

O uso da análise espacial no Processo de Integração Terreno, Condições Meteorológicas e Inimigo (PITCI) do Exército Brasileiro

Ivan Carlos Soares de Oliveira, Paulo Roberto Meneses,** Laiza Rodrigues Leal****

Resumo

A busca por informações, incluindo a espacial, é essencial para o planejamento e para a execução das operações militares. A amplitude da operação a ser executada baseia-se no conhecimento sobre as forças oponentes, ou beligerantes, o terreno e as condições meteorológicas. Em tempo de paz, busca-se a formação de um considerável banco de dados para cada área de possível emprego da Força Terrestre (FT), conforme as hipóteses de conflito levantadas, atribuindo-se a responsabilidade da execução da atividade de Inteligência nas operações militares à produção de conhecimentos essenciais à condução de missões operacionais.

A análise da área de operações militares é dividida em três fases distintas: o estudo das características do terreno, do clima (meteorológicas) e do inimigo. Neste trabalho são abordadas as duas primeiras: terreno e clima, tendo como área de estudo o Campo de Instrução de Formosa (CIF) do Exército Brasileiro, situado no Estado de Goiás, a leste do Distrito Federal.

Foi construído um Sistema de Informações Geográficas (SIG), com o objetivo de realizar a modelagem espacial do ambiente onde uma tropa pode ser empregada, utilizando-se de diversos dados geográficos e temáticos, como de solo, cobertura vegetal e drenagem, entre outros, com a finalidade de prover o necessário apoio à decisão, realizando o Processo de Integração Terreno, Condições Meteorológicas e Inimigo (PITCI), dentro de um Estudo de Situação hipotético. A metodologia adotada foi desenvolvida em três etapas fundamentais: estruturação da base geográfica de dados vetoriais, processamento digital de imagens de satélites de sensoriamento remoto e análise espacial. Como principais resultados, obteve-se a organização das bases de dados existentes da área de estudo e a confecção do mapa de Restrições ao Movimento.

Palavras-chave

Processo de Integração Terreno, Condições Meteorológicas e Inimigo (PITCI); Análise Espacial; Sistema de Informações Geográficas (SIG); Processamento Digital de Imagens.

* Maj Eng, MsC em Geologia pela UnB, chefia a Seção de Imagens e Informações Geográficas do Gab Cmt Ex.

** Geólogo, Doutor em Geologia pela USP, professor da UnB e Diretor do Instituto de Geociências da UnB.

*** Geógrafa, Especialista em Geoprocessamento pela UnB, Mestranda em Geologia pela UnB.

Introdução

A necessidade de informações sobre o ambiente operacional e sobre as forças oponentes, para o planejamento e execução de operações militares, tem levado o Exército Brasileiro (EB) a buscar novos métodos e ferramentas de integração e visualização de dados sobre o terreno, as condições meteorológicas e as forças beligerantes. Quanto maior for o conhecimento disponível e quanto mais eficiente sua integração com o processo decisório, mais eficazmente o comandante planejará e conduzirá a missão, com maiores possibilidades de obter êxito com o mínimo de perdas (EME, 1999). Nas operações militares, a Inteligência Militar tem a finalidade de produzir conhecimentos sobre o ambiente operacional e sobre a atitude mais provável a ser adotada pela força oponente, proporcionando ao comandante, entre outras ações, explorar o terreno e as condições meteorológicas em proveito próprio.

A obtenção do conhecimento necessário para as operações militares se dá segundo uma metodologia denominada de Estudo de Situação, adotada em todos os níveis de comando. É um processo dinâmico e multidimensional, que deve subsidiar decisões sobre as operações correntes e o planejamento de operações futuras. Dentro do Estudo de Situação, encontra-se o Estudo de Situação de Inteligência, em que são consideradas as condições do inimigo, do terreno e as condições meteorológicas relacionadas. Os avanços tecnológicos do campo de batalha têm reduzido o tempo disponível e ampliado as possibilidades que devem ser consideradas no processo de tomada de decisão operacional (HOEPERS e SANTOS, 2001), utilizando-se, para isso, o Processo de Integração Terreno, Condições Meteorológicas e Inimigo (PITCI).

Em tempo de paz, busca-se a formação de um considerável banco de dados para cada área de possível emprego da Força Terrestre (FT), conforme as hipóteses de conflito levantadas. Com relação ao terreno, são considerados os efeitos que este exercerá no curso das operações. O perfeito conhecimento das características do terreno, decorrente da sua análise, permite ao comandante avaliar como este influenciará as operações amigas e inimigas, permitindo-lhe atuar de forma a explorá-lo em seu benefício ou minimizar os problemas existentes, para cumprir a sua missão. Portanto, o planejamento de uma operação militar requer um conhecimento prévio do meio ambiente, dos elementos topográficos e da morfologia do terreno. Esse conhecimento do modelado da superfície do terreno, em especial das suas características fisiográficas, é informação essencial na definição das regiões favoráveis e restritivas ao movimento de tropas. O PITCI é a maneira de como estes fatores são manipulados de forma gráfica (EME, 1999), permitindo uma análise sistemática e contínua. Divide-se em quatro fases: 1ª) determinação e avaliação da área de operações; 2ª) estudo do terreno e das condições meteorológicas; 3ª) avaliação do inimigo; 4ª) integração.

Na segunda fase do PITCI, a avaliação do terreno da área de operações pode, atualmente, ser realizada por meio de imagens de satélites de sensoriamento remoto e por modelamentos de dados estruturados em SIG (Sistemas de Informações Geográficas). As informações atualizadas extraídas de imagens em escalas, desde a macro ao detalhe, são combinadas com outras fontes de dados especializados para comporem planos de informações (*layers*) visualizados como mapas digitais. Isso permitiria ao comandante, em qualquer nível, melhores condições de prosseguir

com seu Estudo de Situação, visando à melhor decisão de linhas de ação para enfrentar a ameaça interposta. Esse procedimento ajudaria a substituir alguns dos calcos em papel que ainda são usados pelo Exército Brasileiro, para se chegar a um produto final intitulado “calco de restrições ao movimento”.

Algumas investidas nesse propósito já foram esboçadas, com enfoques diferentes. Andrade (1985) desenvolveu estudos de interpretação de imagens do satélite Landsat-5 na escala 1:100.000 para o mapeamento temático das classes de cobertura do terreno (vegetação, solo e água) e suas associações com mapas geológicos, topográficos, geomorfológicos etc., visando a aplicações militares. O uso de imagens comprovou ser um recurso muito útil para a necessidade militar de dados atualizados do terreno. Hoepers e Santos (2001) realizaram estudos sobre a potencialidade da aplicação de geoprocessamento no método de estudo militar do terreno, buscando conhecer as características geográficas existentes e analisar os efeitos sobre as operações militares, a fim de possibilitar as análises e simulações em ambiente computacional. E Lunardi (2003) desenvolveu uma metodologia para criação de Jogos de Guerra baseada nas técnicas de orientação a objeto, integrando conhecimentos de SIG, simulação e cartografia automatizada, objetivando a interação entre objetos georreferenciados e objetos temáticos.

Objetivo

A fim de contribuir no avanço técnico e metodológico do PITCI, este trabalho teve como principal objetivo a construção de um Sistema de Informações Geográficas como meio de se realizar a modelagem espacial do ambiente onde uma tropa pode ser empregada, analisando-se diversos

dados geográficos e temáticos (solo, cobertura vegetal, drenagem etc.), com a finalidade de prover o necessário apoio à decisão. Ele aborda a 2ª fase do PITCI, apresentando como é possível realizar a integração gráfica dos dados prévios documentados em mapas e os obtidos de classificações semi-automáticas de imagens de sensoriamento remoto, tendo como ferramenta um Sistema de Informações Geográficas (SIG), para substituir o uso e manuseio de cartas topográficas impressas e de calcos em papel vegetal desenhados a mão. Com isto, pretendeu-se apresentar uma opção digital para a realização do PITCI adotado pelo Exército Brasileiro, como forma de atualizar tecnologicamente o Estudo de Situação de Inteligência existente. O principal resultado esperado foi a elaboração do Mapa de Restrições ao Movimento.

Estudos militares do terreno

Em função da natureza da tropa que progredirá no terreno, há necessidade de se estabelecer uma classificação quanto à possibilidade de movimento. Esta classificação não é definida em termos absolutos e é, basicamente, influenciada pelas condições meteorológicas.

Segundo EME (1999), considera-se, para fins de confecção do mapa temático ou calco de aspectos gerais do terreno, três tipos: terreno impeditivo – é desfavorável ao movimento de tropa e sua utilização necessitará de forte apoio de engenharia para possibilitar uma mobilidade restrita; terreno restritivo – limita o movimento de tropa e a velocidade de progressão será substancialmente reduzida se não houver o apoio necessário de trabalhos de engenharia militar; terreno adequado – é favorável (não apresenta limitações) ao movimento de tropa e, normalmente, não é necessário desenvolver

qualquer atividade de engenharia para melhorar a mobilidade.

Os aspectos gerais do terreno analisados são vários: relevo, solos, hidrografia, obras de arte, localidades e condições meteorológicas. São elementos possíveis de serem identificados e analisados em imagens de sensoriamento remoto e, especialmente, serem georreferenciados, portanto, com atributos que permitem fácil uso de técnicas automatizadas de geoprocessamento (SIGs).

O relevo é analisado pela configuração morfológica da superfície do terreno e classificado em plano, ondulado, movimentado e montanhoso. A leitura de sua representação por meio de curvas de nível de cartas topográficas determina a declividade do terreno (tabela 1), que está diretamente relacionada com a mobilidade da tropa.

Tabela 1 – Mobilidade da tropa em função da declividade do relevo. Fonte: EME, 1999.

INCLINAÇÃO DAS ENCOSTAS		EFEITOS
PORCENTAGEM	GRAU	
0% a 10%	0° a 6°	Adequado para qualquer tropa.
10% a 30%	6° a 17°	Restritivo para viaturas sobre rodas e adequado para viaturas sobre lagartas (carros-de-combate).
30% a 45%	17° a 26°	Muito restritivo para viaturas sobre rodas e restritivo para viaturas sobre lagartas.
mais de 45%	mais de 26°	Impeditivo para viaturas sobre rodas e lagartas e restritivo para tropas a pé.

A influência da vegetação sobre as operações tem uma relação direta com a sua densidade: quanto mais densa, mais restritiva. A vegetação pode influenciar, de diversas maneiras, o emprego das unidades em campanha, a tomada

de uma decisão, ou mesmo a evolução dos acontecimentos. Transforma-se em obstáculo ao movimento, impedindo ou reduzindo o emprego de viaturas e tropas. Pode, ainda, servir como parâmetro para extrapolar resultados sobre o solo, a hidrografia ou sobre o clima. A associação dos tipos de vegetação com os tipos de solos e a drenagem da área auxiliarão na definição de locais de passagem adequados, restritivos ou impeditivos (tabela 2).

Tabela 2 – Restrições impostas pela vegetação. Fonte: EME, 1999.

CLASSIFICAÇÃO DO TERRENO	VEGETAÇÃO
Impeditivo	Grupo de árvores que impeçam o emprego de forças blindadas ou dificultem o movimento de tropas a pé.
Restritivo	Árvores espaçadas com diâmetros reduzidos que restrinjam o movimento de forças blindadas.
Adequado	Árvores espaçadas com diâmetros reduzidos, não interferindo no emprego de viaturas ou tropas a pé.

A análise de solos em operações visa a dois objetivos: verificar se o material pode ser aproveitado para obras e construções de engenharia e verificar se permite boa transitabilidade das tropas. A Engenharia Militar não adota a classificação genética dos solos definida pelo Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SBCS) (EMBRAPA, 1999). Adota a classificação geotécnica do Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS), ou USCU – *Unified Soil Classification System*. O SUCS é o aperfeiçoamento da classificação de Casagrande (1948) para utilização em aeroportos, com simplificações e adaptações para uma classificação sistemática (tabela 3). Sofreu várias revisões, sendo que a última ocorreu em 1983 (FORTES e PASTORE, 1998).

Tabela 3 – Termos e símbolos utilizados no SUCS

TIPOS DE SOLOS	SÍMBOLO	TERMOS
SOLOS GROSSOS (menos que 50% passando na #200)	G	<i>Gravel</i> (pedregulho)
	S	<i>Sand</i> (areia)
	W	<i>Well graded</i> (bem graduado)
	P	<i>Poorly graded</i> (mal graduado)
	C	<i>Clay</i> (com argila)
	F	<i>Fine</i> (com finos)
SOLOS FINOS (mais que 50% passando na #200)	L	<i>Low</i> (baixa compressibilidade)
	H	<i>High</i> (alta compressibilidade)
	M	<i>Mo</i> (silte)
	O	<i>Organic</i> (silte ou argila orgânica)
	C	<i>Clay</i> (argila)
TURFAS	Pt	<i>Peat</i> (turfa)

Como visto na tabela 3, há seis classes de solos: pedregulho, areia, silte, argila, orgânicos e turfas, com subdivisões que ajudam a caracterizar os estados de compacidade e consistência, que são medidos como índices em kg/cm³, que determinam a trafegabilidade.

O Exército adota, ainda, uma classificação segundo a resistência dos solos (tabela 4).

Visando à trafegabilidade, este trabalho sugere aliar a classificação pelo SUCS à classificação por grupamentos texturais do SBCS, segundo sua resistência (tabela 5).

Tabela 4 – Resistência dos solos. Fonte: EME, 1999.

SOLO SEGUNDO SUA RESISTÊNCIA	
CLASSIFICAÇÃO	RESISTÊNCIA (Kg/cm ²)
Rochoso	7,0 a 50,0
Pedregoso	5,0 a 7,0
Arenoso (grosso)	4,0 a 5,0
Arenoso (fino)	3,0 a 4,0
Argiloso com areia	2,0 a 3,0
Argiloso compacto	1,0 a 2,0
Argiloso úmido	0,75 a 1,0
Lamamento	0,5 a 0,75
Pantanosos	< 0,5

Tabela 5 – Grupamentos texturais

GRUPAMENTOS TEXTURAIIS		EQUIVALÊNCIA NO EXÉRCITO (SOLO)
Textura arenosa	Compreende as classes texturais areia e areia franca.	Arenoso grosso
Textura média	Compreende classes texturais, ou parte delas, tendo, na composição granulométrica, menos de 35% de argila e mais de 15% de areia, excluídas as classes texturais areia e areia franca.	Arenoso fino
Textura argilosa	Compreende classes texturais, ou parte delas, tendo, na composição granulométrica, de 35% a 60% de argila.	Argiloso com areia
Textura muito argilosa	Compreende classe textural com mais de 60% de argila.	Argiloso compacto
Textura siltosa	Compreende parte das classes texturais que tenham menos de 35% de argila e menos de 15% de areia.	Argiloso úmido

A análise da hidrografia deve abranger todos os cursos d'água que, dentro da área de operações, impeçam ou dificultem o movimento. Os rios normalmente são acidentes importantes na condução das operações militares, seja como referência para coordenação e controle, seja como obstáculo. Um rio pode ser um obstáculo transitório para o movimento, até que seja possível a construção de pontes, uso de botes de assalto ou travessia por helicóptero. A eficácia de um rio como obstáculo aumenta com a sua largura, velocidade e profundidade (tabela 6). Esses dados podem ser obtidos por meio de reconhecimento técnico especializado de engenharia militar.

Tabela 6 – Restrições impostas pela hidrografia.
Fonte: EME, 1999.

RESTRIÇÕES IMPOSTAS PELA HIDROGRAFIA	
CLASSIFICAÇÃO DO TERRENO	HIDROGRAFIA
Impeditivo	Cursos d'água, lagos, pântanos, zonas alagadiças, que não possam ser vadeados ou atravessados com apoio de Pontes Lançadas por Viaturas Blindadas (PLVB) pela engenharia militar. Margens verticais de superfície firme, que possam deter os carros-de-combate, assim como correnteza com velocidade elevada e profundidade que apresente desvantagens para viaturas blindadas.
Restritivo	Cursos d'água, lagos, áreas alagadiças, que possam ser vadeados ou atravessados com apoio de PLVB em vários locais. A velocidade da correnteza deve ser pequena (< 1,5 m/s) e a profundidade deve ser inferior a 1,20 m.
Adequado	Cursos d'água, lagos, que possam ser vadeados em qualquer lugar ou que tenham largura < 1,5 m. A profundidade < 0,6 m e a velocidade da correnteza não deve impedir a travessia.

Obras-de-arte compreendem todas as construções, pontes, viadutos, túneis, represas, aeroportos, rodovias e ferrovias que podem influir no transporte de tropas e suprimentos. A importância militar das obras-de-arte reside, principalmente, em sua relação com a transitabilidade, já que, de acordo com as características particulares de cada uma delas, facilitará ou dificultará o movimento das tropas em campanha.

As áreas urbanas normalmente são constituídas de áreas funcionais separadas. O estudo militar das localidades deve estar direcionado a determinar se será, ou não, necessário empenhar tropas nas localidades. Historicamente, as ações e operações ofensivas são sempre difíceis em áreas urbanas. Entretanto, podem proporcionar vantagens às operações defensivas.

As condições meteorológicas exercem influência em todas as atividades executadas pelas forças empregadas em determinada operação. Seus efeitos são percebidos, com maior evidência, sobre o terreno, a visibilidade, a transitabilidade, as características dos cursos d'água, a permeabilidade dos solos e as condições aéreas. O que se pretende no estudo das condições meteorológicas pelas tropas de emprego terrestre, no processo de integração do estudo do terreno (PITCI), é verificar como estes fatores podem influenciar, positiva ou negativamente, no planejamento e na condução das operações terrestres. É preciso que essa integração materialize-se pela confecção de calcos (*layers*) e geração de mapas temáticos, que facilitam sua visualização.

Área de estudo

O trabalho foi desenvolvido tendo como área teste o Campo de Instrução de Formosa (CIF) do Exército Brasileiro, situado a leste do Distrito Federal (figura 1). O CIF está localizado na área nuclear do Bioma Cerrado e ocupa uma superfície de aproximadamente 1.170 km², entre os paralelos de 15° 30' S e 16° 03' S, e entre os meridianos 47° 23' W e 47° 05' W. A rede de drenagem compõe um padrão dendrítico de densidade média, com cursos de sinuosidade mista, que pertencem à Bacia do Rio São Francisco.

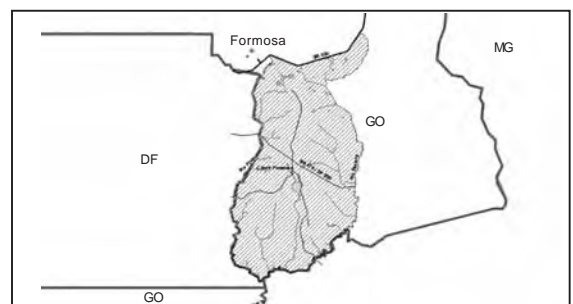


Figura 1 – Localização da área de estudo:
 Campo de Instrução de Formosa, GO.

No CIF, foram mapeadas unidades litológicas pertencentes ao Grupo Bambuí, compostas de rochas pelíticas (argilitos e arenitos) e carbonáticas (calcários), as quais deram origem a pequenas lagoas cársticas. Essas litologias, por terem sido afetadas por diversos ciclos erosivos, formam um relevo plano a levemente ondulado, com cotas em torno de 1.000m de altitude (PINTO, 1994), e com mínima presença de afloramentos rochosos. O comum é a presença de pavimentos detríticos areno-argilosos originados da intemperização e erosão dessas rochas, recobrando os solos.

Dominam nas áreas de relevo ondulado latossolos vermelhos e latossolos vermelho-amarelos, de horizonte A moderado, com alguns metros de espessura. Estes solos sofreram forte intemperismo por tempo prolongado e apresentam estruturação dos tipos granular ou grumosa. A variação textural se apresenta de argilosa a muito argilosa. Nas drenagens com matas de galeria ocorrem cambissolos, com horizonte A moderado e variação textural de média a argilosa e, nos campos de várzea e terrenos planos, os gleissolos.

Geomorfologicamente, pode-se considerar que o CIF encontra-se no chamado Compartimento de Chapada Intermediária, que se caracteriza por chapadas situadas em cotas acima de 800 metros, desenvolvidas sobre rochas pouco resistentes ao intemperismo e com coberturas espessas de latossolo. O fluxo de água superficial tende a ser laminar ou difuso, gerando erosões laminares, não havendo perda significativa de água por escoamento superficial.

O clima dominante enquadra-se no tipo Aw (Tropical de Savana), de acordo com a classificação de Köpenn. Predomina marcada alternância de estação seca e fresca (abril a setembro) e outra chuvosa e quente (outubro a maio). As médias pluviométricas altas estão distribuídas entre os

meses de novembro e janeiro. No período de estiagem, que compreende o intervalo que vai de maio a setembro, são registrados os maiores valores de evaporação. A precipitação média anual varia em torno de 1.600mm.

A fitopaisagem do CIF é caracterizada por extensas formações savânicas, interceptadas por matas ciliares e de galeria ao longo dos riachos. Estas formas savânicas não são homogêneas, havendo uma grande variação entre a quantidade de árvores e de herbáceas, formando um gradiente estrutural que vai do cerrado completamente aberto (campo limpo) ao cerradão, fisionomicamente florestal, com grande quantidade de árvores. As formas intermediárias são o campo sujo de cerrado, o campo cerrado e o cerrado *stricto sensu* (típico), de acordo com uma densidade crescente de árvores.

Materiais e métodos

O estudo foi realizado com dados obtidos de trabalhos de campo, de imagens multiespectrais de satélites, de cartas topográficas e de mapas temáticos prévios. Para o processamento desses dados foram usados os *softwares* ArcGis 9.1 e ENVI 4.2, ambos disponíveis no Laboratório de Sensoriamento Remoto e Análise Espacial do Instituto de Geociências da UnB. Pontos de controle com GPS foram coletados, em virtude da ausência de um número suficiente de pontos de referência para fins de georreferenciamento das imagens. Estes pontos GPS serviram também para averiguar a precisão do posicionamento espacial dos dados fornecidos pelo Centro de Imagens e Informações Geográficas do Exército (CIGEx), em formatos ArcGis.

A primeira etapa do trabalho consistiu na organização e estruturação da base de dados existente da área, na maioria já disponível em

formato *shape file*. Foram usados os seguintes *shape files* da base de dados do CIGEx: curvas de nível com equidistância de 10 metros, pontos cotados, rede de drenagem (rios permanentes, rios intermitentes, lagoas e áreas inundadas) e vias de transporte (rodovias com capacidade para 10t, rodovias pavimentadas, rodovias não-pavimentadas, rodovias de tráfego periódico, trilhas e arruamentos). Da base de dados do sistema Estadual de Estatística e de Informações Geográficas de Goiás (SIEG), obtiveram-se os mapas pedológico, geológico e geomorfológico. Após essa completa compilação dos dados, foi verificada a consistência dos arquivos digitais e feitas as edições necessárias para corrigir todos os erros de digitalização e, principalmente, da correção de direção do fluxo da rede de drenagem. Todos os arquivos de dados foram convertidos para a escala de trabalho 1:150.000 e atualizados com o uso de imagens de satélites. Essa escala presta-se ao nível tático, em escalões do tipo Unidade (Batalhão, Grupo ou Regimento). Esta etapa teve como objetivo visualizar espacialmente os dados sobre o terreno, a fim de determinar as possíveis inter-relações existentes.

A segunda etapa foi a elaboração, a partir de imagens de satélites, do mapa atualizado de cobertura de solo, onde a identificação das classes de vegetação é o mais importante. No PITCI, a escala de visualização dos dados dependerá do nível de decisão em que se trabalhará. Caso o Estudo de Situação esteja sendo realizado no nível estratégico, no escalão Grande Unidade (Exército de Campanha, Divisão de Exército ou Brigada), as escalas dos mapas que atenderão às necessidades não serão maiores que 1:500.000.

Uma grande vantagem do uso das imagens de satélites de sensoriamento remoto é a possibilidade de apresentação dos dados em múltiplas escalas, dado que o conceito de escala para

imagens de sensoriamento remoto está diretamente relacionado à resolução espacial do sensor. Nesse sentido é a resolução espacial que determina o intervalo de variações de escalas de visualização. No caso de imagens com resolução espacial de 30 a 20 metros, as escalas de trabalho poderão variar de 1:500.000 a 1:75.000. Para resoluções maiores, como de 10 metros, atinge-se facilmente a escala de 1:50.000 e até um pouco maiores. Como sensores com esses níveis de resolução podem apresentar certa sobreposição de escalas de visualização, a escolha de qual sensor a ser utilizado dependerá de uma série de fatores, tais como a facilidade de disponibilidade de certo tipo de imagem no país e custos da imagem.

No contexto da área tomada para exemplo, foram analisadas imagens do sensor ETM do satélite LANDSAT 7 e imagens do sensor HVR do satélite SPOT 5. O primeiro sensor gera imagens com resolução espacial de 30 metros, e o segundo, 10 metros. Ambos com possibilidade de visualização na escala 1:150.000, adotada nesse trabalho. Após uma análise das imagens desses dois sensores, em que se verificou não mostrarem grandes diferenças entre si, optou-se por trabalhar com a SPOT por ter uma resolução espacial melhor e a imagem apresentar-se com um melhor contraste das classes de cobertura do terreno.

A elaboração de mapas atualizados de Cobertura do Solo (com destaque à vegetação) pode ser realizada automaticamente por meio de um processamento de classificação de imagens que, para os fins do PITCI, pode tornar o processo menos dependente da interpretação pelo analista e ter um procedimento operacional mais automatizado e sistematizado, e mais rápido. A classificação de imagens exige apenas que o analista eleja as classes de interesse para fins de mapeamento e selecione na imagem áreas de amostragens representativas destas classes. O processamento

encarrega-se de identificar e mapear, em toda a área de estudo, todas as classes amostradas. Pensando em facilitar a escolha de áreas de amostragem para um analista que não tenha conhecimento de interpretação espectral de imagens, foi gerada uma imagem NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) da cena SPOT da área de estudo. O NDVI é uma técnica de processamento que estabelece um índice para realce das áreas vegetadas, como resposta à densidade da biomassa verde. A imagem NDVI, vista na figura 2, identifica, numa escala gradacional de níveis de cinza, a densidade de cobertura vegetal. Nesta imagem os tons de cinza mais claros representam as áreas com maior cobertura vegetal (ex: mata galeria), os tons de cinza médio representam áreas de média cobertura vegetal (ex: cerrado) e os tons escuros representam áreas sem cobertura vegetal. A imagem NDVI fornece ao analista, dessa maneira, uma imediata visão da intensidade da cobertura vegetal da área, que é um fator de extrema importância para se definir a trafegabilidade. A seleção de áreas de amostragem das outras classes (ex: água e solo exposto) foi obtida com composições coloridas RGB.



Figura 2 – Imagem NDVI do SPOT do CIF. Quanto mais claros os níveis de cinza, maior é a densidade de cobertura vegetal

Após essa etapa de definição de classes e seleção de áreas de amostragem, o passo seguinte é proceder à classificação da imagem. Há, contudo, inúmeras opções de qual ou quais imagens a serem classificadas: bandas originais, quais bandas, ou então imagens transformadas por processamentos prévios. Cabe ao analista a tomada desta decisão. Ainda pensando em se fazer o método o mais automatizado possível, a classificação para a elaboração do mapa de cobertura do solo foi realizada com todas as bandas da imagem SPOT processadas por Componentes Principais.

Principais Componentes é uma técnica estatística de transformação de imagens que objetiva gerar novas imagens de saída, tanto quanto for o número de bandas de entrada, a partir da contribuição linear de cada *pixel* observado nas diferentes bandas utilizadas. Tem como princípio gerar o que se denomina de imagens componentes, de tal forma que três primeiras componentes (figura 3) reúnem mais do que 95% de todas as informações contidas em todas as bandas originais. Entende-se, ainda, que a primeira componente pode ser vista como uma imagem preto-e-branco da cena colorida natural do terreno, à mesma semelhança que uma fotografia aérea preto-e-branco no visível retrata a imagem do terreno. Assim, ambas são imagens da intensidade da luminosidade (I). Portanto, a primeira componente se assemelha a um foto área, instrumento de uso rotineiro nas Forças Armadas.

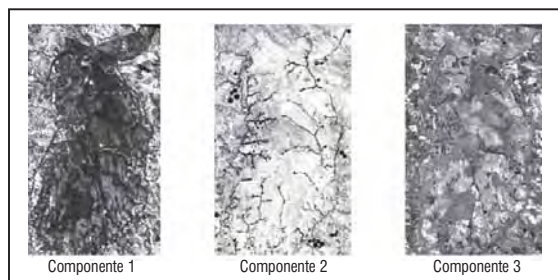


Figura 3 – Imagens Principais Componentes da imagem SPOT, do CIF

Optou-se pelo uso do algoritmo de classificação supervisionada Máxima Verossimilhança (MAXVER) para classificar o conjunto de imagens componentes principais. O método MAXVER é baseado em critérios de probabilidade para decidir a qual classe o *pixel* deva pertencer. Esta classificação assume que as estatísticas para cada classe em cada banda são normalmente distribuídas. A menos que seja selecionada uma probabilidade mínima, todos os *pixels* são classificados. Cada *pixel* assume o valor do *pixel* da classe que possui a mais alta probabilidade (RICHARDS, 1993).

Na classificação da imagem foram determinadas oito classes: mata ciliar, cerrado fechado (cerradão), cerrado típico (*stricto sensu*), campo cerrado, campo sujo de cerrado, campo limpo (cerrado aberto), além das áreas inundáveis e água.

Uma vez concluída a classificação da imagem, é necessário separar as oito classes em distintos arquivos, a fim de serem importadas para o *software* de geoprocessamento ArcGis. No

software de processamento de imagens ENVI isso é realizado usando a opção *segmentation image*, uma ferramenta de pós-classificação que permite separar as classes em arquivos individuais e exportá-los como arquivos vetoriais. As classes individualizadas e devidamente transformadas em vetores foram adicionadas na tabela de conteúdos do ArcGis para compor o mapa de cobertura vegetal da área de estudo (figura 4).

O mapa de cobertura vegetal foi submetido à análise, seguindo a metodologia do PITCI, e reclassificado em duas grandes classes: vegetação impeditiva e vegetação restritiva. As classes de maior densidade de vegetação, mata ciliar, cerradão e cerrado típico, foram grupadas na nova classe nomeada de vegetação impeditiva. As classes de menor densidade, campo cerrado e campo sujo, foram grupadas na nova classe vegetação nomeada de restritiva. O campo limpo foi considerado terreno adequado para qualquer tipo de tropa (tabela 2). Foram aproveitadas, ainda, mais duas classes resultantes da classificação supervisionada executada: a classe água e a classe áreas inundáveis. Para estas duas foram adotadas as terminologias hidrografia impeditiva e hidrografia restritiva, respectivamente.

Persistindo no objetivo de se chegar ao mapa de restrições ao movimento, foi gerado o mapa de declividade, a partir do MDE da área de estudo. Para tanto, foi gerada a TIN (*Triangulated Irregular Network*), de posse dos dados da rede de drenagem e dos dados hipsométricos – curvas de nível e pontos cotados. Esses dados foram processados como *mass points* e a hidrografia, como *hard breaklines*. A partir da TIN foi gerado o MDE (Modelo Digital de Elevação), após processamentos como *hillshade* e *viewshed* (constantes do ArcGis), na construção do arquivo GRID.

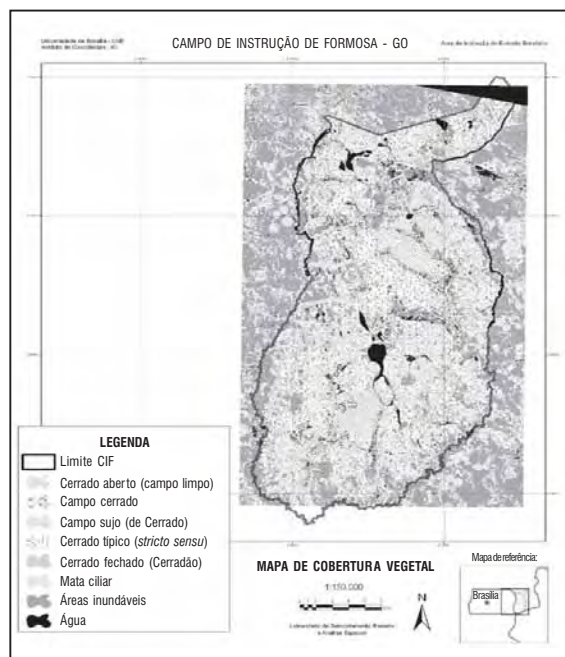


Figura 4 – Mapa de cobertura vegetal do CIF

Uma vez pronto o MDE, foi possível observar as feições do terreno em 3D e traçar o perfil topográfico com exagero vertical de 40X (figura 5).

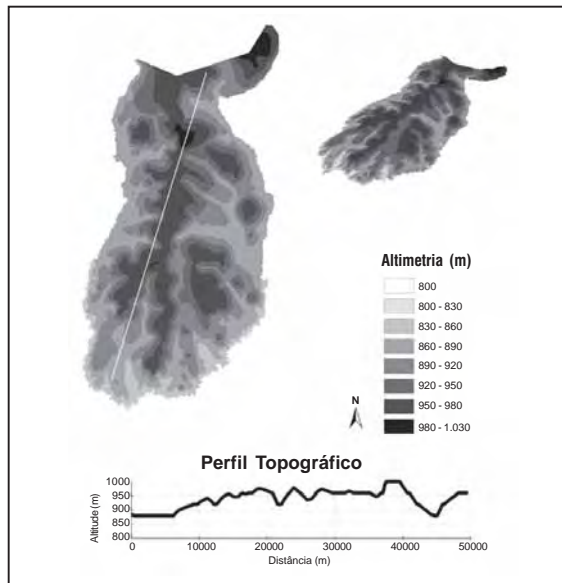


Figura 5 – Perfil do CIF gerada a partir do MDE

A partir do MDE gerou-se o mapa de declividade (figura 6), utilizando-se a extensão

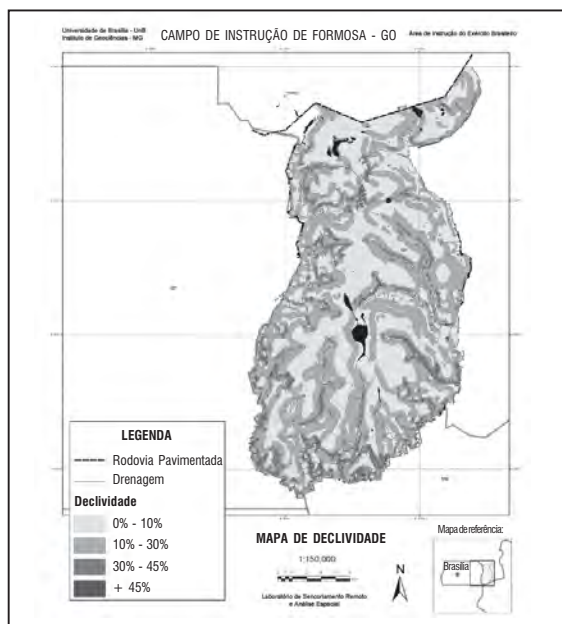


Figura 6 – Mapa de declividade do CIF

Spatial Analyst do ArcGis, mediante os comandos *surface analysis* e *slope*. A imagem resultante desta interpolação foi fatiada em quatro classes de declividades, definidas segundo os intervalos sugeridos por EME (1999): de 0% a 10%, 10% a 30%, 30% a 45% e mais de 45%. A escolha destas classes baseou-se, principalmente, nos intervalos utilizados na tabela 1, em função da declividade das encostas.

Resultados

O Mapa de Restrições ao Movimento (figura 7) pôde, enfim, ser criado, considerando as classes de vegetação impeditiva e restritiva, as classes de hidrografia impeditiva e restritiva e as classes de declividade das encostas, adequada, restritiva e impeditiva. No caso dos solos, que são medidos pelo PITCI pela sua capacidade de resistência, para a área de estudo em questão, tem-se em quase toda sua extensão os tipos latossolo vermelho e vermelho-amarelo, com textura variando de solo argiloso compacto ao argiloso com areia, segundo a classificação textural adotada pelo Exército, ou de textura muito argilosa a argilosa, segundo o SBCS, conforme pode ser observado na tabela 5. Sendo assim, a resistência mínima desses tipos de solo é superior à pressão máxima exercida pelas viaturas, apresentando-se adequado a todo tipo de tropa, quando se leva em consideração os valores da tabela 7.

Tabela 7 – Pressão das viaturas sobre o solo.
Fonte EME, 1999.

TIPO DE VIATURA	Viaturas leves	VBTP (M113)	VBC, CC LEOPARD	VBC, CC M60
PRESSÃO (Kg/cm ²)	0,3	0,5	0,6 – 0,7	0,7 – 0,8

Ao se analisar o mapa de declividade, percebe-se que, embora haja áreas muito restritivas para viaturas sobre rodas e restritivas para viaturas sobre lagartas (inclinação das encostas entre 30% e 45%, ou de 17° a 26°), a área de estudo apresenta, em sua maior parte, um terreno adequado para qualquer tropa (0% a 10%, 0° a 6°) ou, em algumas regiões, restritivo para viaturas sobre rodas e adequado para viaturas sobre lagartas.

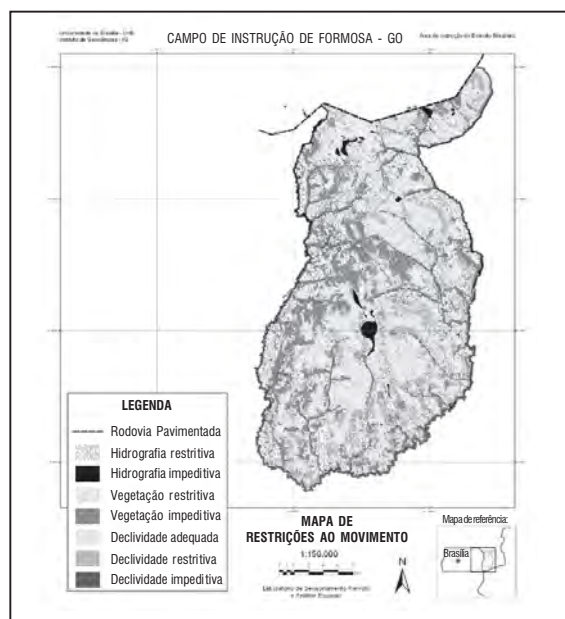


Figura 7 – Mapa de Restrições ao Movimento

Ao se analisar o mapa de vegetação, verifica-se que, em sua maior parte, a área de estudo tem um terreno variando de adequado ao restritivo, com regiões apresentando árvores espaçadas com diâmetros reduzidos (cerrado aberto, campo cerrado e campo sujo), que não interferem no emprego tropas a pé, mas que restringem o movimento de forças blindadas. Apenas nas regiões de matas ciliares e de galeria é que o terreno se tornaria impeditivo, com árvores que impedem o emprego de forças blindadas e dificultam o movimento de tropas a pé (cerrado típico e cerradão).

Ao se analisar a hidrografia, verifica-se que a área de estudo apresenta cursos d'água tanto restritivos quanto impeditivos. Quase a totalidade dos rios pode ser vadeada ou atravessada com PLVB (Ponte Lançada por Viatura Blindada) em vários locais. Entretanto, grande parte também possui regiões com margens verticais que impedem o movimento de carros-de-combate. Há ainda a Lagoa Grande, região impeditiva para qualquer tipo de tropa, pela sua dimensão, pela profundidade ou margens sem firmeza. As lagoas do Veado e do Caboclo são menores, mas também impeditivas para qualquer tipo de tropa.

Com relação às condições meteorológicas, teve-se de adotar mapas para efeitos didáticos, em uma escala não compatível com a área de estudo considerada. De qualquer forma, pôde-se verificar que os mapas mais adequados para integrarem o PITCI são os de climatologia de precipitação, pois possibilitam deduções de como se comportará o clima na região desejada em determinada época, pois já trazem um “histórico” do regime de chuvas ao longo do período considerado.

No trabalho em questão, sobrepondo-se o mapa de climatologia de precipitação do Brasil dos meses de janeiro/fevereiro/março ao mapa de restrições ao movimento, verificou-se que a área de estudo fica submetida a um rigoroso período de chuvas. Isto implica restringir o movimento de viaturas sobre rodas e sobre lagartas em, praticamente, todo o Campo de Instrução, por causa da textura argilosa dos solos constituintes do CIF, que diminuem a resistência à compressão. Ao se considerar o mapa de climatologia de precipitação dos meses de julho/agosto/setembro, verifica-se que as chuvas são, praticamente, inexistentes na região, o que possibilita condições de tráfego para qualquer tipo de tropa neste período.

No entanto, cabe salientar que a evolução dos dados meteorológicos deve ser acompanhada

e seus mapas sempre atualizados no Estudo de Situação de uma operação real, pois as variáveis climatológicas são diversas e inconstantes. Isto possibilitará ao decisor melhores condições para realizar seu planejamento.

Conclusão

De posse de todos os dados já citados, chegou-se ao Mapa de Restrições ao Movimento, produto final do PITCI. Este mapa permite que se verifiquem as faixas do terreno onde as forças terão mobilidade afetada e onde o movimento será facilitado.

Após a elaboração do Mapa de Restrições ao Movimento, a próxima fase no Estudo de Situação seria a confecção de um mapa com “Corredores de Mobilidade”. Um corredor de mobilidade é uma faixa do terreno, relativamente aberta, pelo qual uma tropa desdobrada poderá se deslocar. Esses corredores atravessam terrenos adequados, ocasionalmente passam por terrenos restritivos e evitam os terrenos impeditivos. Normalmente seguem a direção de estradas e trilhas.

Os corredores de mobilidade variam com o tipo, a natureza e a mobilidade de cada força. As tropas blindadas e mecanizadas, normalmente, requerem grandes áreas para se moverem. As tropas a pé sofrem menores restrições pela presença de obstáculos ou terreno difícil, sendo, inclusive, favorecidas por áreas que forneçam cobertas e abrigos contra fogos inimigos.

Como este trabalho não pretende definir tipos de tropas para ocuparem o terreno, o estudo se encerra com a elaboração do Mapa de Restrições ao Movimento.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Gabinete do Comandante do Exército, pelo apoio durante as pesquisas. Ao Centro de Imagens e Informações Geográficas do Exército (CIGEx), por disponibilizar a base de dados vetoriais do CIF. Ao Comando de Operações Terrestres (COTER), por fornecer o mosaico aerofotogramétrico da área de estudo. À empresa Imagem, pelo fornecimento da imagem SPOT.



Referências

- ANDRADE, L. A. *Metodologia para a confecção de mapas temáticos utilizando dados TM/LANDSAT*. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos, SP, 1985. 137p.
- CASAGRANDE, A. *Classification and identification of soils: Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 1948.
- BRASIL. – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SBCS*. 1 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1999. 412p.
- BRASIL. Estado-Maior do Exército (EME). Port. EME, de 06 Dez 99. Brasília, 1999. 152p.
- FORTES, R.M.; PASTORE, E. “Caracterização e Classificação de Solos”. 12º capítulo do livro *Geologia de Engenharia*, ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, p. 197-210, 1998.
- HOEPERS, G.; SANTOS, N.A.L. *O Geoprocessamento Aplicado ao Método de Estudo Militar do Terreno*. Monografia (Especialização em Geoprocessamento) – Laboratório de Sensoriamento Remoto, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília – UnB, Brasília: 2001.
- LUNARDI, O. A. *Simulação de operações militares de Comando e Controle em um Teatro de Operações implementado com tecnologia orientada a objetos*. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Instituto de Informática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 2003. 127p.
- PINTO, M.N. *Caracterização geomorfológica do Distrito Federal*. In: PINTO, M. Novaes. (org). Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas. 2ª ed. Brasília:1994, Ed UnB. p. 285-320.
- RICHARDS, J.A. *Remote sensing digital image analysis*. 2 ed. Springer-Verlag, Berlim: 1993. 281p.