com base no modelo digital de elevação construído pela Diretoria de Serviço Geográfico para os Jogos Olímpicos, realizados na cidade do Rio de Janeiro (RJ), em 2016. Já a Figura 9 apresenta uma imagem proveniente de um sobrevoo nas proximidades de Monte Castelo, uma das áreas de operações da 1ª Divisão de Infantaria Expedicionária na Itália, durante a Segunda Guerra Mundial.

EXEMPLOS DE MELHORIAS NOS PROCESSOS E TAREFAS DO SAC

➤ Automação nos cálculos matemáticos de mensuração no SAC - a determinação dos parâmetros de orientação da linha de fogo (azimutes, elevações e distâncias) pode ser realizada com a utilização de formulações matemáticas mais adequadas à exatidão requerida para que os efeitos desejados no alvo sejam alcançados. Por exemplo, pode-se estabelecer limites para o uso de formulações topográficas (até 10 km) e geodésicas (a partir de 10 km), ressaltando-se que o uso de sistemas computacionais na realização dos cálculos é obrigatório no caso das formulações geodésicas.

➤ Automação nas transformações entre projeções cartográficas - a projeção *Universal Transverse de Mercator (UTM)* é a projeção cartográfica utilizada no mapeamento sistemático terrestre brasileiro e no Programa Mundial de Produção de Dados Geoespaciais (MGCP). Suas vantagens decorrem do uso de um sistema de coordenadas ortogonal (com coordenadas métricas) e a propriedade de ser uma projeção conforme (não deforma ângulos e pequenas áreas), dentre outras.

Uma de suas principais limitações se relaciona com a descontinuidade dos sistemas de coordenadas quando ocorre a mudança de Fuso *UTM* (no total existem 60 fusos, sendo 8 no Brasil), o que exige a realização de cálculos adicionais de transformação de coordenadas de um fuso para o outro (com extensão limitada). O uso de SIG possibilita a transformação das coordenadas em tempo real, ou a construção de produtos cartográficos em uma outra projeção cartográfica, como a *Local Transverse de Mercator – LTM*, mais adequada à área de operações.

➤ Automação na execução dos levantamentos nos processos decorrentes – os equipamentos topográficos atuais possibilitam automatizar os cálculos nos levantamentos. As estações totais possuem a capacidade de medir ângulos (verticais e horizontais) e distâncias (inclusive sem acesso ao alvo) e calcular as poligonais de forma automática, eliminando os cálculos manuais por intermédio das fichas topográficas. Essas possibilidades agilizam a execução do levantamento, minimizam os erros grosseiros e facilitam a determinação das coordenadas dos pontos levantados.

➤ Disponibilização de especificações técnicas para a produção e avaliação da qualidade da geoinformação – as normas e as especificações técnicas para a aquisição de dados e de informações geoespaciais e para a avaliação de sua qualidade já estão prontas e contemplam as necessidades nesse assunto. Sua utilização economizaria tempo e adequaria os levantamentos do SAC às normas mais modernas existentes no mundo, padronizando os dados e informações espaciais utilizadas.

➤ Estabelecimento de padrões de dados geográficos que suportarão a digitalização do SAC – a rapidez, a agilidade e a exatidão no apoio de fogo são características impostas pelo combate

moderno, cada vez mais automatizado e baseado em sistemas computacionais. Para tanto, é necessária a adoção de padrões de dados (geográficos e alfanuméricos) que permitam a intercambialidade, a integração e a aplicação conjunta dos diversos subsistemas durante as operações.

➤ Disponibilização de inúmeros métodos de levantamentos capazes de atender as especificidades do SAC – nas operações, as condicionantes impostas pelo inimigo, terreno, meios disponíveis, missão *etc.* podem limitar severamente o uso de uma tecnologia, afetando a técnica de levantamento desejada. Por disponibilizar diferentes possibilidades de mensuração de ângulos e de distâncias, as ciências, técnicas e tecnologias presentes na geoinformação oferecem alternativas eficazes para o cumprimento da missão do SAC, complementando as especificidades umas das outras, dentro dos parâmetros de desempenho preestabelecidos.

➤ Manutenção do conceito de trama comum independente da extensão da área de operações – o uso do SGB como referencial terrestre permite que se padronize o conceito de trama comum a todos os sistemas de vigilância e de armas presentes na área de operações, integrando *radares*, linhas de fogo, sistemas de mísseis *etc.* em único sistema de referência, garantindo a integração desses sistemas em uma base única.

➤ Melhoria nos processos do SAC com base em conhecimentos de geoinformação consagrados – a atualização dos processos e das tarefas do SAC fundamentada nos conhecimentos das ciências, técnicas e tecnologias existentes garante a formação e o aperfeiçoamento dos recursos humanos com base em informações técnicas consagradas, testadas e aplicadas pelas principais instituições científico-tecnológicas do Brasil e do mundo.

➤ Agilização na produção e na disseminação da geoinformação – por princípio, a aplicação da geoinformação nos processos do SAC, pela natureza dos insumos e pela tecnologia disponível, impõe o uso intensivo de sistemas computacionais, o que tem como consequência imediata a agilização nos processos de cálculos, a melhoria no desempenho e na eficácia do sistema como um todo e o aumento na capacidade produção, armazenamento e disseminação de produtos construídos no próprio SAC.

➤ Avaliação dos planejamentos pela simulação do ambiente de emprego do SAC – a prévia disponibilidade de informações do espaço geográfico possibilita seu estudo em ambiente controlado, fora da zona de ação e das ações do inimigo, o que permite a elaboração e o teste dos planejamentos por intermédio de simulações no próprio ambiente de execução da operação.

➤ Criação de um ambiente capaz da obtenção da letalidade seletiva e da eficácia imediata – o elemento comum, que une a letalidade seletiva no acerto do alvo e a eficácia imediata na primeira rajada do fogo, é a exatidão imposta ao SAC pela missão designada. Com o uso dos conhecimentos proporcionados pelas ciências, técnicas e tecnologias que suportam a geoinformação, são criadas as condições métricas para que os sistemas de armas apresentem seus melhores resultados, controlando as fontes de erros provenientes da geometria do eixo “linha de fogo – observação – alvo”.

➤ Capacidade de agilização dos reconhecimentos e planejamentos por intermédio de análises espaciais – uma das características mais importantes de um banco de dados é a sua capacidade de integrar dados e análises de diferentes origens para distintas finalidades. Quando as análises visam a identificar

porções do terreno com determinadas propriedades geométricas, como é o caso do reconhecimento, escolha e ocupação de posição por uma bateria de obuses, por exemplo, estão criadas as condições para a melhoria desse processo. A seleção de áreas com dimensões preestabelecidas, ocultas das vistas dos postos de observação inimigos, com declividade limitada e distância máxima da área de interesse é um exemplo típico desse tipo de análise, que pode ser realizado antecipadamente com a pré-seleção de áreas no terreno que atendam as condições inicialmente propostas.

➤ Disponibilização do modelo conceitual da estrutura de dados geoespaciais para uso em sistemas componentes do SAC – a evolução tecnológica orienta que os sistemas em geral, os de material e emprego militar em particular, usarão massivamente *softwares* especializados para executar diversos processos e tarefas que, ao ser integrados em sistemas de sistemas, utilizarão os bancos de dados geográficos e convencionais como ferramentas de armazenamento e de disseminação de dados para inúmeras atividades. No caso do SAC, os sistemas de simulação, os de coordenação e controle do apoio de fogo e os de determinação dos parâmetros de orientação dos tiros em geral são exemplos de sistemas que poderão se valer da modelagem conceitual já existente, eliminando a necessidade da execução da modelagem dos dados geoespaciais, além de facilitar a integração desses sistemas aos demais em uso no Exército Brasileiro.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo do presente artigo foi o de apresentar as possibilidades de incremento na Doutrina do Sistema de Artilharia de Campanha pela adoção dos fundamentos da Geoinformação como elementos de crescimento, melhoria e de

inovação. Para isso, foram apresentados os fundamentos geodésicos relacionados com a adoção do referencial terrestre às diversas possibilidades de execução de levantamentos no terreno, por intermédio de imagens e pelo uso dos produtos do conjunto de dados geoespaciais.

A ampliação do conceito de trama topográfica e sua integração aos modelos matemáticos, que não sofrem limitação pela esfericidade terrestre, serão ganhos expressivos na acurácia do tiro e no atendimento às limitações impostas pela rapidez do inimigo na execução de fogos de contrabateria, na necessidade de consecução dos objetivos com uma quantidade de rajadas menor e no atendimento à letalidade seletiva.

A evolução tecnológica ocorrida nas últimas três décadas disponibilizou inúmeras técnicas novas e aperfeiçoou as antigas, de modo que a coleta de informações do terreno e dos objetos localizados acima dele se tornou mais rápida, eficiente e efetiva. Por outro lado, a quantidade de dados e de informações territoriais aumentou na mesma proporção, o que exigiu o emprego de estruturas capazes de agilizar sua produção, de armazená-los e de facilitar sua distribuição.

A variedade de sensores remotos disponíveis, com diferentes tecnologias produzidas por entidades públicas e privadas em todo o mundo, faz com que as necessidades do SAC possam ser mais facilmente atendidas, no que se refere à busca e à obtenção de características de alvos de interesse, de informações meteorológicas e do terreno, dentre outros. A realidade atual dos dados geoespaciais está relacionada à abundância de dados, à rapidez na atualização e à geração de produtos digitais, o que exige uma estrutura capaz de lidar com essa peculiaridade.

Entende-se que os diversos processos do SAC, como planejamentos, reconhecimentos

e estudos de situação, conduzem a tomada de decisão pelos comandantes nos diversos níveis, a qual será facilitada, ampliada e melhorada com a utilização de sistemas de informações geográficas e de infraestruturas de dados espaciais.

O atendimento aos fatores que afetam o desempenho do SAC, com base nas atuais tecnologias e nas potencialidades de emprego do sistema em si, reflete a adaptabilidade necessária para que o apoio de fogo cumpra sua missão essencial de apoio à execução da manobra com a efetividade desejada.

Quanto mais dados e informações estiverem disponíveis, mais difícil será para os comandantes diferenciarem o essencial do complementar e do supérfluo, focando no cumprimento da missão e afetando a eficácia desejada. O

excesso de informação é um problema que exige o uso de sistemas mais complexos e capazes de tratar e filtrar o importante, criando melhores condições para a tomada das decisões.

Por fim, entende-se que o domínio dos fundamentos das ciências e tecnologias que suportam a Geoinformação e suas aplicabilidades potenciais pode auxiliar consideravelmente a melhoria dos processos e das tarefas que compõem a doutrina de Artilharia de Campanha. Essa “cultura de Geoinformação” criará condições para o aumento na acurácia dos processos de mensuração e das capacidades de levantamentos do espaço geográfico, refinando o apoio de fogo no campo de batalha em termos de eficácia e de efetividade na execução da manobra.

REFERÊNCIAS

- Associação Cartográfica Internacional. **Informação Geográfica**. Disponível em: <http://icaci.org/research-agenda/geographic-information/>. Acesso em: 23 mar. 21.
- BRASIL. Exército Brasileiro. Estado-Maior do Exército. **C6-1 Emprego da Artilharia de Campanha**. 3. ed. Brasília, 1997.
- BRASIL. Exército Brasileiro. Estado-Maior do Exército. **C6-199 Topografia do Artilheiro**. 3. ed. Brasília, 1986.
- BRASIL. Exército Brasileiro. Estado-Maior do Exército. **EB20-MC-10.209 Geoinformação**. 1. ed. Brasília, 2014a.
- BRASIL. Exército Brasileiro. Estado-Maior do Exército. **EB20-MF-10.101 O Exército Brasileiro**. 1. ed. Brasília, 2014b.
- BRASIL. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Resolução da Presidência 22, de 21 jul. 1983**. Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos em **território brasileiro (revogada)**. Rio de Janeiro, 1983.
- BRASIL. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Resolução da Presidência 1/2005**. Altera a caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro. Rio de Janeiro, 2005.
- BRASIL. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Especificações e Normas para Levantamentos Geodésicos Associados ao Sistema Geodésico Brasileiro**. Rio de Janeiro, 2017.
- BRASIL. **Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais**. Portal Brasileiro de Dados Geoespaciais - Sig Brasil. Disponível em: <https://www.inde.gov.br/>. Acesso em: 23 mar. 21.
- BRASIL. Ministério da Defesa. Exército Brasileiro. Departamento de Ciência e Tecnologia. **EB80-N-72.001 Norma da Especificação Técnica para Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais**. 2. ed. Brasília, 2016.
- BRASIL. Ministério da Defesa. **Glossário das Forças Armadas**. 5. ed. Brasília, 2015.
- BRASIL. Ministério da Defesa. **Portaria Normativa Nº 2445 GM/MD, de 1º de junho de 2021**. Institui o Sistema de Geoinformação de Defesa, sua Infraestrutura de Dados Espaciais de Defesa e o Conselho de Geoinformação de Defesa e dá outras providências. Brasília, 2021.
- CÂMARA, G.; DAVIS, C. D.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos, 2017. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>. Acesso em 1 mai. 17.
- DALAZOANA, Regiane. **Implicações na Cartografia com a Evolução do Sistema Geodésico**

Brasileiro e Futura Adoção do SIRGAS. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2001.

DOMINGUES, F. A. A. **Topografia e Astronomia de Posição para Engenheiros e Arquitetos.** McGraw-Hill do Brasil, São Paulo, 1979.

ESPARTEL, Lelis. **Curso de Topografia.** 6. ed. Editora Globo. Porto Alegre, 1978.

EUA. Departamento do Exército dos Estados Unidos da América. **ATP 3-09.02 Field Artillery Survey.** Army Techniques Publication. Washington, 2016.

IORDAN, D.; POPESCU, G. **The Accuracy of Lidar Measurements for the Different Land Cover Categories. Scientific Papers. Series E. Land Reclamation, Earth Observation & Surveying, Environmental Engineering.** Vol. IV, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/313509734_the_accuracy_of_lidar_measurements_for_the_different_land_cover_categories. Acesso em: 29 abr. 21.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote Sensing and Image Interpretation.** John Wiley & Sons. 4. ed. Nova Iorque, 2000.

MENDONÇA JÚNIOR, M. G. **Estruturas de Geoinformação de Defesa do Brasil, Estados Unidos da América, Reino Unido da Grã-Bretanha e Irlanda do Norte.** Especialização em Altos Estudos em Política e Estratégia. Escola Superior de Guerra. Rio de Janeiro, 2017.

MENDONÇA JÚNIOR, M. G. **Reconstrução de Edificações para Geração de Ortoimagens Verdadeiras com Emprego de Dados LiDAR.** Doutorado em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2010.

MONTEIRO, Luís Nuno da Cunha Sardinha. **Guerras de 4ª Geração.** Revista Militar Nº 2591. Dezembro de 2017, pp 1001 – 1014. Disponível em: <https://www.revistamilitar.pt/artigo/1288>. Acesso em: 16 mar. 21.

OLIVEIRA, Cêurio. **Dicionário Cartográfico.** 4. ed. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, 1993.

SANTOS, D. M. A.; MALTEZ, M. M.; GOMES, T. E. S.; FREITAS, G. M.; SANDERS, A. **A arte da guerra no século XXI: avançando à Multi-Domain Battle.** Coleção Meira Mattos, Rio de Janeiro, v. 13, n. 46, p. 83-105, janeiro/abril 2019. Disponível em file:///tmp/mozilla_agocho/1644-Texto%20do%20artigo-4611-1-10-20190410.pdf. Acesso em 18 mar. 21.

STELLE, C. A. **Avaliação da Acurácia Posicional Planialtimétrica de Produtos Cartográficos da Região Amazônica Extraídos de Dados SAR Interferométricos nas Bandas X e P do Sensor Orbisar.** Mestrado em Sensoriamento Remoto. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 2011.

VEIGA, L. A. K.; ZANETTI, M. A. Z.; FAGGION, P. L. **Fundamentos de Topografia.** Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

NOTA

[1] Hoje, existem sensores orbitais variados, com finalidades específicas e vocacionadas para aplicações especializadas. O sítio da Universidade de *Twente* (<https://webapps.itc.utwente.nl/sensor/default.aspx?view=allsatellites>) apresenta uma lista com os 396 sensores lançados, com as respectivas aplicações, em 331 satélites artificiais para sensoriamento remoto, dos quais 238 ainda estão ativos.

SOBRE O AUTOR

O General de Brigada Engenheiro Militar Marcis Gualberto Mendonça Júnior é o Diretor do Serviço Geográfico do Exército Brasileiro. Foi declarado aspirante a oficial da arma de Artilharia, em 1991, pela Academia Militar das Agulhas Negras (AMAN). É graduado em Engenharia Cartográfica pelo Instituto Militar de Engenharia (IME), em 1997. É Doutor em Ciências Geodésicas pela Universidade Federal do Paraná, em 2010. Concluiu o Curso de Direção para Engenheiros Militares da Escola de Estado-Maior do Exército, em 2010. Possui larga experiência na produção de geoinformação, tendo participado de vários projetos relacionados com sua produção e disseminação, tendo exercido diversos cargos no âmbito do Serviço Geográfico. Chefiou a 1ª Divisão de Levantamento, atual 1º Centro de Geoinformação, sediado em Porto Alegre – RS, no triênio 2013/2015 (marcis.mendonca@eb.mil.br).