

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

YOLHMER VIVAS TORREALBA

MAPA DE TRANSITABILIDADE PARA OPERAÇÕES TÁTICAS COM AUXÍLIO DE  
SIG E SISTEMA ESPECIALISTA.



CURITIBA  
2015

YOLHMER VIVAS TORREALBA

MAPA DE TRANSITABILIDADE PARA OPERAÇÕES TÁTICAS COM AUXÍLIO DE  
SIG E SISTEMA ESPECIALISTA.

Dissertação apresentada como requisito parcial à  
obtenção do grau de Mestre em Ciências  
Geodésicas, no curso de Pós-Graduação em  
Ciências Geodésicas, Setor Ciências da Terra,  
Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Profa. Dra. Luciene Stamato Delazari

CURITIBA  
2015

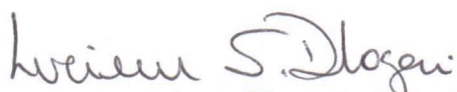
## TERMO DE APROVAÇÃO

YOLHMER ELEWIS VIVAS TORREALBA

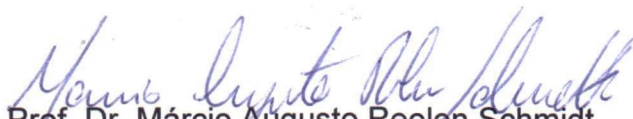
"MAPA DE TRANSITABILIDADE PARA OPERAÇÕES TÁTICAS EM AUXÍLIO DE SIG E SISTEMA ESPECIALISTA"

Dissertação nº 285 aprovada como requisito parcial do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Orientadora:



Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Luciene Stamato Delazari  
Departamento de Geomática, UFPR



Prof. Dr. Márcio Augusto Reolon Schmidt  
Universidade Federal de Uberlândia, UFU



Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Silvana Philippi Camboim  
Departamento de Geomática, UFPR

Curitiba, 28 de julho de 2015.

A minha amada esposa Mônica  
e meus filhos, minha maior  
riqueza.

DEDICO.

À Deus Padre Jeová, por iluminar o meu caminho.

À minha família, Mônica, César e Angelina, pelo amor e apoio, sempre presentes em todos os momentos.

Aos meus pais, Eleutério e Yolanda, pelo amor, carinho e apoio dispendidos durante toda a minha vida.

À minha orientadora Profa. Dra. Luciene Stamato Delazari, pelo apoio, orientação e confiança.

Aos demais professores que com seus conhecimentos apoiaram a minha formação de pesquisador.

Ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas (CPGCG) da Universidade Federal de Paraná (UFPR) pela acolhida e por acreditar na minha capacidade.

Ao Exército da Venezuela pela oportunidade oferecida para fazer estudos de mestrado na República Federativa do Brasil.

Aos colegas de curso, Rhaíssa Viana, Péricles Picanço, Joao Vitor, pelo apoio e amizade.

Ao amigo, Luís Miguel Márquez pela colaboração sempre prestativa no trabalho.

Aos meus amigos Márcio, Dieter, César, Dany, Celmira, e Rita pelo apoio espiritual oportuno durante a elaboração de meu trabalho.

AGRADEÇO.

**LISTA DE FIGURAS**

FIGURA 1 -	CORREDORES DE MOBILIDADE.....	27
FIGURA 2 -	SISTEMAS ESPECIALISTAS E SISTEMAS BASEADOS EM CONHECIMENTO.....	35
FIGURA 3 -	ESTRUTURA DE UM SISTEMA ESPECIALISTA .....	36
FIGURA 4 -	FLUXOGRAMA DA ARQUITETURA DE UM SISTEMA ESPECIALISTA Expert SINTA.....	40
FIGURA 5 -	REGRA DE PRODUÇÃO DE SECAJU.....	42
FIGURA 6 -	ÁREA DE ESTUDO .....	48
FIGURA 7 -	FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA.....	49
FIGURA 8 -	ORTOFOTOCARTAS DA ÁREA DE ESTUDO.....	50
FIGURA 9 -	MOSAICO DA ÁREA DE ESTUDO.....	50
FIGURA 10 -	RASTER DE DECLIVIDADE.....	54
FIGURA 11 -	REGRA 1 DE PRODUÇÃO DO SE.....	61
FIGURA 12 -	REGRA 26 DE PRODUÇÃO DO SE.....	61
FIGURA 13 -	CONSULTA DE PESO DA DECLIVIDADE .....	64
FIGURA 14 -	CONSULTA DE PESO DA VEGETAÇÃO.....	64
FIGURA 15 -	CONSULTA DE PESO DE PRECIPITAÇÕES .....	65
FIGURA 16 -	CONSULTA DE PESO DE NEBULOSIDADE.....	65
FIGURA 17 -	RESULTADO DA CONSULTA .....	65

**LISTA DE TABELAS**

TABELA 1 - INFLUÊNCIA DAS DECLIVIDADES NO MOVIMENTO DE VIATURAS .....	22
TABELA 2 - RESTRIÇÕES IMPOSTAS PELA VEGETAÇÃO .....	23
TABELA 3 - CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS POR SEU USO MILITAR ...	24
TABELA 4 - RESTRIÇÕES IMPOSTAS PELA HIDROGRAFIA .....	25
TABELA 5 - FASES DA LUA .....	30
TABELA 6 - HIERARQUIA DAS VARIÁVEIS ESPACIAIS .....	52
TABELA 7 - DEFINIÇÃO DE PESOS PARA VARIÁVEIS ESPACIAIS .....	56
TABELA 8 - SUMA DOS PESOS DE VARIÁVEIS ESPACIAIS .....	57
TABELA 9 - HIERARQUIA E PESOS DAS VARIÁVEIS ESPACIAIS .....	59
TABELA 10 - TRANSITABILIDADE SEGUNDO VARIÁVEIS ESPACIAIS E PRECIPITAÇÕES.....	60
TABELA 11 - TRANSITABILIDADE SEGUNDO VARIÁVEIS ESPACIAIS E NEBULOSIDADE .....	60

## RESUMO

A procura da informação espacial é essencial no planejamento das operações militares. O Estado Maior (EM) do Exército da Venezuela baseia o planejamento da manobra em atividades de inteligência do ambiente operacional. A análise da área de operações é composta pelo estudo das características do terreno, das condições meteorológicas e do inimigo. Neste trabalho são abordadas as duas primeiras: terreno e condições meteorológicas, tendo como área de estudo a parte norte do município Araucária, situado no Estado de Paraná. Na pesquisa propõe-se um sistema de suporte à decisão baseado em regras para otimizar a análise da área de operações desenvolvido pelo EM no planejamento das ações táticas de combate, em quanto a identificar com novas ferramentas técnicas regiões onde as forças terão mobilidade afetada e onde o movimento será facilitado. A construção de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) permitiu a modelagem espacial do ambiente operacional através de integração de dados geográficos (PITCI) da área de operações. A construção de um Sistema Especialista (SE) com o shell Expert SINTA permitiu modelar as condições meteorológicas de precipitações e nebulosidade que podem afetar a transitabilidade de viaturas no terreno. Essas ferramentas de avanço tecnológico visam auxiliar a tomada de decisão do comandante. A metodologia adotada foi desenvolvida através da análises e modelagem do SIG, e implementação do SE. Como principal resultado, obteve-se a confecção do Mapa de Restrições ao Movimento.

### **Palavras-chave**

Análise Espacial, Processo de Integração Terreno, Condições Meteorológicas e Inimigo (PITCI), Sistema de Informação Geográfica (SIG), Sistema Especialista (SE).

## ABSTRACT

A military operation requires geospatial information. The Venezuelan Army Military Staff (MS) uses geospatial information for planning the activities of intelligence within the operational environment. The Military Staff designs strategies of analysis for operations based on the terrain characteristics, the weather conditions as well the enemy information. Therefore, we have designed this research aiming to propose a support decision system based on specific rules for military operations. The designed system approaches two of the variables we listed before, supporting the decision making process: the weather conditions and the terrain characteristics. We have considered these characteristics because they are those whose changes affect drastically the mobility of troops. We have chosen a study area — a northern field inside the municipality of Araucaria, Paraná, Brazil — to test the system processing. The construction of a Geographic Information System (GIS) allowed the spatial modeling of the operational environment through integration of geographic data from the area of operations, which could support the mobility decision of troops while they are moving through unknown fields. The construction of an Expert System (ES) with the shell Expert SINTA allowed modeling the weather of rainfall and cloudiness that may affect the transitivity of vehicles on terrain. Therefore, as an effective result we have designed what we have called “Movement Restrictions Map”. This map might assist commander’s decision as well as support soldiers who are moving themselves on unknown terrains.

### **Keywords**

Spatial Analysis, Integration Process Terrain, Weather and Enemy, Geographic Information System (GIS), Expert System (ES).

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
1.1 PROBLEMA E HIPÓTESE DE SOLUÇÃO.....	11
1.2 JUSTIFICATIVA .....	12
1.3 DEFINIÇÕES DOS OBJETIVOS.....	13
1.3.1 Objetivo Geral.....	13
1.3.2. Objetivos Específicos.....	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1. AMBIENTE OPERACIONAL.....	15
2.1.1. Espaço Geográfico .....	15
2.1.2. Estado Maior (EM) do Exército Venezuelano.....	17
2.2. PROCESSO DE INTEGRAÇÃO TERRENO, CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS E INIMIGO (PITCI) .....	18
2.2.1. Aspectos Gerais do Terreno .....	21
2.2.2. Confecção do mapa de Restrições ao Movimento .....	26
2.2.3. Identificação dos corredores de mobilidade e das vias de acesso .....	26
2.2.4. Análise do terreno considerando os aspectos táticos.....	28
2.2.5. Análise das condições meteorológicas .....	28
2.3. INTELIGENCIA ARTIFICIAL (IA).....	31
2.3.1 Sistemas Especialistas (SE) .....	33
3. METODOLOGIA .....	45
3.1. MATERIAIS E MÉTODOS.....	46
3.2. IDENTIFICAÇÃO DAS NECESSIDADES DO USUÁRIO .....	46
3.3. BASE CARTOGRÁFICA .....	47
3.4. ETAPAS DA METODOLOGIA.....	49
3.4.1. Organização e estruturação da base de dados.....	49
3.4.2. Geração de um mapa de restrições ao movimento no SIG considerando somente variáveis espaciais .....	51
3.4.3. Sistema Especialista: Desenvolvimento de regras com variáveis simbólicas. ...	57
4. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	62
4.1. RESULTADOS DO SIG.....	62
4.2. RESULTADOS DO SE .....	63
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	66

REFERÊNCIAS .....	68
APÊNDICE 1 .....	72
APÊNDICE 2 .....	73
APÊNDICE 3 .....	74
APÊNDICE 4 .....	75

## 1. INTRODUÇÃO

Na carreira militar é muito importante que os oficiais de comando tenham conhecimento sobre o terreno. A informação geográfica da área de conflito é chave na apreciação e resolução de um problema bélico e pode-se afirmar que o terreno é o general no campo de batalha, porque é quem coloca as condições para manobrar.

O ambiente operacional é analisado pelo Estado Maior (EM) equipe composta por oficiais dentro de uma organização militar, com funções específicas para coletar informação da área envolvida na operação, com ênfases em levantar as características fisiográficas da superfície do terreno. Essa informação é essencial na definição das regiões favoráveis e restritivas ao movimento de viaturas.

O conceito de transitabilidade, segundo Venezuela (1992b)<sup>1</sup>, é a mobilidade permitida pela superfície do terreno, sendo influenciado pelas condições meteorológicas e por suas características geográficas. A transitabilidade é um dos fatores de decisão mais importantes a ser conhecida pelo comandante de um batalhão, devido à sua influência direta na velocidade da operação.

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). O exército brasileiro utiliza para tal o Processo de Integração, Condições Meteorológicas e Inimigo (PITCI).

Baseado nessa ideia, no ano 2012 foi inserida na doutrina militar venezuelana a tarefa ocupacional de geografia militar, a fim de que oficiais especialistas realizem funções técnicas para coletar informação do ambiente operacional, através das ferramentas modernas que oferecem os avanços na geociência.

---

<sup>1</sup> VENEZUELA (1992b) Manual de Geografia Militar.

A Diretoria de Geografia e Cartografia da Força Armada (Digeca) é uma instituição encarregada de fazer estudos geográficos e produtos cartográficos necessários para o planejamento das operações militares. Atualmente, tem a tarefa de assessorar aos oficiais do EM nesta matéria, devido que por enquanto, nenhum oficial do EM dos batalhões do Exército da Venezuela é especialista em geografia militar.

A necessidade de profissionais, ou de sistemas, que na ausência destes auxiliem para levantar informação do ambiente operacional de maneira rápida e adequada se faz imperativa para o EM. O desenvolvimento de ferramentas que tentam imitar a inteligência humana na resolução de problemas como estes tem crescido a cada dia.

A inteligência artificial (IA) logicamente não contextualizada no ser humano, mas nas máquinas, e que desde o princípio adquiriu vários significados segundo os diversos estudiosos, está crescendo em quase todas as áreas. Segundo Lopes (1989) a Inteligência Artificial permite desenvolver programas na área de tecnologia do conhecimento para auxiliar na tomada de decisões.

Dentre as diversas aplicações da IA: sistemas especialistas, processamento de linguagem natural, educação por computador, reconhecimento de imagem, reconhecimento de voz, reconhecimento de padrões, robótica, bases de dados inteligentes, jogos, será feita a apresentação de Sistemas Especialistas (SE).

SE pode ser entendido como uma aplicação da IA que contém o conhecimento de um especialista, sintetizado em um programa de computador e destinado a solucionar problemas específicos, segundo uma base de conhecimento restrita a área.

Tomando em consideração a necessidade do EM de contar com informação georreferenciada, cita-se a Medeiros et. al., (1995) segundo o qual um Sistema de Informação Geográfica (SIG) pode ser compreendido como um sistema de informação designado para trabalhar com dados referenciados, cuja característica principal é focalizar o relacionamento de determinado fenômeno da realidade com sua localização espacial.

Através desta pesquisa se propõe modelar e implementar uma análise espacial através de um SIG e de um SE para auxiliar a tomada de decisão do comandante de batalhão em quanto à transitabilidade de viaturas na área de operações. Deste modo, será possível contribuir no processo metodológico de análise da área de operações – executado pelo EM - com o emprego das ferramentas computacionais que oferecem os avanços tecnológicos, para avaliar as características geográficas do terreno e as condições meteorológicas.

O SIG realizará a modelagem espacial do ambiente operacional e permitirá realizar a integração dos dados geográficos, para substituir o uso e manuseio do mapa de situação<sup>2</sup> desenhado a mão. O produto será um mapa de restrições ao movimento de regiões favoráveis e restritas que permitirá verificar a transitabilidade de viaturas no terreno. O SE permitirá realizar consultas mediante regras de produção (se, então) dos elementos meteorológicos que influenciam durante a operação militar.

## **1.1 PROBLEMA E HIPÓTESE DE SOLUÇÃO**

O problema que esta pesquisa se propõe a responder é como analisar de forma integrada, dados geográficos em formato digital relativos à transitabilidade do terreno, para otimizar o planejamento das manobras da operação a nível de batalhão.

Estabelecendo regras de produção baseadas no conhecimento do especialista juntamente com uso de um SIG, será possível obter resultados sobre a transitabilidade do terreno que irá auxiliar no planejamento de ações táticas de combate.

---

<sup>2</sup> Mapa de Situação é a representação gráfica da situação do terreno sobre o papel vegetal em um determinado momento. Ele vai nos ajudar a entender o ambiente operacional rapidamente e de forma esquemática. Caracteriza-se por permitir a leitura fácil das elevações, a hidrografia, a vegetação e rotas de transporte.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A falta de especialistas em geografia militar no EM dos batalhões e a necessidade de contar com oficiais capacitados na área da geociência para gerar conhecimento no ambiente operacional, motivam na busca de alternativas próprias para que soluções mais acertadas sejam possíveis. O SIG e o SE se justificam como uma ferramenta útil de avanço tecnológico para a solução deste problema.

O autor sendo membro ativo do Exército da Venezuela, pode afirmar que nos batalhões não usam SIG ou SE para analisar o ambiente operacional. Atualmente, as operações militares são planejadas e analisadas pelos oficiais de comando – oficiais não especialistas em geografia militar - sobre mapas em papel e sobre mapas de situação, onde se representam as possíveis manobras e onde os pontos e áreas de interesse são assinalados manualmente.

A presente proposta não dispensa o uso do mapa em papel, mas, nesta nova Era da Informação e do Conhecimento, a tecnologia desempenha um rol decisivo para a obtenção de uma superioridade que permita atingir o domínio do espectro das operações militares.

Para Oliveira (2004, p. 02) ao longo dos séculos a tecnologia tem influenciado o setor militar, no qual se enquadra a Segurança e Defesa dos Estados. Com base na tecnologia, os Estados têm reequipado as suas Forças Armadas, reajustando doutrinas, implementando alterações ao nível organizacional, – como está acontecendo na doutrina militar venezuelana - na preparação e do treino das forças, para cumprirem eficazmente as missões que lhe são confiadas, tanto em tempos de paz, como em tempo de crise ou guerra.

Vieira (2013) implementou um SE como apoio à tomada de decisão na área de transporte rodoviário de cargas, através da ferramenta de *shell* JESS. A base de conhecimentos foi baseada em regras de produção (se, então) para auxiliar a decisão de realização de viagens, levando em consideração as condições de (1) origem e destino da viagem, (2) locais de carga e descarga, (3) a rota e (4) o cliente. As regras trabalham com a verificação lógica dos valores informados pelo

usuário e através de cruzamento de dados, e chegam a um diagnóstico positivo ou negativo de realização da viagem.

Soares de Oliveira et. al., (2008) construíram um SIG para realizar a modelagem espacial do ambiente onde uma tropa pode ser empregada, utilizando-se de diversos dados geográficos e temáticos, (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 hipotética. Como produto final foi obtido um mapa de restrições ao movimento que permitiu identificar os faixas de terreno – corredores - onde as forças terão mobilidade afetada e onde o movimento será facilitado.

Esta pesquisa oferece uma área de aplicação em SIG e SE, para participar no processo de análise da área de operações que executa o EM durante o planejamento de operações. O SIG permitirá a modelagem espacial do ambiente operacional, analisando-se diversos dados geográficos com a finalidade de gerar um mapa de restrições ao movimento, onde se identificará a mobilidade afetada e permitida de viaturas – corredores de mobilidade -. O SE permitirá construir uma base de conhecimentos baseada em regras de produção (se, então) considerando a influência das condições meteorológicas nas operações.

## **1.3 DEFINIÇÕES DOS OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivo Geral**

Propor o uso de um sistema baseado em regras para servir de apoio na tomada de decisão sobre a transitabilidade do terreno na área de operações, a partir de informações geográficas.

### **1.3.2. Objetivos Específicos**

1. Determinar as variáveis espaciais no SIG para gerar o mapa de restrições ao movimento;
2. Definir as regras do SE para cada variável das condições meteorológicas a ser considerada na consulta;
3. Modelar e implementar uma análise espacial através de um SIG;
4. Modelar e implementar a aplicação do SE considerando o conhecimento por fatos e regras;
5. Analisar os resultados.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. AMBIENTE OPERACIONAL

#### 2.1.1. Espaço Geográfico

Para melhor compreensão ao leitor é preciso definir conceitos que permitam classificar aspectos do ambiente operacional sob o ponto de vista da inteligência militar. Segundo o Boletim<sup>3</sup> do Exército do Brasil, BE (2011) define a seguir o espaço geográfico onde acontece a ação militar:

- a. Área de Influência - zona de ação:
  - 1) É a área geográfica do terreno, compreendendo a parte terrestre e o espaço aéreo correspondente, designada pelo escalão militar superior, para uma Força. Correspondente ao espaço necessário para a manobra e seu respectivo apoio de fogo e onde deve desenrolar o cumprimento da missão.
  - 2) A Força que recebe uma zona de ação, não tem obrigação de atuar em toda ela, mas deverá exercer o comando e o controle, além, de assegurar o apoio logístico. Nenhuma outra Força poderá penetrar ou exercer alguma ação sobre a mesma, sem autorização e coordenação prévias.
  - 3) Na sua zona de ação, o comandante deverá ser capaz de influir diretamente no desenvolvimento das ações ou operações, mediante o emprego dos meios postos a sua disposição.
  - 4) Sob o ponto de vista de Inteligência, o comandante é o responsável pela produção de conhecimento com seus próprios meios dentro desta área.

---

<sup>3</sup> Separata ao Boletim do Exército Brasileiro N° 1/2011 "Diretriz de Trafegabilidade para Viaturas sobre rodas e sobre Lagartas".

b. Área de Interesse:

- 1) É o espaço geográfico que se entende além da zona de ação, constituída por áreas adjacentes, tanto à frente, como nos flancos e retaguarda, onde os fatores e acontecimentos que nela se produzam possam repercutir no resultado ou afetar as ações ou operações atuais realizadas neste espaço territorial.
- 2) Como essa área excede a zona de ação de uma Força, a informação necessária será obtida por solicitação ao escalão superior e aos elementos de manobra vizinhos, podendo-se coordenar com estes mesmos escalões o emprego de órgãos de inteligência de busca próprios.
- 3) A área de interesse, normalmente, é analisada com menor profundidade que a zona de ação, porque os fatores ou acontecimentos nela produzidos repercutirão com menor intensidade as ações da tropa.

c. Área de Operações:

- 1) É a área de estudo para efeito desta pesquisa, esta área inclui a zona de ação e a área de interesse. Representa o ambiente operacional que o comandante deve “ver” para formar um quadro claro dos acontecimentos que afetarão as ações ou operações.
- 2) Nesse contexto, o acompanhamento da situação na área de operações constitui-se em um valor essencial, pois, não se pode entender o desenvolvimento das operações ou ações, em um dado momento, como um fato isolado em uma área isolada. Cada comandante, em seu escalão, está participando de uma batalha contínua e única que se estende além de sua zona de ação, onde podem, em um determinado tempo e espaço, influir outras forças inimigas. Portanto, nenhum comandante deve limitar-se, apenas, a sua zona de ação, más também deve considerar a área de operações como um todo.
- 3) É por isso que o esforço do oficial de inteligência do EM deve estar orientado para a obtenção de dados em toda a área de operações,

com a profundidade que cada zona de ação ou área de interesse requeira, de acordo com a situação existente.

### 2.1.2. Estado Maior (EM) do Exército Venezuelano

Um batalhão é uma organização militar que realiza operações táticas no cenário da guerra e tem um Estado Maior (EM) responsável por conhecer e entender a missão a cumprir, analisar as características do espaço geográfico, das condições meteorológicas, das condições da tropa e do inimigo. Com conhecimento obtido nessa informação, deverá assessorar ao comandante na melhor forma de ação a ser desenvolvida na operação.

Responsabilidades e funções do EM segundo VENEZUELA (1992a)<sup>4</sup>:

- 1) Oficial de Pessoal: encarregado por estimar o número de efetivos (tropa e oficiais) a participar na operação;
- 2) **Oficial de Inteligência:** - nosso usuário nesta pesquisa - encarregado por levantar informação do espaço geográfico do terreno, além, da informação sobre inimigo e das condições meteorológicas;
- 3) Oficial de Operações: responsável por estudar a situação sobre o mapa e recomendar a melhor tática a empregar na operação, considerando as vantagens e desvantagens do ambiente operacional.
- 4) Oficial de Logística: encarregado por provisionar todos os meios e apoio necessário antes, durante e depois da operação, garantindo o trem logístico<sup>5</sup> em toda a área de operações;
- 5) Oficial de Assuntos Cívicos: encarregado por levantar informação da situação política e econômica da área de operações, ressaltando aquela que possa influenciar positiva ou negativamente durante o combate.

---

<sup>4</sup> VENEZUELA (1992a). Manual de Comando e Estado Maior utilizado na Escola de Guerra do Exército da Venezuela.

<sup>5</sup> Trem Logístico segundo o Glossário de Termos para uso no Exército de Brasil é o conjunto de elementos de serviço das unidades, destinado a proporcionar apoio logístico.

Considerando que existe uma situação bélica a ser desenvolvida pelo batalhão, o comandante é informado através de um documento escrito chamado ordem de operações. Essa ordem ativa imediatamente uma metodologia de planejamento que vai garantir a integração dos fatores do combate – terreno, condições meteorológicas e inimigo -, muito semelhante ao processo de análise e integração que realiza o exército brasileiro – PITCI -.

## **2.2. PROCESSO DE INTEGRAÇÃO TERRENO, CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS E INIMIGO (PITCI)**

É um método de estudo do EME (Estado Maior do Exército brasileiro) que permite, por meio da análise integrada do terreno, das condições meteorológicas e do inimigo, a determinação das possibilidades que tem o inimigo. Favorecendo a montagem das manobras, decisão e conduta das operações (BE, 2011).

É um processo baseado, essencialmente, em representações gráficas - mapa de situação – de aspectos do terreno, das condições meteorológicas e do inimigo que sobrepostas, permitirão uma dedução segura, de como condicionam ou poderiam condicionar as operações militares.

Segundo BE (2011) o estudo da missão desencadeia o início do PITCI, que é um processo cíclico constituído de 04 etapas:

**1ª Fase – Determinação, análise e avaliação da área de operações:** Esta fase é a básica para a análise dos demais fatores que constituem o processo. Nessa ocasião, serão estabelecidos os limites da área de operações onde a força cumprirá a missão e irá procurar os conhecimentos de inteligência necessários.

Da análise da área de operações, o oficial de inteligência buscará identificar as ameaças, que irão interferir no cumprimento da missão. Para isso, poderá utilizar os próprios meios de busca – inteligência – e se for o caso, solicitar o apoio do escalão superior e dos elementos vizinhos. Tudo isso é desenvolvido com o objetivo de fornecer ao comandante um quadro elucidativo da área de operações.

## **2ª Fase – Análise do terreno e das condições meteorológicas:**

### a) Análise do terreno

- (1) O grau de detalhamento dessa análise do terreno dependerá do escalão considerado. O importante, nessa fase, é a determinação dos aspectos gerais e militares do terreno que interessam às operações.
- (2) Nessa fase, deverão ser complementados ou atualizados os conhecimentos existentes sobre o terreno. Portanto, durante essa etapa do planejamento, cresce de importância a coordenação com apoio de engenharia.
- (3) A análise do terreno será, posteriormente, integrada à análise das condições meteorológicas.

### b) Análise das condições meteorológicas

- (1) Para a obtenção de dados relativos a esse fator, será de suma importância contar com apoio de equipes meteorológicas.
- (2) A análise das condições meteorológicas irá permitir a determinação de seus efeitos sobre o terreno e sobre o espaço aéreo, e dessa maneira, a forma de como serão afetados os nossos próprios meios de combate e os do inimigo.

**3ª Fase – Avaliação do inimigo:** Durante esta fase, deve-se examinar a doutrina do inimigo, suas táticas, suas possibilidades e limitações, seu armamento e equipamento.

**4ª Fase – Integração:** nesta última fase do processo, que é a mais importante, realiza-se a integração do conjunto das fases anteriores, reunindo, sob a forma gráfica, – mapa de situação - todas as informações analisadas e avaliadas sobre o terreno, condições meteorológicas e inimigo dentro da área de operações.

Nesta fase, serão elaborados mapas de situação que permitirão ao oficial de inteligência concluir parcialmente sobre a situação existente, difundir as informações e dar início a um novo levantamento e/ou atualização dos dados, realimentando o processo. O oficial de inteligência é responsável por todo o PITCI, por isso, é o usuário alvo desta pesquisa.

Segundo BE (2011) na 2ª fase do PITCI a análise do terreno e das condições meteorológicas tem por finalidade determinar os efeitos que estas produzem sobre as operações. Ela é feita com base nos aspectos gerais e militares do terreno e nas condições meteorológicas. Portanto, devem ser analisados de forma simultânea e integrada.

Os aspectos gerais, naturais e artificiais, e os aspectos militares do terreno, a serem considerados, são selecionados de acordo com o escalão e a natureza da tropa – veículo a usar -, além do tipo de operação.

A análise do terreno e condições meteorológicas inicia-se a partir de uma base de dados existente e desenvolve-se nas seguintes etapas:

Etapa 1: identificação dos aspectos a conhecer – levantamento dos dados que faltam para complementar e atualizar os conhecimentos necessários do terreno para um determinado escalão.

Etapa 2: elaboração dos mapas de situação dos aspectos gerais do terreno, obtidos nos diferentes estudos topográficos - relevo, vegetação, natureza do solo, hidrografia, obras de arte, localidades e vias de transporte -.

Considere-se, para fins de confecção do mapa de situação dos aspectos gerais, três tipos de terreno quanto à possibilidade de movimento:

- a) Terreno impeditivo:** é aquele desfavorável ao movimento de tropa de determinada natureza; sua utilização necessitará de forte apoio de engenharia para possibilitar uma mobilidade restrita.
- b) Terreno restritivo:** É aquele que limita o movimento de uma tropa e a velocidade de progressão será substancialmente reduzida se não houver o apoio necessário de engenharia.
- c) Terreno adequado:** é aquele que não apresenta limitações ao movimento de uma tropa e, normalmente, não é necessário desenvolver qualquer atividade para melhorar a mobilidade.

Etapa 3: integração do terreno com as condições meteorológicas. Nesta etapa, os mapas de situação confeccionados anteriormente serão sobrepostos e suas informações integradas, permitindo uma visão clara de todos os fatores

que facilitam, dificultam ou impedem a mobilidade. A finalidade do mapa de situação resultante – mapa de restrições ao movimento – é identificar as áreas e setores onde uma força terá seu movimento facilitado ou dificultado.

Etapa 4: identificação dos corredores de mobilidade e das vias de acesso (VA). Depois da elaboração do mapa de restrições ao movimento, serão levantados os corredores de mobilidade e as vias de acesso, tanto para as nossas forças como para as do inimigo.

Etapa 5: análise do terreno orientada principalmente para as vias de acesso, consiste de uma avaliação dos aspectos militares do ambiente operacional para determinar seus efeitos nas operações militares. Serão considerados os seguintes fatores: observação e campo de tiro, cobertas e abrigos, obstáculos, acidentes capitais e outros fatores relevantes dentro da situação específica. A análise do terreno não é o produto final do processo. É o meio para a determinação do ‘onde’ e do ‘por onde’ podem ser melhor exploradas as oportunidades que o terreno oferece e do ‘como’ ele afeta as possíveis linhas de ação – manobra - do inimigo.

Etapa 6: efeitos do terreno sobre as operações militares. Nessa etapa, deverá ser visualizado o movimento em cada VA. A reação do movimento com todos os aspectos militares e gerais, já estudados, permitirá a determinação dos efeitos do terreno sobre as operações de nossas forças e as do inimigo.

### **2.2.1. Aspectos Gerais do Terreno**

A seguir são descritas as características geográficas necessárias a levantar para obter informação importante do espaço geográfico:

**Relevo**: a configuração da superfície do terreno- elevações e depressões- do ponto de vista militar é constituída por terrenos planos, ondulados e montanhosos. Sua representação nas cartas militares se realiza mediante

curvas de nível, de tal forma que a leitura destas permite obter uma ideia da forma do terreno.

A declividade do terreno, complementada pelas informações obtidas, está diretamente relacionada com a mobilidade das tropas. A declividade deve ser verificada em termos da direção de movimento.

TABELA 1: Influência das declividades no movimento das viaturas

INFLUÊNCIA DAS DECLIVIDADES NO MOVIMENTO DOS VEÍCULOS DE COMBATE		
Inclinação	Grau	Nível de dificuldade
Suave	< 10°	Sem dificuldade para nenhum tipo de viatura.
Média	De 11° a 15°	Difícil para viaturas de rodas e fácil para viaturas de lagartas.
Pronunciada	De 16° a 25°	Muito difícil para viaturas de rodas e fácil para viaturas de lagartas.
Elevada	De 26° a 45°	Muito difícil ou impossível para viaturas de lagartas.

Fonte: CURSO DE GEOGRAFIA MILITAR DITADO PELA DIGECAFA, 2003.

**Vegetação:** a vegetação pode influenciar de diversas maneiras o emprego da força, está diretamente ligada à sua densidade; quanto mais densa, mais restritiva.

Segundo Soares de Oliveira et. al., (2008) 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.

TABELA 2: Restrições impostas pela vegetação.

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

Fonte: EME, 1999.

**Solo:** a análise deste aspecto do ponto de vista militar tem dois objetivos, o primeiro relacionado com as construções de engenharia e o segundo objetivo em quanto à transitabilidade, que é o estudo desta pesquisa. As fontes de informações para avaliar as condições do solo são muitas e variadas, mas, indubitavelmente, a mais importante é o reconhecimento do terreno.

A análise da consistência e da composição do solo determinará o tipo de transitabilidade. A tabela seguinte mostra valores que podem ser utilizados como primeira aproximação nas análises que se realizarem. Tendo em vista que são muito raras as ocasiões em que os solos se apresentam puros, em cada caso haverá que aproximá-los à realidade existente.

TABELA 3: Classificação dos solos por seu uso militar.

Nº	Tipo	Composição e localização	Transitabilidade
1	Pedregoso	Mistura de pedras, cascalhos, pedras roliças, com areia e argilas.  Zonas montanhosas, cumes, inclinações, taludes.	-Inconveniente para viaturas.
2	Arenoso	Pedras roliças, cascalhos, areia com até 3% de argila.  Úmidos adquirem certa coesão. Molhados se tornam fluidos.  Muito disseminados em vales alagadiços.	-Medianamente Conveniente para viaturas.  -Seco e sem grama, difícil de transitar com rodas, úmidos até 7% permitem um trânsito intenso.
3	Calcário	Mistura de partículas arenosas e argilosas (de 10 a 30%).  Maior coesão e plasticidade que os sub arenosos.  Distribuição similar aos arenosos.	-Conveniente em estado seco.  - Molhado é difícil para viaturas sobre rodas.
4	Argiloso	Mistura de partículas arenosas finas e argilosas.  Maior plasticidade que os calcários.  Distribuição em quase todas as planícies, sendo muito comum.	-Seco é Conveniente para viaturas sobre rodas e sobre lagartas.  -Molhado é Medianamente Conveniente para viaturas sobre lagartas.  -Molhado é Inconveniente para viaturas sobre rodas.
5	Pantanoso	Pântanos e bosques.	-Seco Conveniente para viaturas sobre lagartas.  -Úmido é inconveniente para viaturas sobre rodas.

Fonte: DIGECAFA, 2003. Adaptado pelo autor.

**Hidrografia:** a análise deste aspecto deve abranger todos os cursos e corpos de 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 (SOARES DE OLIVEIRA et. al.,2008).

A seguir apresenta-se uma tabela com dados que podem ser obtidos por meio de levantamento técnico de engenharia militar:

TABELA 4: Restrições impostas pela hidrografia.

CLASSIFICAÇÃO DO TERRENO	HIDROGRAFIA
<b>Impeditivo</b>	- Cursos de água, lagos, pântanos, zonas alagadiças, que não possam ser vadeados ou atravessados com apoio de pontes lançadas 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.
<b>Restritivo</b>	- Cursos de água, lagos, áreas alagadiças, que possam ser vadeados ou atravessados com apoio de engenharia em vários locais. - A velocidade da correnteza deve ser pequena (<1,5 m/s) e a profundidade deve ser inferior a 1,20 m.
<b>Adequado</b>	Cursos de água, lagos, que possam ser vadeados em qualquer lugar o que tenham largura < 1,5 m. a profundidade < 0,6 m e a velocidade da correnteza não deve impedir a travessia.

Fonte: EME, 1999.

**Obras de arte:** a importância militar desse aspecto está na sua relação com a transitabilidade, já que, de acordo com as características particulares de cada um deles, facilitará ou dificultará o movimento. Assim, por exemplo, uma ponte permitirá evitar um obstáculo, dando continuidade ao movimento; em compensação, os canais ou valas poderão restringir o movimento.

No caso de ponte, deve-se ressaltar a capacidade, largura, comprimento e material de construção, em caso de túneis, a largura e comprimento.

**Localidades:** para fins de transitabilidade, uma área urbanizada é, em princípio, um terreno impeditivo. As localidades são, na maioria das vezes, obstáculos que restringem e canalizam o movimento. As operações ofensivas em áreas urbanas são difíceis de serem conduzidas, por outro lado, as localidades, normalmente apresentam uma vantagem importante para o defensor. Se for necessário o emprego de forças nas localidades, o estudo deverá ser detalhado, a fim de servir de base para análise dos aspectos militares do terreno.

### **2.2.2. Confecção do mapa de Restrições ao Movimento**

Uma vez realizadas todas as análises anteriores, realiza-se a integração da informação levantada, reunindo sob a forma gráfica, todas as informações analisadas e avaliadas sobre o terreno e as condições meteorológicas dentro da área de operações.

Segundo Boletim EB (2011) para a confecção deste mapa, todos os obstáculos naturais serão avaliados e codificados, e o terreno classificado em impeditivo, restritivo e adequado. Normalmente, o terreno impeditivo é representado em vermelho (ou hachurado cruzado), o restritivo, em amarelo (ou hachurado simples), e as áreas não assinaladas por nenhuma cor representam o terreno adequado, isto é, regiões onde uma tropa de determinada natureza tem liberdade de movimento.

### **2.2.3. Identificação dos corredores de mobilidade e das vias de acesso**

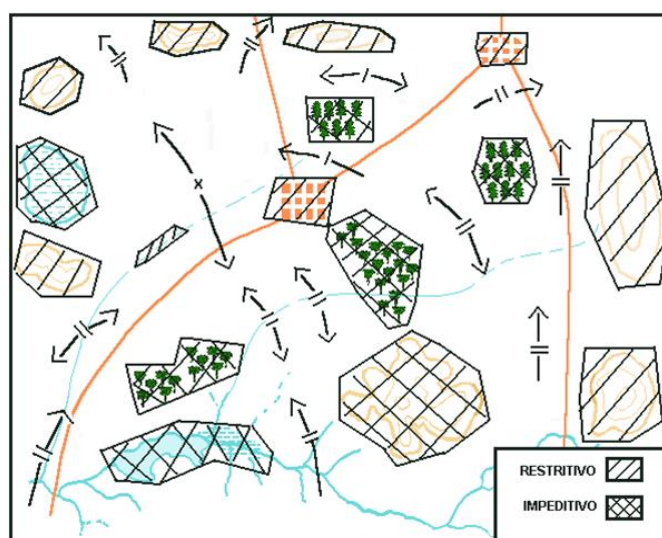
O mapa de restrições ao movimento permite que o oficial de inteligência verifique as faixas de terreno onde as forças terão a mobilidade afetada e onde o movimento facilitado.

O corredor de mobilidade é uma faixa do terreno, relativamente aberta, através da qual um elemento de manobra desdobrado poderá se deslocar. Os corredores de mobilidade atravessam terrenos adequados, ocasionalmente,

passam por terrenos restritivos e evitam os terrenos impeditivos. Normalmente, seguem a direção de estradas e trilhas.

Os corredores podem ser representados por setas indicando a direção, além de indicar a abreviatura do respectivo escalão. Os corredores podem ser favoráveis ao movimento em ambas direções, para facilitar o entendimento, pode ser usada a cor vermelha para indicar os corredores do inimigo e azul ou preta para tropas amigas.

FIGURA 1. CORREDORES DE MOBILIDADE



Fonte: [http://hablemosdetactica.blogspot.com.br/2013\\_03\\_01\\_archive.html](http://hablemosdetactica.blogspot.com.br/2013_03_01_archive.html)

As vias de Acesso (VA) são determinadas com base nos corredores de mobilidade e são identificadas tanto para forças amigas como para do inimigo. As VA são determinadas para unidades um escalão abaixo daquele que realiza o planejamento.

Normalmente, as VA são determinadas combinando dois ou mais corredores de mobilidade, desde que estes estejam suficientemente próximos. As VA podem ser representadas por setas, englobando seus corredores de mobilidade constituintes (BE, 2011).

#### 2.2.4. Análise do terreno considerando os aspectos táticos

Uma vez realizado o levantamento das características gerais do espaço geográfico e das condições meteorológicas e já tendo sido identificados os corredores de mobilidade, pode-se iniciar a análise do terreno com base nos aspectos táticos.

Nesta etapa, cada via de acesso é analisada detalhadamente, tanto de ponto de vista do inimigo como das tropas amigas. Os aspectos táticos a serem considerados na análise do terreno incluem a observação e campo de tiro, cobertas e abrigos, obstáculos e pontos críticos.

- 1) Observação e Campo de Tiro: determina a presença de relevo com elevações e densidade da vegetação, para ser utilizada em benefício do ocultamento das tropas amigas e para obter a melhor ângulo de tiro para as armas.
- 2) Cobertas e Abrigo: identifica áreas construídas, hidrografia, vegetação e as formas do terreno que oferece proteção do fogo e da observação do inimigo.
- 3) Obstáculos: determina a existência de obstáculos naturais e artificiais como pântanos, rios, refinarias, pontes, etc. que possam parar, retardar ou impedir o avanço inimigo.
- 4) Pontos Críticos: é qualquer acidente ou zona do terreno cujo controle permite vantagens de nossa força sobre o inimigo.

#### 2.2.5. Análise das condições meteorológicas

A análise das condições meteorológicas irá permitir a determinação de seus efeitos na operação. Para a obtenção de dados relativos a esse fator, a Força Armada da Venezuela conta com o Serviço de Meteorologia da Aviação<sup>6</sup> (SERMETAVIA), que tem as equipes e pessoal especializado para estudar e fornecer esses dados.

---

<sup>6</sup> Serviço de Meteorologia da Aviação é uma instituição da Força Armada da Venezuela, responsável de fornecer dados de avaliação e estadística do clima e das condições meteorológicas do território nacional.

Nesta fase requer-se a integração de aspectos do terreno com dados relativos aos elementos meteorológicos, gerando mapas que permitem uma visualização da área de operações.

Segundo o Boletim EB (2011) as condições meteorológicas exercem influência em todas as atividades executadas pelas forças empregadas em determinada operação. Seus efeitos são percebidos, com maior evidência, sobre a visibilidade, a transitabilidade, as características dos cursos de água e sobre as condições aéreas.

O mesmo autor, afirma que a mobilidade é um dos aspectos que mais interessam às operações e é, também, aquele que mais evidencia a profunda influência que as condições meteorológicas podem exercer sobre o terreno e, em consequência, sobre a transitabilidade.

A partir do conhecimento do tipo de clima é necessário atualizar as informações com base nas previsões meteorológicas a curto, médio e longo prazos. Permitindo com maior precisão, determinar os efeitos dos elementos meteorológicos que mais influenciam nas operações militares: o crepúsculo, as fases da lua, as precipitações, a direção e velocidade do vento, a nebulosidade e a temperatura (BE, 2011).

**Crepúsculo:** denomina-se crepúsculo a passagem da noite para o dia matutino e a passagem do dia para a noite. Existe o crepúsculo astronômico – a luminosidade oferecida é tão reduzida que, para fins militares, pode ser considerado como obscuridade. Crepúsculo náutico – proporciona luminosidade limitada para a realização dos movimentos terrestres, a visibilidade fica até a um máximo de 400 m. Crepúsculo civil – proporciona luminosidade suficiente para as atividades diurnas normais, pelo que permite operações militares de qualquer tipo.

**Fases da Lua:** as condições de visibilidade noturna são determinadas, principalmente, pelas fases da lua. A visibilidade é mínima na fase de lua nova, aumenta na fase de quarto-crescente, alcança o máximo na lua cheia e decresce na quarto-minguante.

Segundo o Boletim EB (2011) a luminosidade deve ser analisada em função do nascer e do pôr do sol e das fases da lua, que exercerão influência nas condições de observação, de sigilo, de emprego dos meios aéreos e de coordenação e controle das tropas.

TABELA 5: Fases da Lua

FASE DA LUA	PERÍODO MÉDIO DE LUAR	LUMINOSIDADE
Cheia	Das 18:00 h às 06:00 h	Luar na maior parte da noite
Quarto-minguante	Das 00:00 h às 12:00 h	Luar na segunda parte da noite
Nova	Das 06:00 h às 18:00 h	Noite sem luar
Quarto-crescente	Das 12:00 h às 24:00 h	Luar na primeira parte da noite

Fonte: BOLETIM EB, 2011.

**Precipitações:** a ação das precipitações dá motivo em especial a deslizamentos, desmoronamentos, crescimento de correntes de água e têm grande influência sobre o estado do terreno, a observação, as tropas e o funcionamento de alguns armamentos, materiais e equipamentos.

Conforme o tipo de terreno, a transitabilidade poderá ser afetada. A chuva pode reduzir drasticamente a persistência dos agentes químicos, a eficácia das minas e de armas da artilharia. A eficácia do pessoal também será reduzida pelas precipitações, ao produzir desconforto e aumentar a fadiga.

**Ventos:** a direção e a velocidade refletem-se particularmente na guerra química e no emprego de fumo. Cuidado especial deve ser tomado com tais elementos bélicos antes de serem lançados, a fim de evitar que uma mudança na direção das correntes atmosféricas não inverta os resultados desejados. Assim mesmo, a velocidade dos ventos produzirá efeitos sobre as tropas aerotransportadas.

Os ventos influenciam também sobre o emprego da artilharia. Quando a ação é exercida lateralmente, são provocadas mudanças de direção, se os ventos sopram a favor ou contra o sentido do tiro. Assim, eles afetarão de modo positivo ou negativo o alcance, respectivamente.

**Nebulosidade:** é uma situação decorrente da maior ou menor existência da formação de nuvens, neblina e névoa. Apresenta aspectos negativos e positivos bem definidos. Entre os primeiros se destacam a limitação de observação e a dificuldade para a navegação tanto de unidades navais como aéreas. Quanto aos aspectos positivos, incluem-se a facilidade para a surpresa e a operação dos serviços de retaguarda pelo mascaramento que proporciona.

**Temperatura:** seu efeito é altamente significativo, particularmente para o pessoal e pode provocar um aumento na dependência do apoio logístico. Uma temperatura regularmente elevada gera esgotamento físico, torna o organismo propício a distintas doenças, provoca superaquecimento nos motores de viaturas, exige roupas suaves, intensifica a combustão da pólvora, etc.

Temperaturas baixas entorpecem e tornam pesados os movimentos, exigem roupas e equipamentos especiais, aumentam o consumo de combustíveis, tendem a reduzir o alcance das armas de fogo devido à maior densidade do ar, etc. Diferenças violentas de temperatura (oscilações), situação não comum na Venezuela, são capazes de gerar obstáculos, de modo que as operações podem chegar a ser interrompidas.

### **2.3. INTELIGENCIA ARTIFICIAL (IA)**

Historicamente, os primeiros estudos sobre a Inteligência Artificial (IA) surgiram na década de 40, marcada pela Segunda Guerra Mundial. Depois deste período o conceito de IA foi além do âmbito militar, sendo implantado em indústrias, universidades e tendo diversas aplicações (Vieira, 2013).

A Inteligência Artificial constitui-se em um conjunto de técnicas de programação para resolver determinados tipos de problemas em informática. Ela procura imitar, através dos programas que comandam estas máquinas, as formas de resolução de problemas do mesmo modo que o homem o faz (TAFNER, et al., 1996, p. 17).

Os dicionários técnicos de computação definem IA como sendo: “Aptidão ou capacidade de um dispositivo para desempenhar funções que são normalmente associadas à inteligência humana, tais como raciocínio, aprendizagem e auto aperfeiçoamento”. Entende-se que, diante desse conceito a IA, numa visão mais ampla e fragmentada, não se limitaria a uma ou duas técnicas, mas se estenderá a um conjunto de  $n$  técnicas, desde que, desempenhe funções que são normalmente associadas à inteligência humana (TAFNER, et al., 1996, p. 19).

Atualmente, a IA é empregada nas mais diversas áreas como na construção de jogos, reconhecimento de padrões (voz, imagens, verificação digital), e na robótica, funcionando com componentes mecânicos automatizados, controlados manualmente ou automaticamente.

Segundo Negnevitsky (2005) a Inteligência Artificial como ciência foi criada por três gerações de cientistas, e a seguir ressalta-se uma importante contribuição nesta área.

O primeiro trabalho reconhecido no campo da IA foi apresentado por Warren McCulloch e Walter Pitts em 1943. McCulloch estudou filosofia e medicina na Universidade de Colúmbia dos Estados Unidos e foi o diretor do laboratório de pesquisa no departamento de psiquiatria da Universidade de Illinois. Sua pesquisa no sistema nervoso central resultou na primeira contribuição para a IA.

Segundo Russell e Norving (2004) Turing merece crédito por projetar um teste que permanece relevante depois de 50 anos. Ainda assim, os pesquisadores da IA têm dedicado pouco esforço à aprovação no teste de Turing, acreditando que é mais importante estudar os princípios básicos da inteligência do que reproduzir um exemplar.

O quadro de resolução de problemas que havia surgido durante a primeira década (1969-1979) de pesquisas em IA foi o de um mecanismo de busca de uso geral que procurava reunir passos elementares de raciocínio para encontrar soluções completas. Tais abordagens foram chamadas métodos fracos porque, embora gerais, não podiam ter aumento de escala para instâncias de problemas grandes ou difíceis. A alternativa para métodos fracos é usar um conhecimento mais amplo e específico de domínio que permita passos de raciocínio maiores e que possam tratar com mais facilidade casos que ocorrem tipicamente em especialidades estritas (RUSSELL E NORVING, 2004, p. 23).

Com o avanço das pesquisas em IA, foram desenvolvidas técnicas para a manipulação de uma maior quantidade de conhecimento, houve progressos em tarefas de jogos e de teoremas e novas tarefas puderam ser experimentadas.

Segundo Mendes (1997) a expressão IA está associada, geralmente, ao desenvolvimento de sistemas especialistas. Estes sistemas baseados em conhecimentos, construídos principalmente com regras que reproduzem o conhecimento do perito, são utilizados para solucionar determinados problemas em domínios específicos. A área médica, desde o início das pesquisas, tem sido uma das áreas mais beneficiadas pelos sistemas especialistas.

### **2.3.1 Sistemas Especialistas (SE)**

Sistemas Especialistas (SE) e baseados em conhecimentos são frutos da aplicação de engenharia do conhecimento, uma das três subespecialidades do extenso domínio da IA. As outras duas incluem robótica e consulta em linguagem natural. Segundo analogia de J. Kaplan, da *Tecknowledge Inc.*, “inteligência artificial é engenharia de conhecimento explicada pela matemática”.

Concordando com Genaro (1987) os SE constituem atualmente uma das áreas economicamente mais interessantes de aplicações da IA. Aplica técnicas de IA e conhecimento em problemas específicos de um dado domínio para simular a atuação de peritos humanos. A eficácia destes sistemas depende diretamente de sua quantidade de conhecimento. Nenhum método genérico poderoso foi encontrado para criar ambiente inteligente sem o suficiente conhecimento para raciocinar sobre ele. Todavia, alguns métodos simples de inferência têm alcançado resultados impressionantes quando aplicados a uma adequada base de conhecimentos.

Segundo Genaro (1987) os SE são frequentemente empregados como um auxiliar inteligente ou consultor para usuários humanos. Podem ter usos na resolução de problemas de rotina, liberando os peritos para problemas não usuais. Eles podem também levar conhecimento especializado a localizações onde os peritos não estão disponíveis ou torná-las acessíveis quando os serviços especializados sejam muitos dispendiosos. Algumas organizações veem SE como uma maneira de coletar e preservar a “memória institucional” garantindo-

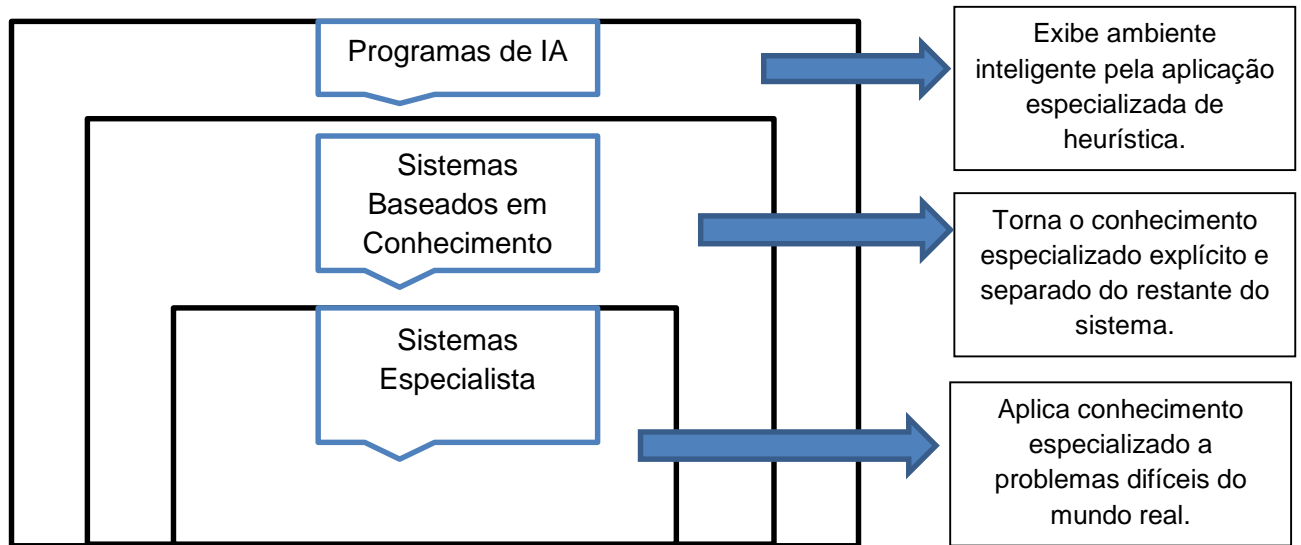
a contra a rotatividade dos especialistas humanos que podem se retirar das organizações. Adoecer ou mesmo falecer.

Diferente dos programas convencionais, os SE podem resolver problemas que exigem julgamentos do mesmo tipo que as pessoas se utilizam em seus trabalhos diários. Alguns destes sistemas – aliás como alguns sistemas tradicionais – fornecem respostas em termos de porcentagem e certeza, propagando dentro do programa graus de confiança associados a diversas informações. Alguns sistemas têm capacidade de dar explicações, que dizem como as respostas foram encontradas, sem o que em muito séria diminuída a credibilidade que os usuários neles depositam (GENARO, 1987).

Para Genaro (1987) desde as pioneiras aplicações comerciais, muito esforço foi despendido para o aumento da velocidade dos sistemas especialistas fornecerem respostas. Atualmente, com o aumento da familiaridade dos métodos de desenvolver este tipo de sistema e progressos de *software* e *hardware*, o tempo de resposta já está bem menor. Eles requerem investimento significativo para desenvolvimento e manutenção, mas que pode ser baixo se comparado com o custo de localização e contratação de peritos ou de treinamento e desenvolvimento de outras pessoas, o que pode levar anos para ganharem a necessária experiência.

Em suas capacidades, projetos e formas de operação, sistemas especialistas e baseados em conhecimento diferem profundamente dos sistemas convencionais. Provavelmente, as maiores diferenças residam na habilidade dos primeiros simularem raciocínio humano, inferirem e fazerem julgamentos, frequentemente com informações incompletas: enquanto que os últimos efetuam tarefas puramente mecânicas e processam dados, ainda que em alta velocidade (GENARO, 1987).

FIGURA 2. SISTEMAS ESPECIALISTAS E SISTEMAS BASEADOS EM CONHECIMENTO



Fonte: Genaro, 1897.

Para Genaro (1987, p.3) sistemas especialistas e baseados em conhecimento diferem levemente um do outro. O desenvolvimento de um típico SE se inicia com um engenheiro de conhecimento que exaustivamente entrevista uma reconhecida autoridade em um campo particular e codifica a perícia obtida em regras e fatos. Depois de representado simbolicamente, o conhecimento extraído é transportado para um computador que eletronicamente repete análises peritas e estratégias de solução de problemas.

Um procedimento similar caracteriza o desenvolvimento de sistemas com base em conhecimento. Contudo, estes sistemas derivam seu particular conhecimento de outras fontes e incorporam tópicos de assuntos que não requerem aptidão ou educação especiais, como aqueles encontrados em livros ou manuais (GENARO, 1987).

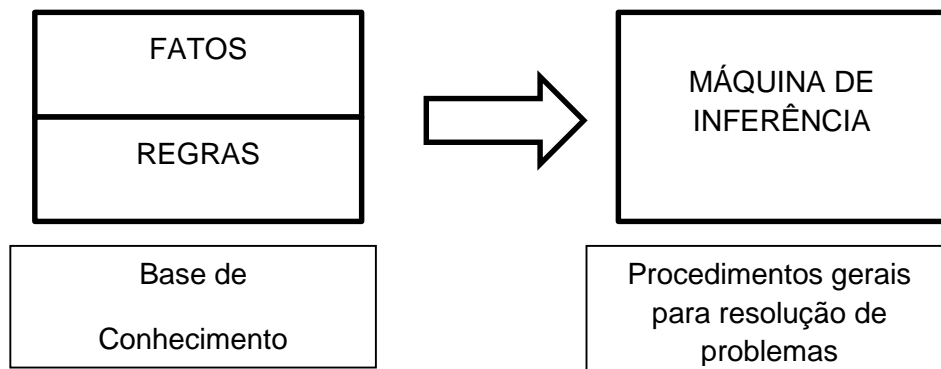
O conhecimento do domínio do problema referente a um SE é organizado separadamente de outros tipos de conhecimento do sistema, como os procedimentos de resolução de problemas ou de interação com o usuário. Esta coleção de conhecimento especializado é chamada base de conhecimento, e os procedimentos gerais de solução de problemas, de máquina de inferência. Um

programa com conhecimento organizado desta forma chama-se sistema baseado em conhecimento.

A figura 3 indica que virtualmente todos os sistemas especialistas são sistemas baseados em conhecimento, não sendo o inverso, necessariamente verdadeiro. Um programa de IA para jogo da velha não pode ser considerado um SE, ainda que possua o conhecimento especializado separado do resto do programa.

A base de conhecimento de um SE contém fatos – dados - ou regras -fatos condicionais -, ou outra representação, que usa tais fatos como base para tomada de decisão. A máquina de inferência decide como aplicar as regras e em que ordem, a fim de deduzir novos conhecimentos.

FIGURA 3. ESTRUTURA DE UM SISTEMA ESPECIALISTA



Fonte: Genaro, 1987.

Estando o conhecimento especializado separado, torna-se fácil para o engenheiro de conhecimento projetar procedimentos para manipulá-lo. O SE deve possuir não só o conhecimento apropriado como utilizá-lo efetivamente de maneira perita em alguma tarefa. Para alcançar esta perícia, um SE deve possuir uma base de conhecimento contendo porções de conhecimento de alto nível sobre um campo especializado, e uma máquina de inferência contendo conhecimento sobre como tornar seu uso efetivo.

De acordo com Genaro (1987) sistemas especialistas e baseados em conhecimento possuem, como é óbvio, muitos traços comuns. Ambos necessitam de dois principais componentes de *software*: uma base de conhecimento, que consiste de uma extensa coleção de informações e conhecimentos sobre uma disciplina ou tópico selecionado; e um processador de inferência, que manipula o conteúdo daquela base para produzir conclusões ou julgamentos.

Em teoria, o programa para SE ou baseados em conhecimentos pode ser escrito efetivamente em praticamente qualquer linguagem. Nesta pesquisa será utilizada uma máquina de inferência brasileira como ferramenta computacional.

### **2.3.1.1 Shells de Sistemas Especialistas**

Segundo Rich e Knight (1994, p.634) inicialmente, cada sistema especialista era criado a partir do nada, em geral em LISP. Mas, depois de vários sistemas terem sido desenvolvidos, ficou claro que esses sistemas tinham muito em comum. Em particular, devido ao fato de os sistemas serem construídos como um conjunto de representações declarativas (em sua maioria, regras) combinadas com um interpretador dessas representações, era possível separar o interpretador do conhecimento específico do domínio da aplicação e assim criar um sistema que podia ser usado para elaborar novos sistemas especialistas através da adição de novos conhecimentos, correspondentes ao novo domínio do problema. Os interpretadores resultantes são chamados de *shells*. Um exemplo influente de shell é o EMYCIN (de Empty MYCIN – MYCIM vazio).

#### **2.3.1.1.1 Expert SINTA**

Para o desenvolvimento do sistema especialista optou-se pelo *Shell* Expert SINTA 1.1 do grupo SINTA (Sistemas Inteligentes Aplicados) do Laboratório de Inteligência Artificial (LIA) da Universidade Federal do Ceará em Fortaleza (1995-1998), por utilizar um modelo de representação do conhecimento baseado em fatos e regras e por simplificar o trabalho de implementação, através do uso

de uma máquina de inferência, da construção automática de telas e menus. O *Shell Expert SINTA* foi desenvolvido em linguagem Delphi, é gratuito e pode ser obtido no site <http://www.dct.ufms.br/~mzanusso/IA.htm>

Segundo LIA a arquitetura mais comum de sistemas especialistas é a que envolve regras de produção (*production rules*). Essas regras são simplesmente um conjunto de condições no estilo “SE – ENTÃO”, com a possibilidade de inclusão de conectivos lógicos, relacionando os atributos no escopo do conhecimento e o uso de probabilidades.

Um sistema de bom tamanho tem em torno de centena de regras (considerando aqueles que utilizam regras). Visando uma maior viabilidade econômica na implementação de um SE, e considerando-se que diversos sistemas compartilham uma máquina de inferência e outras características comuns de ambiente, foram criadas ferramentas, *shells*, aptas a realizar muito do trabalho necessário para transpor um SE para um computador.

Essas ferramentas permitem que o criador do sistema se preocupe somente com a representação do conhecimento do especialista, deixando para a *shell* a tarefa de interpretar o conhecimento representado e executá-lo em uma máquina, além de permitir depurações e explicações de como o computador chegou àquela (s) conclusão (ões). A principal função de uma *shell* é simplificar ao máximo o trabalho de implementação de um SE e permitir seu uso por qualquer pessoa sem conhecimento de informática (LIA, 1996).

Segundo LIA (1996) o Expert SINTA é uma ferramenta computacional que utiliza técnicas de IA para geração automática de SE. Algumas de suas características que podem ser citadas: interface gráfica, fatores de confiança, ferramentas de depuração e possibilidade de incluir ajudas on-line para cada base.

Esta ferramenta utiliza um modelo de representação do conhecimento baseado em regras de produção e probabilidades, tendo como objetivo principal simplificar o trabalho de implementação de SE através do uso de uma máquina de inferência compartilhada, da construção automática de telas e menus, do

tratamento probabilístico das regras de produção e da utilização de explicações sensíveis ao contexto da base de conhecimento modelada.

Um SE baseado em tal tipo de modelo é bastante útil em problemas de classificação. O usuário responde a uma sequência de menus, e o sistema encarregar-se-á de fornecer respostas que se encaixem no quadro apontado pelo usuário. Como exemplos, tem-se sistemas de diagnósticos médicos e configuração de redes de computadores.

Entre outras características inerentes ao Expert SINTA, tem-se a utilização do encadeamento para atrás (*backward chaining*). O objetivo do Expert SINTA é simplificar ao máximo as etapas de criação de um SE completo, para tanto, já oferece uma máquina de inferência básica, fundamentada no encadeamento *backward chaining*.

O encadeamento para atrás destaca-se em problemas nos quais há um grande número de conclusões que podem ser atingidas, mas o número de meios pelos quais elas podem ser alcançadas não é grande - um sistema de regras de alto grau de *fan out* -, e em problemas nos quais não se pode reunir um número aceitável de fatos antes de iniciar-se a busca por respostas.

O encadeamento para atrás também é mais intuitivo para o desenvolvedor, pois é fundamentada na recursão, um meio elegante e racional de programação, para onde a própria programação em lógica se direcionou. Em nenhum momento, porém, deixa-se de reconhecer que o encadeamento para frente (*foreward chaining*) possui vantagens em determinadas ocasiões (LIA, 1996).

A seguir um exemplo de encadeamento para trás, para “decidir se devo ou não ir à praia amanhã”.

#### **REGRA 1**

SE            amanhã pode chover = Não  
 E            tenho dinheiro suficiente = Sim  
 E            tenho tempo suficiente = Sim  
 ENTÃO    devo ir à praia = Sim

**REGRA 2**

SE amanhã pode chover = Sim

OU tenho dinheiro suficiente = Não

OU tenho tempo suficiente = Não

ENTÃO devo ir à praia = Não

**REGRA 3**

SE o serviço de meteorologia disse que vai chover amanhã = Sim

ENTÃO amanhã pode chover = Não

**REGRA 4**

SE não vou sair hoje = Sim

E nenhuma emergência ocorrer = Sim

ENTÃO tenho dinheiro suficiente = Sim

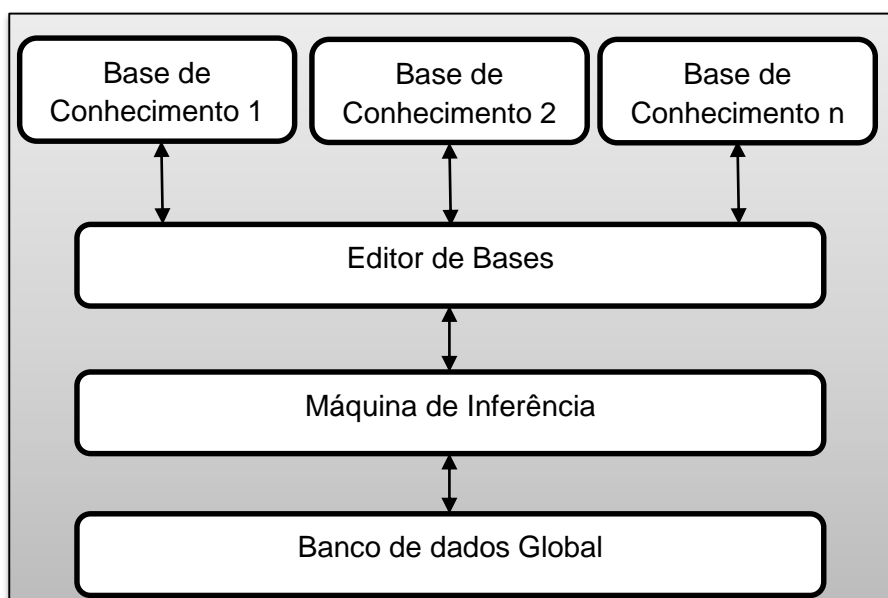
**REGRA 5**

SE minha namorada ligar = Sim

ENTÃO tenho tempo suficiente = Não

Obs: Note que as regras acima já estão na sintaxe de regras aceita pelo Expert SINTA, o que demonstra a sua facilidade de entendimento.

FIGURA 4. FLUXOGRAMA DA ARQUITETURA DE UM SE Expert SINTA.



Fonte: Manual do usuário Expert SINTA de LIA.

## 1. Arquitetura de um sistema especialista Expert SINTA

- a) Base de Conhecimentos: representa a informação - fatos e regras - que um especialista utiliza, representada computacionalmente;
- b) Editor de Bases: é o meio pelo qual a *shell* permite a implementação das bases desejadas;
- c) Máquina de Inferência: é a parte do SE responsável pelas deduções sobre a base de conhecimentos;
- d) Banco de Dados Global: são as evidências apontadas pelo usuário do SE durante uma consulta.

## 2. Utilização das Regras de Produção

As regras de produção são populares por possuírem as seguintes vantagens:

- a) Modularidade: cada regra, por si mesma, pode ser considerada como uma peça de conhecimento independente;
- b) Facilidade de edição (uma consequência da modularidade): novas regras podem ser acrescentadas e antigas podem ser modificadas com relativa independência;
- c) Transparência do sistema: garante maior legibilidade da base de conhecimentos.

Portanto, é preciso ter em mente que a modularidade de um sistema baseado nessa arquitetura permite a construção passo-a-passo da base de conhecimentos, ou seja, é possível realizar vários testes com apenas um subconjunto de regras concluído. Obviamente, sabe-se que menos regras implicam geralmente em um menor número de casos abrangidos.

Tome-se o seguinte exemplo extraído da base SECAJU<sup>7</sup>, um exemplo que acompanha o Expert SINTA:

---

<sup>7</sup> SECAJU é um SE em diagnósticos de pragas e doenças do cajueiro desenvolvido com a shell Expert SINTA.

FIGURA 5. REGRA DE PRODUÇÃO DE SECAJU

SE	galerias nos ramos ou inflorescências	] premissas da regra
OU	inflorescências = murchas ou secas	
E	brotações novas murchas	
E	orifícios laterais nos ramos ou inflorescências	
ENTÃO	praga = broca das pontas [90%]	] conclusões

Fonte: Manual do usuário Expert SINTA de LIA.

Denomina-se os consequentes de uma regra como as cabeças da regra e os antecedentes, caudas. Esta notação é proveniente da linguagem PROLOG<sup>8</sup>, na qual as conclusões encabeçam as cláusulas.

Para o projetista do conhecimento que cria bases utilizando o Expert SINTA, o seguinte critério para definições de assertivas deve ser seguido:

(I). A estrutura de cada cauda (premissa) deve obedecer ao seguinte modelo:

<conectivo> <atributo> <operador> <valor>

Onde:

- Conectivo é um dos seguintes elementos utilizados na lógica clássica: NÃO, E, OU. Sua função é unir a sentença ao conjunto de premissas que formam a seção de antecedentes de uma regra;

- Atributo é uma variável capaz de assumir uma ou múltiplas instanciações no decorrer da consulta à base de conhecimentos. Cabe ao desenvolvedor definir o tipo de atributo. Um atributo é uma entidade totalmente abstrata, capaz de armazenar lista de valores cujo significado depende do contexto da base. Por exemplo, um atributo doença, no SECAJU, é capaz de ser instanciado a qualquer

<sup>8</sup> Sandra Cortinov na disciplina 'Paradigmas de Programação' define PROLOG: como uma linguagem de programação simples, embora poderosa, fundamentada na lógica simbólica. Foi desenvolvida na Universidade de Marselha, França, com o intuito de ser uma ferramenta prática para programação em lógica.

um ou vários elementos da lista de valores pré-definida (mofo preto, óidio, antracnose);

- Operador é um vínculo entre o atributo e o valor da premissa que define o tipo de comparação a ser realizada. São operadores relacionais: =, >, <=, <>, entre outros;

- Valor é um item de uma lista a qual foi previamente criada e relacionada a um atributo. Como veremos posteriormente, a interface visual do Expert SINTA foi idealizado de modo a minimizar o trabalho do responsável pela implementação da base de conhecimentos.

Para tanto, o Expert SINTA exige que os atributos sejam definidos antes da criação de uma regra que o utilize. No momento da criação de um atributo, também é possível que seja definida uma lista de valores que constituirá o universo ao qual suas instanciações devem necessariamente pertencer. As listas criadas podem ser utilizadas para construção de menus, caso o sistema especialista necessite efetuar uma pergunta ao usuário referente àquele determinado atributo. Um valor também pode ser um número, caso o atributo o permita.

(II). A estrutura de cada cabeça (conclusão) deve obedecer ao seguinte modelo:

<atributo> = <valor> <grau de confiança>

Onde:

- atributo equivale ao mesmo atributo usado em caudas;

- “=” é um operador de atribuição e não de igualdade. Ou seja, o atributo, nas cabeças de regra, é sempre instanciado a um valor. Dependendo se a variável pode ou não acumular múltiplas instanciações, o novo valor substituirá o antigo ou será empilhado com os demais;

- valor equivale ao mesmo valor utilizado em caudas;

- grau de confiança é uma porcentagem indicando a confiabilidade daquela conclusão específica da regra. O grau de confiança varia de 0% a 100%. O

conhecimento humano não é sempre determinístico (“sim” e “não”), não há especialista que sempre se encontre em condições de afirmar determinada conclusão com certeza absoluta. Graus de confiança são frequentemente atribuídos às suas respostas, principalmente quando existe mais de uma. Este, sem dúvida, é um dos mais fortes pontos críticos na elaboração de uma representação computacional do saber humano.

Segundo LIA (1996) existem duas correntes de pensamento: aquela que utiliza fórmulas estatísticas rigorosas, com teoria das probabilidades, e aquela que utiliza uma abordagem da teoria das possibilidades sobre os fatores de certeza, ou seja, mais generalizada e sem uma base matemática forte. O Expert SINTA utiliza atualmente uma abordagem possibilista.

### 3. METODOLOGIA

Na pesquisa propõe-se um sistema de suporte à decisão<sup>9</sup> baseado em regras, para otimizar a análise da área de operações desenvolvido pelo EM no planejamento das ações táticas de combate, em quanto a identificar com novas ferramentas técnicas as regiões onde as forças terão mobilidade afetada e onde o movimento será facilitado, representado através de um mapa de Restrições ao Movimento.

Implementar uma análise espacial através de um SIG, permitirá a modelagem do ambiente operacional, assim como também, a elaboração de um mapa de restrições ao movimento através de integração de dados geográficos. O uso de um SE permitirá realizar consultas das condições meteorológicas que podem afetar a transitabilidade de viaturas no terreno. Essas ferramentas de avanço tecnológico visam auxiliar a tomada de decisão do comandante.

Esta metodologia apoiou-se na pesquisa de Soares de Oliveira et. al., (2008) “O uso da análise espacial no Processo de Integração Terreno, Condições Meteorológicas e Inimigo (PITCI) do Exército Brasileiro”, na qual foi possível realizar a integração gráfica de dados geográficos em formato digital do terreno e das condições meteorológicas, sendo obtido a confecção do mapa de Restrições ao Movimento.

Com esta proposta pretende-se apresentar uma opção digital para substituir o uso e manuseio de cartas topográficas impressas e de mapas de situação, desenhados a mão pelos oficiais do EM do Exército da Venezuela.

A fim de testar o método proposto foram utilizados dados do Estado de Paraná, devido a não estarem disponíveis dados digitais da Venezuela. Como limitações do teste se deve considerar o seguinte:

- A análise feita com os dados tem a finalidade de determinar a transitabilidade no terreno, somente de viaturas sobre rodas;

---

<sup>9</sup> Sistema de suporte à decisão é um sistema de informação geográfica e/ou um sistema baseado em conhecimentos. Refere-se a um modelo genérico de tomada de decisão que analisa um número de variáveis para que seja possível o posicionamento a uma determinada questão (O'BRIEN, 2013).

- Na revisão bibliográfica são mencionadas todas as variáveis geográficas que fazem parte do PITCI. Mas, para testar o método proposto foram consideradas somente algumas delas, que será discutido neste capítulo.
- O grau de confiança no sistema especialista para a ocorrência de precipitações e de nebulosidade na área de operações foi considerado com um valor de 100 %, devido à certeza de influenciar na textura do solo para transitar. Claro que, em futuros trabalhos podem ser utilizados outros valores para demonstrar as diferentes intensidades das precipitações.

Compõe a metodologia as seguintes etapas:

1. Organização e estruturação da base de dados;
2. Geração de um mapa de restrições ao movimento no SIG considerando somente variáveis espaciais;
3. Desenvolvimento de regras no SE com variáveis não espaciais;
4. Geração de mapa de restrições ao movimento no SIG considerando os resultados obtidos na etapa 3;
5. Comparação entre os mapas da etapa 2 e 4.

### **3.1. MATERIAIS E MÉTODOS**

- *Notebook i7* de 8 GB de memória DDR3, disco rígido de 1 TB;
- *Software Global Mapper* versão 15;
- *Software ArcGis* versão 10;
- *Shell Expert SINTA* 1.1;
- Dados em formato de arquivo *shapefile* das ortofotocartas D41-NOA e D41-NOB do projeto S.I.G. de Recursos Hídricos do Alto Iguaçu.

### **3.2. IDENTIFICAÇÃO DAS NECESSIDADES DO USUÁRIO**

Desde tempos atrás, o conhecimento das características do terreno como informação espacial tem estado presente em todas as lutas armadas. Esse conhecimento passou a ser a informação mais precisada pelo comandante da operação, com a finalidade de ser usada a seu favor durante o combate.

Nesta pesquisa o usuário é identificado como o oficial de inteligência do Estado Maior – que tem a tarefa de levantar a informação do terreno – sua necessidade se limita a conhecer as regiões onde as forças terão mobilidade afetada e onde o movimento será facilitado.

### 3.3. BASE CARTOGRÁFICA

A base cartográfica digital utilizada para testar o sistema, foi adquirida do Instituto das Águas do Paraná através do site <http://www.aguasparana.pr.gov.br/> em formato de arquivo com extensão *shapefile* e é parte do projeto Sistema de Informações Geográficas para Gestão de Recursos Hídricos do Alto Iguaçu.

Águas Paraná lançou este projeto no ano 2000 através de PROSAM (Programa de Saneamento Ambiental da Região Metropolitana de Curitiba). A área geográfica de abrangência do projeto é a porção da Bacia do Alto Iguaçu, com uma área de 3.130,22 Km<sup>2</sup>.

A área de estudo corresponde a duas (02) ortofotocartas do norte do município Araucária, D41-NOA e D41-NOB a escala 1:10.000 em formato TIFF. Representa 59,5 Km<sup>2</sup> de área localizado entre os bairros rurais de Roça Velha, Roça Nova, Rio Verde, Taquarova e Colônia Cristina.

O município Araucária abriga na divisa com os municípios de Curitiba e Campo Largo, integrando à Região Metropolitana de Curitiba, no primeiro planalto paranaense. A área de estudo situa-se entre longitude 49° 26' 15.60" W e latitude 25° 31' 14.63" S definido no sistema de projeção UTM - zona fuso 22, datum SAD-69.

As ortofotos do projeto S.I.G. para Gestão de Recursos Hídricos do Alto Iguaçu, foram obtidas por Vôo aerofotogramétrico executado no mês de maio do ano 2000 a escala 1:30.000, com uma aeronave adaptada à tomada de fotografia e equipada com câmara automática de 152 mm de distância focal calibrada. A cobertura total abrangeu uma área de 4.495 Km<sup>2</sup> correspondente ao projeto com uma coleção de 365 fotos (RELATÓRIO FINAL, 2004).

Para gerar as ortofotocartas a escala 1:10.000, em formato TIFF e TFW, foram utilizados 327 modelos, e o Modelo Digital de Terreno (MDT) definido pela base cartográfica em escala 1:10.000. As imagens foram obtidas através da escanização do filme aéreo, em escâner de alta resolução.

### 3.3.1 Clima da área de estudo

A área de estudo apresenta um clima subtropical que predomina ao sul do Tropicó de Capricórnio, mais precisamente entre os paralelos 23° 27' 30" e 35°, a chamada zona subtropical ou subtrópico.

Segundo Nimer (1990) O clima subtropical no Brasil caracteriza-se por temperaturas médias anuais inferiores a 21°C, com amplitude térmica entre 9°C e 13°C. Nas áreas mais elevadas, o verão é ameno e o inverno é mais frio, com nevascas ocasionais nas áreas de maior altitude. Nas áreas mais baixas, a neve é rara ou nunca registrada, mas geadas podem atingir toda a área de abrangência deste clima. Chove entre 1.000 mm e 2.000 mm anualmente, de forma bem distribuída ao longo das estações, não sendo possível identificar uma estação seca.

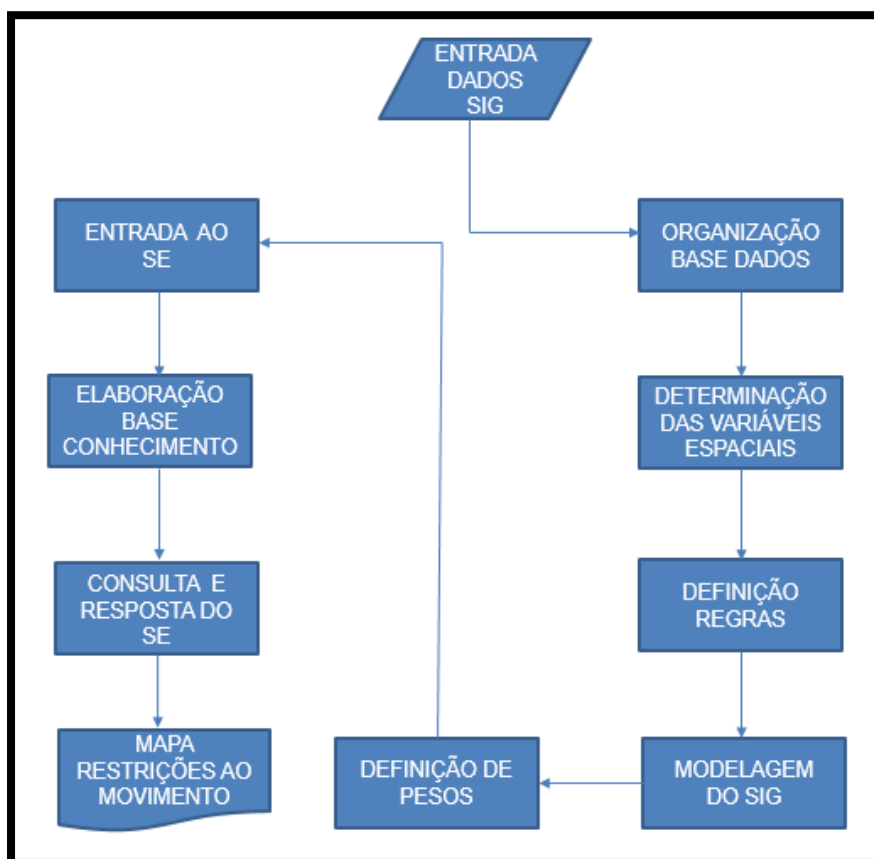
A vegetação nas áreas de clima subtropical é diferente conforme a altitude do local. Nas partes mais altas, ocorrem os bosques de araucárias, nas planícies, há a predominância de campos, com vegetação rasteira de gramíneas, denominados pampas (NIMER, 1990. 151-187).

FIGURA 6. ÁREA DE ESTUDO



Fonte: O autor.

FIGURA 7. FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA



Fonte: O autor.

### 3.4. ETAPAS DA METODOLOGIA

#### 3.4.1. Organização e estruturação da base de dados

Todos os dados foram preparados através de Global Mapper 15, um software para SIG desenvolvido por *Blue Marble Geographics* para Microsoft Windows. O Global Mapper manipula tanto dados vetoriais como raster, e proporciona uma visualização, conversão, e outras características gerais de um SIG permitindo ser exportados com facilidade para outra plataforma.

- (1) Projeção dos dados: foi realizado o processo de projeção das ortofotocartas D41-NOA e D41-NOB em formato TIFF e de todas as camadas escolhidas de vetores em formato *shapefile*, projetando-as ao datum SAD-69.

- (2) Elaboração de um mosaico: foram unidas as duas (02) ortofotocartas com a finalidade de eliminar o espaço entre as imagens, facilitando a fotorinterpretação:

FIGURA 8. ORTOFOTOCARTAS DA ÁREA DE ESTUDO

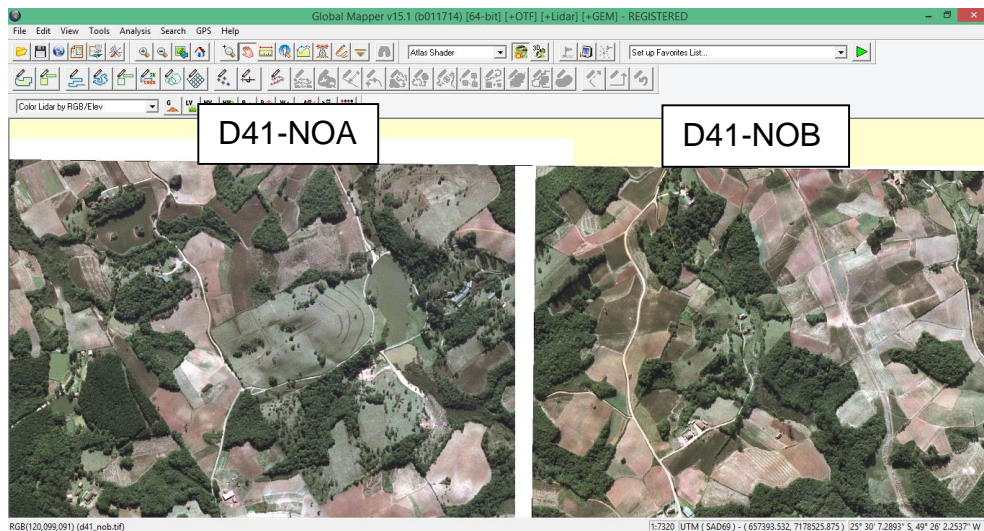
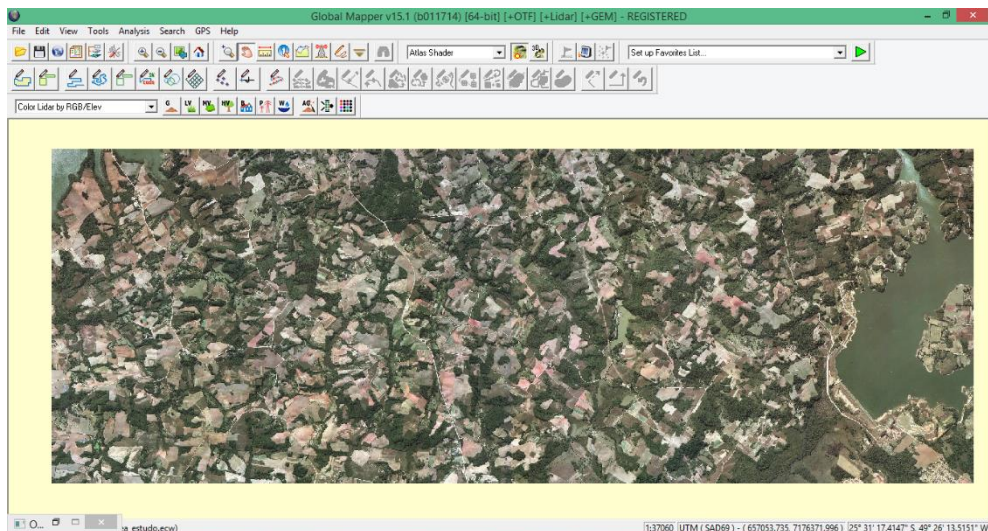


FIGURA 9. MOSAICO DA ÁREA DE ESTUDO



- (3) Verificação de consistência: após da compilação dos dados, foram verificadas a consistência dos arquivos digitais e feitas as edições necessárias para corrigir todos os erros de digitalização e, principalmente a conformação de polígonos com a cobertura vegetal da área, já que representa uma das variáveis importantes, que influirá na mobilidade de viaturas.

Todos os arquivos de dados foram adaptados para escala de trabalho 1:25.000 e atualizados com o uso das ortofotocartas. Essa escala presta-se ao nível tático de batalhão.

Esta etapa teve como objetivo visualizar espacialmente os dados, a fim de determinar as possíveis inter-relações existentes. Após, as camadas foram exportadas para o *software* ArcGIS 10.

### **3.4.2. Geração de um mapa de restrições ao movimento no SIG considerando somente variáveis espaciais**

Na confecção do mapa 1 de restrições ao movimento considerando somente as variáveis espaciais foi utilizado o *software* ArcGIS 10, por permitir a fácil representação e análises das variáveis.

#### **3.4.2.1. Determinação das variáveis espaciais**

Segundo o boletim EB (2011) o levantamento da informação espacial dos aspectos gerais naturais e artificiais do terreno, são obtidos dos diferentes estudos topográficos e da base de dados existente no arquivos da 2º seção (seção de inteligência) do batalhão. Estas variáveis espaciais são listadas em uma ordem de importância (hierarquia) que facilita a melhor visualização da área de operações.

Tomando em conta a informação espacial disponível na base cartográfica digital adquirida do Instituto das Águas do Paraná, se determinou testar com as variáveis espaciais citadas na tabela 6, considerando uma ordem de importância já estabelecida no PITCI, segundo o BOLETIM EB (2011, p. 15).

TABELA 6: Hierarquia das variáveis espaciais.

VARIÁVEL	FEIÇÕES	TIPOLOGIA	HIERARQUIA
Modelo Digital do Terreno (MDT)	Matriz de pontos regulares	Raster	+  -
Vegetação	Arbórea	Polígono	
Vegetação	Campo	Polígono	
Hidrografia	Açudes	Polígono	
Hidrografia	Lagos	Polígono	
Hidrografia	Barragem	Polígono	
Hidrografia	Córregos	Linha	
Vias transporte	Estradas	Linha	
Vias transporte	Caminhos	Linha	

### 3.4.2.2. Definição das regras para cada variável

Atualmente, nas operações militares é usado o transporte de tropas em viaturas sobre rodas e em viaturas sobre lagartas, deixando operações onde as tropas estão expostas a longas marchas a pé. Nesta pesquisa todas as regras foram realizadas para avaliar a transitabilidade de viaturas sobre roda.

Tendo como dado de entrada o MDT foi elaborado através de ArcMap o mapa de declividade. Cabe ressaltar que a diferença na área de estudo entre a menor altitude (875 m) e a maior (980 m) é de 105 m, embora pareça pequena, afeta a transitabilidade sobre roda:

#### Regra 1 reclassificação de declividades segundo a TABELA 1:

- 0° a 10° declividade = Adequada para qualquer viatura;
- 11° a 15° declividade = Restritiva para viaturas sobre rodas;
- 16° a 25° declividade = Muito Restritiva para viaturas sobre rodas;

- 26° a 45° declividade = Impeditiva para viaturas sobre rodas.

Segundo o relatório final (2004) o mapa de uso de solo obtido através da análise das ortofotos na escala 1:20.000 usado para a fotointerpretação, mostra que a área de estudo apresenta uma vegetação arbórea natural de grande porte e muito densa, e uma vegetação arbustiva natural de menor densidade. A vegetação pode influenciar o emprego da força por sua densidade, pois quanto mais densa, maior será a sua influência.

Foi definida esta regra considerando-se a classificação feita na TABELA 2 de restrições impostas pela vegetação (EME, 1999):

**Regra 2:**

- Vegetação\_Arborea\_natural = Impeditiva para viaturas a roda;
- Vegetação\_Arbustiva\_natural = Restrita para viaturas a roda.

A variável hidrografia presente na área de estudo é de açudes, lagos e barragens (Passaúna e Rio Verde). Para o teste se tomou em consideração as três classes de hidrografia classificando-a segundo a TABELA 4 de restrições ao movimento imposta pela hidrografia (EME, 1999):

**Regra 3:**

- Hidrografia\_Barragens = Impeditiva para viaturas sobre rodas
- Hidrografia\_Lagos = Restritiva para viaturas sobre rodas
- Hidrografia\_Açudes = Restritiva para viaturas sobre rodas

O tema de sistema viário no projeto SIG para Gestão de Recursos Hídricos do Alto Iguaçu, foi gerado a partir das informações provenientes da restituição aerofotogramétrica nas áreas rurais. Na área de estudo compõem o sistema viário as rodovias e caminhos.

Esta camada foi usada somente para auxiliar a interpretação do resultado.

### 3.4.2.3. Modelagem e implementação do SIG com ArgGIS 10

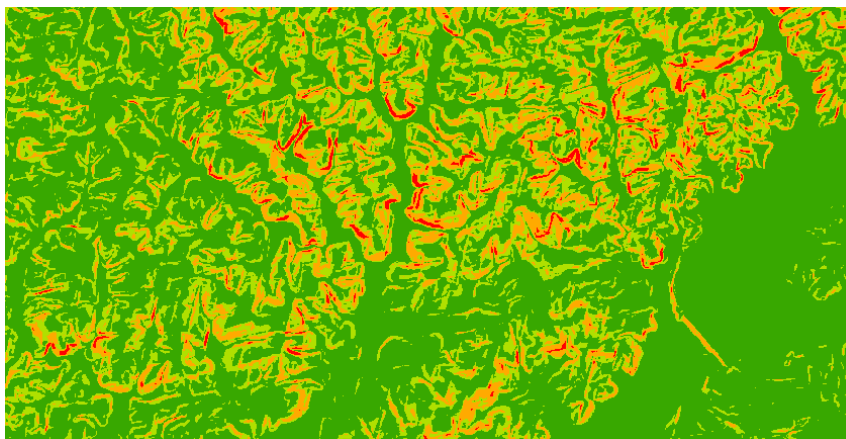
- (1) Elaboração do MDT a partir do arquivo de texto em formato ASCII, devido que o MDT disponibilizado pelo projeto, apresentou problemas de interoperabilidade com ArcGIS 10.

A utilização de MDT gerado de bases cartográficas altimétricas, tem oferecido a possibilidade da representação de informações do relevo.

- (2) Elaboração do raster de declividade: através do modulo < *3D Analyst Tools\_Raster Surface\_Slope* > foi criado o raster de declividade e reclassificado segundo a TABELA 1 – influência das declividades no movimento de viaturas – citado na revisão bibliográfica.

A declividade corresponde à inclinação da superfície do terreno em relação ao plano horizontal, que pode ser representada em porcentagem ou em graus.

FIGURA 10. RASTER DE DECLIVIDADE



O MDT permite realizar uma análise digital do relevo através de uma extração de atributos quantitativos, que com a integração de variáveis espaciais permite o mapeamento de áreas de ambiente operacional.

Uma destas variáveis é a vegetação, para a qual se estabeleceram duas classes de vegetação; uma arbórea natural e a outra arbustiva natural, embora, estes podem mudar dependendo da declividade do relevo onde a vegetação acontece. Então, para aperfeiçoar a resposta

no mapa, se decidiu determinar pesos para as variáveis espaciais de vegetação e declividade.

Para tanto, o raster da declividade foi convertido para vetores, com geometria de polígonos, pela facilidade que apresenta de inserir pesos através das tabelas de atributos.

- (3) Conversão do raster declividade para vetor: antes deste processo foi necessário satisfazer um parâmetro requerido pelo software ArcGis. O raster declividade se deve tornar a '*integer raster*' através da função < *Spatial Analyst Tools\_Math\_Int* >.

Depois, o raster foi convertido para vetor com todos seus atributos através da função < *Conversion Tools\_From Raster\_Raster to Polygon* >.

- (4) Determinação de atributo qualitativo: através do software *Global Mapper 15* foi atribuído "CLASSE" a cada categoria de declividade para facilitar o manuseio dos valores, isso foi feito pela função < *Search\_Search by Attributes* >

- Categoria com declividade de 0° - 10° = CLASSE "A"
- Categoria com declividade de 11° - 15° = CLASSE "B"
- Categoria com declividade de 16° - 25° = CLASSE "C"
- Categoria com declividade de 26° - 43° = CLASSE "D"

Logo todos os *shapefile* foram exportados em uma camada, já com seu atributo de "CLASSE" inserido.

- (5) Agregação: com base no atributo qualitativo – A, B, C, D – determinado no passo anterior, foi feita uma agregação de características através da função de ArcToolbox < *Data Management Tools\_Generalization\_Dissolve* > a fim de melhorar o processamento e visualização.

(6) Atribuição de pesos: essa atribuição foi feita somente para variáveis de vegetação e declividade, já que são as que afetam notavelmente a transitabilidade do terreno.

No *ArcMap* foram inseridos pesos na tabela de atributos de cada camada através da função de *Table Of Contents <Open Attribute Table\_ Table Options\_ Add Field >*, e em seguida, cada campo de peso foi preenchido através de *Field Calculator* segundo seu peso definido.

TABELA 7: Definição de pesos para variáveis espaciais

CLASSE DE DECLIVIDADE	PESO	CLASSE DE VEGETAÇÃO	PESO
Declividade Adequada (DA)	5	Vegetação Restritiva (VR)	3
Declividade Restritiva (DR)	10	Vegetação Impeditiva (VI)	6
Declividade Muito Restritiva (DMR)	15		
Declividade Impeditiva (DI)	20		

(7) Análise de Union: esta análise foi realizada para obter na saída polígonos que representam relações geométricas (sobreposição) dos insumos de entrada - declividade, vegetação restritiva e vegetação impeditiva. Assim, como do atributo de peso de cada camada numa única tabela. Posteriormente através da função *Field Calculator* pode ser obtido a soma total de esses pesos.

Na tabela de atributos deste processo, foram obtidos 611 polígonos, resultantes de 13 combinações possíveis de pesos entre variáveis:

TABELA 8: Suma dos pesos de variáveis espaciais.

PESOS DE VARIÁVEIS				
NRO.	TIPO DE DECLIVIDADE (DA,DR,DMR,DI)	VEGETAÇÃO RESTRITIVA (VR)	VEGETAÇÃO IMPEDITIVA (VI)	SUMA (D+VR+VI)
1	5 (DA)	0 (VR)	0 (VI)	5 (DA)
2	10 (DR)	0 (VR)	0 (VI)	10 (DR)
3	15 (DMR)	0 (VR)	0 (VI)	15 (DMR)
4	20 (DI)	0 (VR)	0 (VI)	20 (DI)
5	0 (DA)	0 (VR)	6 (VI)	6 (DI)
6	5 (DA)	3 (VR)	0 (VI)	8 (DA, VR)
7	10 (DR)	3 (VR)	0 (VI)	13 (DR, VR)
8	15 (DMR)	3 (VR)	0 (VI)	18 (DMR, VR)
9	20 (DI)	3 (VR)	0 (VI)	23 (DI, VR)
10	5 (DA)	0 (VR)	6 (VI)	11 (DA, VI)
11	10 (DR)	0 (VR)	6 (VI)	16 (DR, VI)
12	15 (DMR)	0 (VR)	6 (VI)	21 (DMR, VI)
13	20 (DI)	0 (VR)	6 (VI)	26 (DI, VI)

Foi elaborado o mapa de restrições ao movimento (APÊNDICE 1) através do menu < *Table of Contents\_Properties\_Simbology*.

Também foram estabelecidos intervalos entre pesos para facilitar a leitura do mapa, tendo como condição que a “CLASSE DECLIVIDADE” é o fator decisório para determinar o tipo de transitabilidade adotar. Assim mesmo, estes intervalos de pesos foram usados nos três mapas realizados:

- Pesos de 0 – 5 = Transitabilidade Adequada (TA)
- Pesos de 6 – 13 = Transitabilidade Restritiva (TR)
- Pesos de 14 – 19 = Transitabilidade Muito Restritiva (TMR)
- Pesos > 20 = Transitabilidade Impeditiva (TI)

### 3.4.3. Sistema Especialista: Desenvolvimento de regras com variáveis simbólicas.

Para testar o Sistema Especialista foram consideradas as seguintes variáveis simbólicas relevantes nas condições meteorológicas, que participaram

nas regras de produção: PRECIPITAÇÕES, como primeira variável de ocorrência e NEBULOSIDADES, como a segunda. Estas variáveis foram consideradas de ocorrência homogênea em toda a área de estudo, com a finalidade de avaliar a metodologia proposta.

O sistema especialista permite realizar consultas dos valores de pesos das variáveis espaciais – declividade e vegetação- e dos valores de pesos das variáveis simbólicas - precipitações e nebulosidade - que podem afetar a mobilidade das viaturas nas operações táticas.

#### **3.4.3.1. Aquisição do conhecimento**

Paralelamente ao desenvolvimento do SIG foi realizada a etapa de aquisição do conhecimento, que é uma das fases decisivas para a construção do sistema especialista. Consistiu em estudos ao boletim do Exército do Brasil - BE (2011) em conformidade com o PITCI, por apresentar uma doutrina de estudo de classificação do terreno através de um mapa de restrições ao movimento, que facilita analisar variáveis no espaço geográfico.


Também foram objeto de estudo artigos relacionados com análises espaciais baseados no uso de SIG, e artigos sobre inteligência artificial para auxiliar a tomada de decisões. As pesquisas abordam o desenvolvimento de programas com conhecimento simbólico para simular o comportamento dos especialistas através de máquinas que permitiram o armazenamento, sequenciamento de informações e a autoaprendizagem.

#### **3.4.3.2. Determinação de pesos das variáveis simbólicas**

Através de estudo ao boletim BE (2011) foram determinadas variáveis simbólicas relevantes as condições meteorológicas que possam causar algum efeito para transitar, sobre a classificação do terreno determinado no mapa de restrições ao movimento (APÊNDICE 1).

Foi necessário estabelecer uma hierarquia ou uma ordem de importância entre as variáveis, de modo de identificar seu sequenciamento no armazenamento do SE e para determinar o valor de seus pesos. Segundo o BOLETIM EB (2011, p. 33) as precipitações como condição meteorológica afeta consideravelmente a transitabilidade de viaturas, devido a saturação do solo, por isso ocupa o 1º lugar de importância na hierarquia. Não entanto, a nebulosidade como elemento meteorológico (característica física da atmosfera que carece de ser medida ou observada para a descrição do estado das condições meteorológicas) ocupa o 2º lugar de importância.

TABELA 9: Hierarquia e peso das variáveis simbólicas.

VARIÁVEIS SIMBÓLICAS	DESCRIÇÃO	PESO	HIERARQUIA
Precipitações	Prevista com certeza de ocorrência de 100% na área de operações.	8	+  -
Nebulosidade	Prevista com certeza de ocorrência de 100% na área de operações.	4	

### 3.4.3.3. Regras do sistema especialista proposto

O Sistema Especialista tem como dados de entrada os valores de 13 combinações de pesos, resultantes do processamento de *union* realizado no ArcMap com variáveis espaciais. Estes valores foram inseridos no SE para serem adicionados às variáveis simbólicas, segundo se apresenta nas tabelas 10 e 11.

Para o desenvolvimento do SE proposto foram elaboradas 26 regras de produção (APÊNDICE 4), totalizando 4 perguntas realizadas pelo sistema aos usuários (FIGURA 12-15). O grau de confiança foi de 100%, considerando para o teste, a certeza absoluta na presença de precipitações ou nebulosidades na área de operações. Para análises onde estas variáveis sejam prováveis, deverá considerar-se um grau de confiança menor.

TABELA 10: Transitabilidade segundo as variáveis espaciais mais precipitações.

NRO.	PESO ENTRADA (D+VR+VI)	PESO PRECIPITAÇÕES	PESO DE SAÍDA PARA TRANSITABILIDADE
1	5 (DA)	8 (P)	13 (DA, P)
2	10 (DR)	8 (P)	18 (DR, P)
3	15 (DMR)	8 (P)	23 (DMR, P)
4	20 (DI)	8 (P)	28 (DI, P)
5	6 (VI)	8 (P)	14 (VI, P)
6	8 (DA, VR)	8 (P)	16 (DA, VR, P)
7	13 (DR, VR)	8 (P)	21 (DR, VR, P)
8	18 (DMR, VR)	8 (P)	26 (DMR, VR, P)
9	23 (DI, VR)	8 (P)	31 (DI, VR, P)
10	11 (DA, VI)	8 (P)	19 (DA, VI, P)
11	16 (DR, VI)	8 (P)	24 (DR, VI, P)
12	21 (DMR, VI)	8 (P)	29 (DMR, VI, P)
13	26 (DI, VI)	8 (P)	34 (DI, VI, P)

TABELA 11: Transitabilidade segundo as variáveis espaciais mais nebulosidade.

NRO.	PESO ENTRADA (D+VR+VI)	PESO NEBULOSIDADE	PESO DE SAÍDA PARA TRANSITABILIDADE
1	5 (DA)	4 (N)	9 (DA, N)
2	10 (DR)	4 (N)	14 (DR, N)
3	15 (DMR)	4 (N)	19 (DMR, N)
4	20 (DI)	4 (N)	24 (DI, N)
5	6 (VI)	4 (N)	10 (VI, N)
6	8 (DA, VR)	4 (N)	12 (DA, VR, N)
7	13 (DR, VR)	4 (N)	17 (DR, VR, N)
8	18 (DMR, VR)	4 (N)	22 (DMR, VR, N)
9	23 (DI, VR)	4 (N)	27 (DI, VR, N)
10	11 (DA, VI)	4 (N)	15 (DA, VI, N)
11	16 (DR, VI)	4 (N)	20 (DR, VI, N)
12	21 (DMR, VI)	4 (N)	25 (DMR, VI, N)
13	26 (DI, VI)	4 (N)	30 (DI, VI, N)

Mostra-se a seguir para referência, algumas regras construídas no Sistema Especialista através da interface do *Shell* de Expert SINTA:

FIGURA 11. REGRA 1 DE PRODUÇÃO DO SE

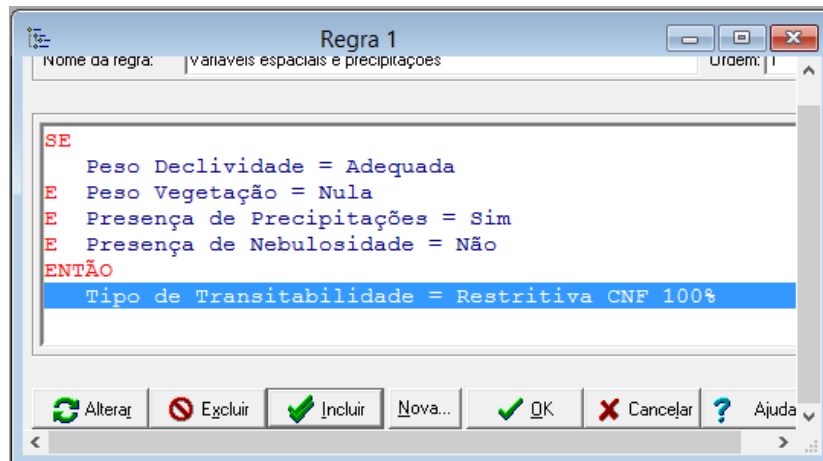
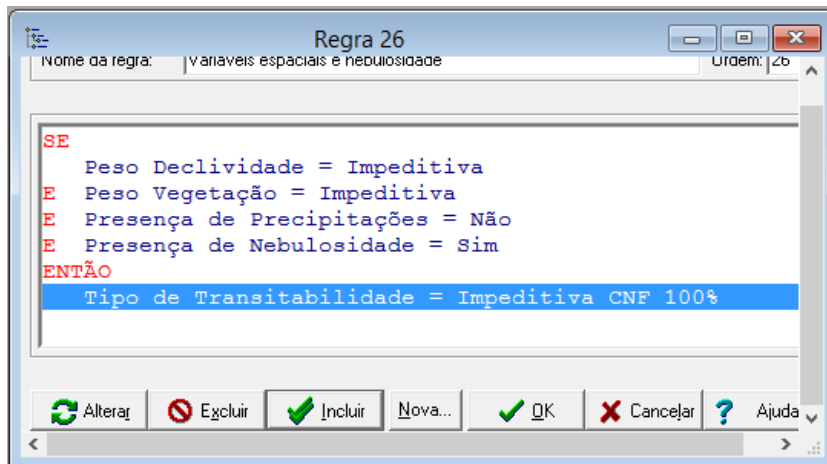


FIGURA 12. REGRA 26 DE PRODUÇÃO DO SE



No próximo capítulo, será feita as comparações entre os três mapas de restrições ao movimento gerados através do SIG.

## **4. ANÁLISE DOS RESULTADOS**

O resultado dos mapas de restrições ao movimento elaborados, mantém a sustentabilidade na teoria, de analisar de forma integrada dados geográficos espaciais em formato digital, relativos à transitabilidade do terreno, para otimizar e apoiar o planejamento das manobras a nível batalhão, através de um mapa a escala 1:25.000.

A metodologia apresentada confirma a hipótese de obter resultados (de classificação do terreno) sobre a transitabilidade de viaturas no ambiente operacional, estabelecendo regras baseadas no conhecimento do especialista – em geografia militar - com a implementação e modelagem de uma análise espacial através de um SIG e aplicação de um SE para auxiliar a tomada de decisões do comandante.

### **4.1. RESULTADOS DO SIG**

Com a ferramenta ArcGIS de SIG foi possível representar variáveis espaciais das características do terreno, estas foram codificadas em adequadas, restritivas e impeditivas, segundo a metodologia usada no PITCI pelo Exército Brasileiro e que ajudou a dar fundamento neste trabalho de pesquisa.

- a) Como primeira consideração a analisar é que os três mapas podem ser utilizados pelo oficial de inteligência do batalhão, para identificar as regiões onde as forças terão mobilidade afetada e onde o movimento será facilitado.
- b) A regra 1 estabelecida para classificar a declividade do relevo, permitiu contar com um mapa de fácil identificação de restrições do terreno para transitar, simplificando o estudo topográfico que todo oficial de inteligência deve conhecer. A declividade da área de operações está diretamente relacionada com a mobilidade das tropas.

- c) A regra 2 estabelecida para classificar a vegetação em quanto a sua densidade, permitiu perceber rapidamente de forma visual o que pode influenciar esta variável sobre a mobilidade das operações militares. Assim, uma vegetação muito densa pode impedir, restringir ou canalizar o movimento de viaturas.
- d) A regra 3 estabelecida para classificar a hidrografia permitiu analisar os cursos de água que, dentro da área de operações, impeçam ou dificultem o movimento. Esta classificação pode mudar, conforme a época do ano, com base nos períodos de cheia ou de estiagem.
- e) Se estabeleceu pesos para as classes de declividade e de vegetação por considerar-se de maior influência na determinação da transitabilidade do terreno. Assim, as variáveis assumiram valores que permitiram sua representação no mapa.
- f) A designação de pesos a variáveis espaciais e a variáveis simbólicas permitiram visualizar nos mapas, a notável influência das precipitações e da nebulosidade, na transitabilidade de viatura em terrenos a campo aberto.
- g) O mapa 1 apresentou muitas regiões de transitabilidade adequada devido a não sofrer influência de precipitações ou nebulosidade. São poucas as regiões de transitabilidade muito restritiva e impeditiva.
- h) No mapa 2 as regiões de transitabilidade adequada desaparecem devido à influência de peso que tem as precipitações. Grande parte do terreno ficou com transitabilidade restritiva e foram acrescentadas as regiões de transitabilidade impeditiva com respeito ao mapa 1.
- i) O mapa 3 também não conta com regiões de transitabilidade adequada e diminuíram as regiões de transitabilidade impeditiva com relação ao mapa 2, mas, aumentaram as regiões de transitabilidade muito restritiva. Isto é devido à presença de nebulosidade, que tem o menor peso das variáveis simbólicas.

#### **4.2. RESULTADOS DO SE**

O sistema especialista desenvolvido nesta pesquisa permitiu fazer consultas de pesos de variáveis espaciais com variáveis simbólicas. Obtendo-se

como resultado uma classificação do terreno, referente à conveniência e dificuldade para transitabilidade de viaturas sobre roda, facilitando, assim, a compreensão das informações contidas na tabela de atributos gerada através do SIG.

A utilização do sistema especialista proposto virá beneficiar de forma substancial ao profissional envolvido com o levantamento de informações geográficas, pois dará o necessário embasamento tático para orientar a tomada de decisão, sem a necessidade de consultar a tabela de atributo grada no SIG, já que dependendo da quantidade de dados processados, pode causar confusão.

FIGURA 13. CONSULTA DE PESO DA DECLIVIDADE

Consulta de variáveis espaciais e condições meteorológicas

**Qual o valor de Peso Declividade ?**  
(Marque somente uma alternativa)

Opção: \_\_\_\_\_ Grau de Confiança %:

<input type="checkbox"/> Adequada	<input type="text"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Restritiva	100
<input type="checkbox"/> Muito Restritiva	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Impeditiva	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Nula	<input type="text"/>

OK Por que?

FONTE: Consulta de variáveis desenvolvido pelo autor.

FIGURA 14. CONSULTA DE PESO DA VEGETAÇÃO

Consulta de variáveis espaciais e condições meteorológicas

**Qual o valor de Peso Vegetação ?**  
(Marque somente uma alternativa)

Opção: \_\_\_\_\_ Grau de Confiança %:

<input type="checkbox"/> Restritiva	<input type="text"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Impeditiva	100
<input type="checkbox"/> Nula	<input type="text"/>

OK Por que?

FONTE: Consulta de variáveis desenvolvido pelo autor.

FIGURA 15. CONSULTA DE PESO DE PRECIPITAÇÕES

Consulta de variáveis espaciais e condições meteorológicas

**Qual o valor de Presença de Precipitações ?**  
(Marque somente uma alternativa)

Opção: \_\_\_\_\_ Grau de Confiança %:

Sim  Não

100

OK ? Por que?

FONTE: Consulta de variáveis desenvolvido pelo autor.

FIGURA 16. CONSULTA DE PESO DE NEBULOSIDADE

Consulta de variáveis espaciais e condições meteorológicas

**Qual o valor de Presença de Nebulosidade ?**  
(Marque somente uma alternativa)

Opção: \_\_\_\_\_ Grau de Confiança %:

Sim  Não

100

OK ? Por que?

FONTE: Consulta de variáveis desenvolvido pelo autor.

FIGURA 17. RESULTADO DA CONSULTA

Resultados

**Tipo de Transitabilidade**

Valor	CNF (%)
Impeditiva	100

Fechar ? Ajuda

Resultados / Histórico / Todos os valores / O sistema

FONTE: Consulta de variáveis desenvolvido pelo autor.

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O Sistema de Informação Geográfica e o Sistema Especialista propostos nesta pesquisa, tiveram como objetivo apoiar a tomada de decisão do comandante, relativas à transitabilidade de viaturas sobre rodas na área de operações, a partir de definir regras durante as análises das características geográficas levantadas no terreno – variáveis espaciais e variáveis simbólicas.

Através do SIG foi possível analisar de forma integrada, dados geográficos em uma mesma base digital. O SIG permitiu a modelagem e análises espacial do ambiente operacional através de um mapa de restrições ao movimento, contribuindo assim, com o oficial de inteligência do EM do batalhão, ao contar com uma classificação do terreno que identificará a mobilidade afetada e permitida de viaturas na área de operações.

O Sistema Especialista permitiu construir uma base de conhecimentos baseada em regras de produção - SE, ENTÃO - considerando a influência de algumas condições meteorológicas sobre as operações. Também contribuiu no armazenamento da sequência de raciocínio, evitando que nenhuma variável fosse desconsiderada, além de facilitar a compreensão das informações contidas na tabela de atributos gerada através do SIG, usando o conhecimento de encadeamento para atrás (a máquina de inferência encarrega-se de encontrar uma atribuição na conclusão da regra para o atributo de transitabilidade).

O sistema proposto baseado em técnicas de cartografia digital, não pretende dispensar dos mapas impressos, mas, tem como finalidade confeccionar produtos cartográficos do ambiente operacional, atualizados através das técnicas modernas que oferecem os avanços na geociência. O produto final desta pesquisa foi o mapa de Restrições ao Movimento, que permitiu 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, o oficial de inteligência do EM deverá determinar os corredores de mobilidade, que normalmente seguem a direção de estradas e trilhas.

Como recomendações para a continuidade deste trabalho destacam-se considerar mais variáveis espaciais, por exemplo a textura do solo, uma variável importante a ser considerada no auxílio da seleção das regiões transitáveis, já que a textura do solo é afetada pela saturação das precipitações.

A base de conhecimentos do SE pode ser aumentada, considerando informações referentes aos aspectos militares táticos do terreno (observação, campos de tiro, cobertas e abrigos). Também no caso de analisar estradas disponíveis na área de operações, pode armazenar informações referentes a obras de arte, tais como; capacidade, largura, comprimento e material de construção de pontes, largura e comprimento de túneis.

Sugere-se aumentar a base de conhecimento do SE considerando mais elementos meteorológicos; o crepúsculo e fases da lua, que exercem influência nas atividades executadas pelas tropas na transitabilidade noturna.

Para pesquisas futuras seria interessante considerar dados meteorológicos automatizados para alimentar este sistema de suporte à decisão. A Força Armada de Venezuela conta com o Serviço de Meteorologia da Aviação (SERMETAVIA), instituição responsável de fornecer dados do clima e das condições meteorológicas do território nacional através da web.

## REFERÊNCIAS

BARBOSA, S.; TOSTES, F.; VAZ DO N, L. **Relatório Final: SIG para Gestão de Recursos Hídricos do Alto Iguaçu**. Curitiba, março 2004.

BAUCHSPIESS, A. **Introdução aos Sistemas Inteligentes**. Aplicações em Engenharia de Redes Neurais Artificiais, Lógica Fuzzy e Sistemas Neuro-Fuzzy. Universidade de Brasília. Brasília D.F., março de 2004. Disponível em: <http://www.ene.unb.br/adolfo/> Acesso em: 26/08/2014.

BENAVIDES, V.C. **Apostila de ArcGIS**. Centro Universitário de Belo Horizonte. Departamento de Ciências Biológicas, Ambientais e de Saúde (DCBAS). Sistema de Informação Geográfica. Curso de Geografia e Análise Ambiental. Belo Horizonte, 2010.

DOS SANTOS, A. **Integração de Sistemas de Informação Geográfica e Sistema Especialista Visando Auxiliar a Tomada de Decisão Locacional do Setor Bancário**. Teses de mestrado da UFPR, Curitiba PR, 2007.

EXÉRCITO BRASILEIRO, Secretaria Geral. **Separata ao Boletim: Diretriz de Trafegabilidade para Viaturas sobre Rodas e sobre Lagartas**. Brasília, 2011.

GENARO, S. **Sistemas Especialistas: O Conhecimento Artificial**. Livros Técnicos e Científicos, Editora S.A., Rio de Janeiro, 1987.

GIL, A.C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. São Paulo. Editora Atlas S.A. v4, 2007.

GUTIERREZ, J. P. **Artigo: Sistema de Información Geográfica Militar.** Engenheiro em Geografia, Chile, p. 1.

KAZUO, T. V. **Técnicas de Sistemas Inteligentes Aplicadas ao Desenvolvimento de Jogos de Computador.** Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. Campinas, São Paulo, p.22., [199?].

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E.M. **Fundamentos de Metodologia Científica.** São Paulo. Editora Atlas S.A. v.7, 2010.

MENDES, R. D. **Inteligência Artificial: Sistemas Especialistas no Gerenciamento da Informação.** Ci. Inf. [online]. 1997, vol.26, n.1 ISSN 0100-1965.

NEGNEVITSKY, M. **Artificial Intelligence: A guide to Intelligent Systems.** Segunda Edição, 2005.

NIMER, E. IBGE, CLIMA. **Geografia do Brasil: Região Sul.** Rio de Janeiro. 1990. p.151-187.

OLIVEIRA, C. **As Operações Militares na Era da Informação e da Comunicação.** Proelium- Revista da Academia Militar. Portugal, 2003.

PINOCHET, A. **Manual de Geografia Militar.** Interpretação Militar dos Fatores Geográficos. Santiago de Chile, 1982.

RICH, E. **Inteligência Artificial.** Tradução Newton Vasconcellos. Editorial McGraw-Hill, Inc. São Paulo, 1988.

RICH, E.; KNIGHT, K. **Inteligência Artificial**. Tradução de Maria Claudia Santos Ribeiro Ratto. Makron Books do Brasil Editora Ltda. 2a Edição, 1994.

ROCHA, C. **Geoprocessamento**: Tecnologia Transdisciplinar. Juiz de Fora, MG: Ed. Do Autor, p.210.

RUSSELL, S.; NORVING, P. **Inteligência Artificial**. Tradução da Segunda Edição. Editora Elsevier Ltda, 2004.

SCHMEISKE, O. **Sistema Metropolitano de Informações Georreferenciadas**. MetroGeo, Curso Noções de Geoprocessamento Módulo 1.

SILVEIRA, da C.T. **Curso de Análise Digital do Relevo**. Universidade Federal de Paraná. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Curitiba, 01-12 sep. 2014.

SOARES DE O, I.; MENESES, P.; RODRIGUEZ, L. **O uso da Análise Espacial no processo de integração Terreno, Condições Meteorológicas e Inimigo (PITCI) do Exército Brasileiro**. Revista Militar de Ciências e Tecnologia. Rio de Janeiro RJ, 1º quadrimestre de 2008.

TAFNER, M.A.; XEREZ, M. de; RODRIGUES, FILHO I.W. **Redes Neurais Artificiais: Introdução e Princípios de Neurocomputação**. Universidade Regional de Blumenau. Editora da Furb, Blumenau, p. 25, 1996.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ, Laboratório de Inteligência Artificial (LIA). **Manual Expert SINTA 1.1**. 1996. Acesso em: 21/ 02/ 2015.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPIRITU SANTO. **Apostila de ArcGIS: Extensão ArcGIS Espacial Analyst**. Laboratório de Cartografia e Topografia. Espírito Santo, Brasil, [201?].

VENEZUELA. Universidade Militar. Direção de Operações do Exército. Escola Superior de Guerra. **Manual de Comando y Estado Mayor**, Caracas, 1992a.

VENEZUELA. Ministério da Defesa. Universidade Militar. Escola Militar do Exército. **Manual de Geografia Militar**. Caracas, 1992b.

VENEZUELA. Ministério da Defesa. Comando Estratégico de Operações. Manual sobre **Fundamentos del Apoyo Geográfico para el Combate**, (DIG-001-12). Caracas, 2012.

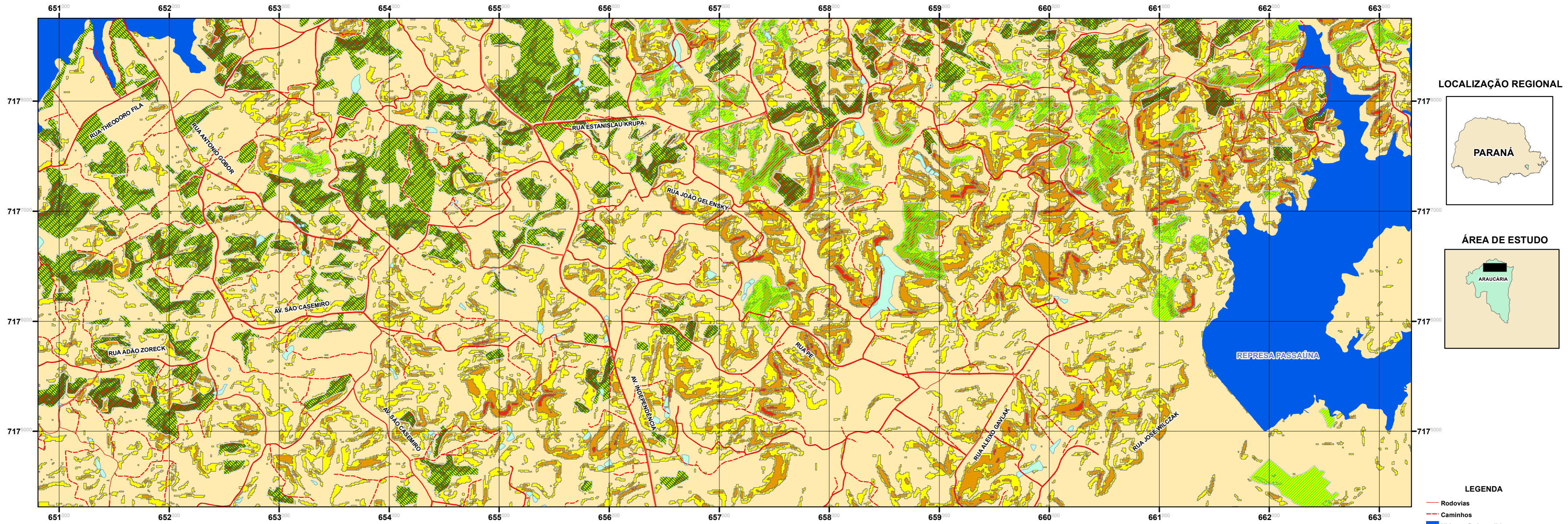
VICENTE, J.L. **Manual de ArcGIS**. Conselheira do Meio Ambiente de Espanha Madrid, 2008.

VIEIRA, R. G. Artigo: **Sistema Especialista como Apoio à Tomada de Decisão na área de Transporte Ferroviário de cargas**. Congresso Internacional de Administração, Ponta grossa PR, 23 a 27 setembro, 2013.

## APÊNDICE 1

Mapa de restrições ao movimento representando a classificação da transitabilidade do terreno, como produto de sobreposições das classes de declividade e da vegetação.

# APÊNDICE 1 MAPA DE RESTRIÇÕES AO MOVIMENTO



## LOCALIZAÇÃO REGIONAL



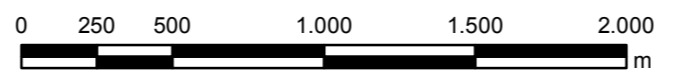
## ÁREA DE ESTUDO



## LEGENDA

- Rodovias
- Caminhos
- Hidrografia Impeditiva
- Hidrografia Restritiva
- Vegetação Impeditiva
- Vegetação Restritiva
- Transitabilidade Adequada
- Transitabilidade Restritiva
- Transitabilidades Muito Restritiva
- Transitabilidade Impeditiva

ESCALA - 1:25.000

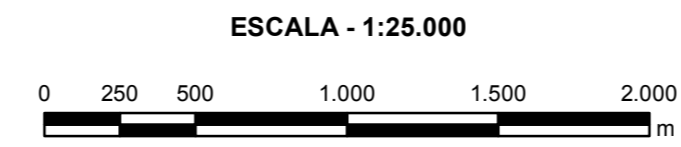
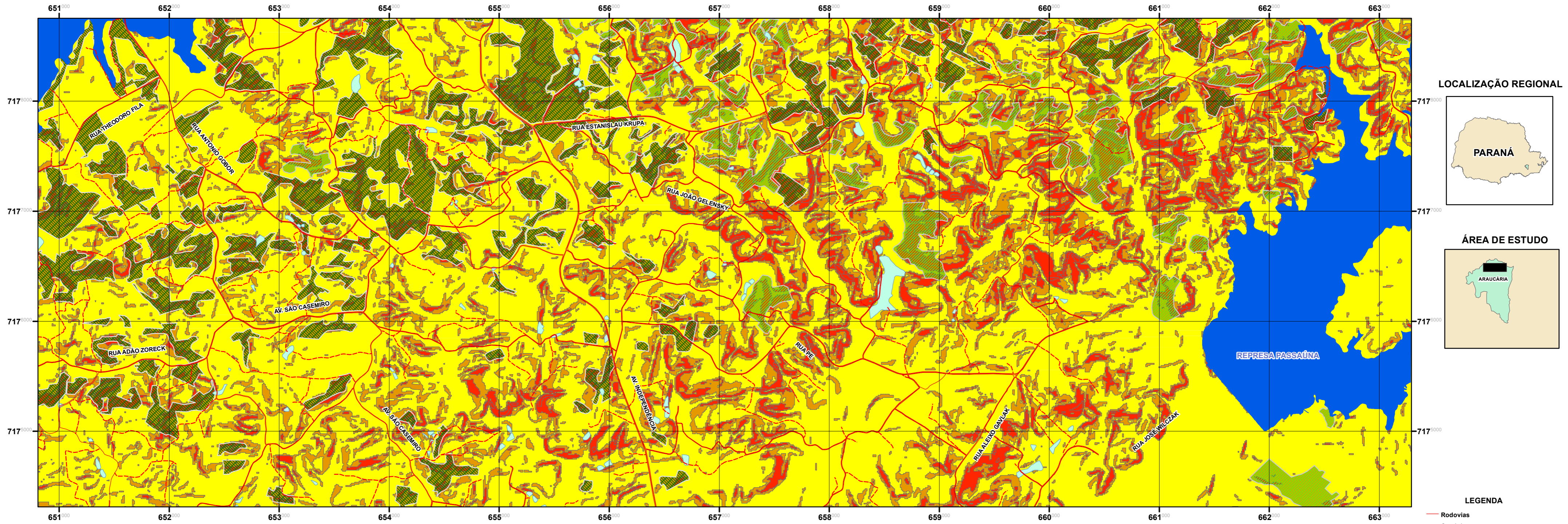


PROJEÇÃO UTM  
DATUM SAD - 69  
FUSO 22

## APÊNDICE 2

Mapa de restrições ao movimento representando a classificação da transitabilidade do terreno, como produto de sobreposições das classes de declividade, da vegetação, além, da variável simbólica de precipitações.

# APÊNDICE 2 MAPA DE RESTRIÇÕES AO MOVIMENTO



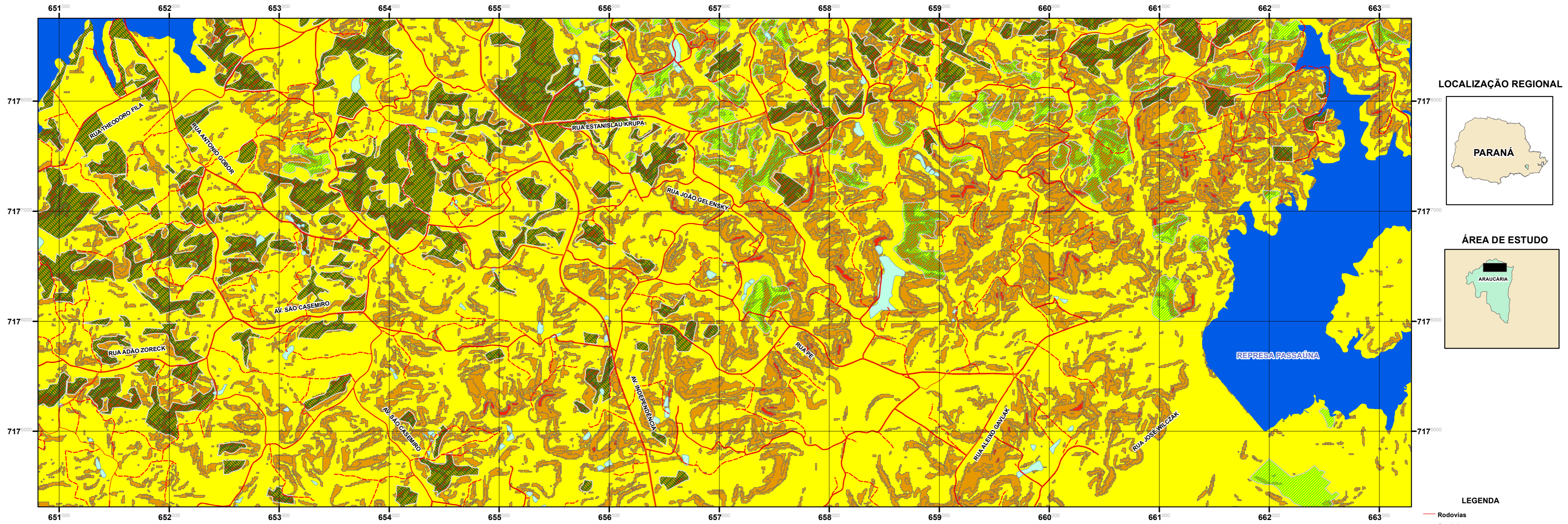
**PROJEÇÃO UTM  
DATUM SAD - 69  
FUSO 22**

- LEGENDA**
- Rodovias
  - Caminhos
  - Hidrografia Impeditiva
  - Hidrografia Restritiva
  - Vegetação Impeditiva
  - Vegetação Restritiva
  - Transitabilidade Restritiva
  - Transitabilidade Muito Restritiva
  - Transitabilidade Impeditiva

### APÊNDICE 3

Mapa de restrições ao movimento representando a classificação da transitabilidade do terreno, como produto de sobreposições das classes de declividade, da vegetação, além, da variável simbólica de nebulosidade.

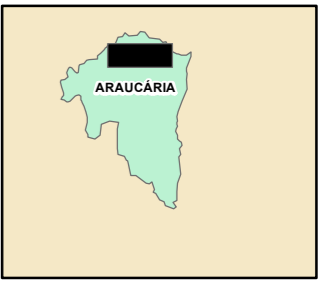
# APÊNDICE 3 MAPA DE RESTRIÇÕES AO MOVIMENTO



## LOCALIZAÇÃO REGIONAL



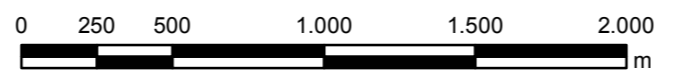
## ÁREA DE ESTUDO



## LEGENDA

- Rodovias
- Caminhos
- Hidrografia Impeditiva
- Hidrografia Restritiva
- Vegetação Impeditiva
- Vegetação Restritiva
- Transitabilidade Restritiva
- Transitabilidade Muito Restritiva
- Transitabilidade Impeditiva

ESCALA - 1:25.000



PROJEÇÃO UTM  
DATUM SAD - 69  
FUSO 22

## APÊNDICE 4

---

### SOBRE O SISTEMA ESPECIALISTA

-- Nome: Consulta de variáveis espaciais e condições meteorológicas

-- Autores: Yolhmer Vivas Torrealba

-- Resumo:

A consulta de variáveis espaciais e condições meteorológicas vai permitir obter atributos que posteriormente serão representados no mapa de restrições ao movimento.

Operador de maior precedência: conjunção

Fator de confiança mínima para aceitação de regra: 50

### SOBRE OS ARQUIVOS

Arquivo original: C:\ExpertSINTA\Transitabilidade.BCM

O sistema não possui recursos de ajuda.

---

### VARIÁVEIS

Declividade

Valores:

Peso 20

Peso 10

Peso 15

Peso 5

Tipo:

univalorada

Nebulosidade

Valores:

Peso 0

Peso 4

Tipo:

univalorada

Peso Declividade

Valores:

Adequada

Muito Restritiva

Nula

Restritiva

Impeditiva

Tipo:

univalorada

Peso Vegetação

Valores:

Nula

Restritiva

Impeditiva

Tipo:

univalorada

Precipitação

Valores:

Peso 0

Peso 8

Tipo:

univalorada

Presença de Nebulosidade

Tipo:

univalorada

Presença de Precipitações

Tipo:

univalorada

Tipo de Declividade

Valores:

Muito Restritiva

Adequada

Restritiva

Impeditiva

Tipo:

univalorada

Tipo de Transitabilidade

Valores:

Impeditiva

Adequada

Muito Restritiva

Restritiva

Tipo:

univalorada

Tipo de Vegetação

Valores:

Restritiva

Impeditiva

Tipo:

univalorada

Vegetação

Valores:

Peso 3

Peso 6

Tipo:

univalorada

## OBJETIVOS

Tipo de Transitabilidade

## REGRAS

Regra 1

SE Peso Declividade = Adequada

E Peso Vegetação = Nula

E Presença de Precipitações = Sim

E Presença de Nebulosidade = Não

ENTÃO Tipo de Transitabilidade = Restritiva CNF 100%

Regra 2

SE Peso Declividade = Restritiva

E Peso Vegetação = Nula

E Presença de Precipitações = Sim

E Presença de Nebulosidade = Não

ENTÃO Tipo de Transitabilidade = Muito Restritiva CNF 100%

### Regra 3

SE Peso Declividade = Muito Restritiva

E Peso Vegetação = Nula

E Presença de Precipitações = Sim

E Presença de Nebulosidade = Não

ENTÃO Tipo de Transitabilidade = Impeditiva CNF 100%

### Regra 4

SE Peso Declividade = Impeditiva

E Peso Vegetação = Nula

E Presença de Precipitações = Sim

E Presença de Nebulosidade = Não

ENTÃO Tipo de Transitabilidade = Impeditiva CNF 100%

### Regra 5

SE Peso Declividade = Nula

E Peso Vegetação = Impeditiva

E Presença de Precipitações = Sim

E Presença de Nebulosidade = Não

ENTÃO Tipo de Transitabilidade = Muito Restritiva CNF 100%

### Regra 6

SE Peso Declividade = Adequada

E Peso Vegetação = Restritiva

E Presença de Precipitações = Sim

E Presença de Nebulosidade = Não

ENTÃO Tipo de Transitabilidade = Muito Restritiva CNF 100%

#### Regra 7

SE Peso Declividade = Restritiva

E Peso Vegetação = Restritiva

E Presença de Precipitações = Sim

E Presença de Nebulosidade = Não

ENTÃO Tipo de Transitabilidade = Impeditiva CNF 100%

#### Regra 8

SE Peso Declividade = Muito Restritiva

E Peso Vegetação = Restritiva

E Presença de Precipitações = Sim

E Presença de Nebulosidade = Não

ENTÃO Tipo de Transitabilidade = Impeditiva CNF 100%

#### Regra 9

SE Peso Declividade = Impeditiva

E Peso Vegetação = Restritiva

E Presença de Precipitações = Sim

E Presença de Nebulosidade = Não

ENTÃO Tipo de Transitabilidade = Impeditiva CNF 100%

#### Regra 10

SE Peso Declividade = Adequada

E Peso Vegetação = Impeditiva

E Presença de Precipitações = Sim

E Presença de Nebulosidade = Não

ENTÃO Tipo de Transitabilidade = Muito Restritiva CNF 100%

#### Regra 11

SE Peso Declividade = Restritiva

E Peso Vegetação = Impeditiva

E Presença de Precipitações = Sim

E Presença de Nebulosidade = Não

ENTÃO Tipo de Transitabilidade = Impeditiva CNF 100%

#### Regra 12

SE Peso Declividade = Muito Restritiva

E Peso Vegetação = Impeditiva

E Presença de Precipitações = Sim

E Presença de Nebulosidade = Não

ENTÃO Tipo de Transitabilidade = Impeditiva CNF 100%

#### Regra 13

SE Peso Declividade = Impeditiva

E Peso Vegetação = Impeditiva

E Presença de Precipitações = Sim

E Presença de Nebulosidade = Não

ENTÃO Tipo de Transitabilidade = Impeditiva CNF 100%

## Regra 14

SE Peso Declividade = Adequada

E Peso Vegetação = Nula

E Presença de Precipitações = Não

E Presença de Nebulosidade = Sim

ENTÃO Tipo de Transitabilidade = Restritiva CNF 100%

## Regra 15

SE Peso Declividade = Restritiva

E Peso Vegetação = Nula

E Presença de Precipitações = Não

E Presença de Nebulosidade = Sim

ENTÃO Tipo de Transitabilidade = Muito Restritiva CNF 100%

## Regra 16

SE Peso Declividade = Muito Restritiva

E Peso Vegetação = Nula

E Presença de Precipitações = Não

E Presença de Nebulosidade = Sim

ENTÃO Tipo de Transitabilidade = Muito Restritiva CNF 100%

## Regra 17

SE Peso Declividade = Impeditiva

E Peso Vegetação = Nula

E Presença de Precipitações = Não

E Presença de Nebulosidade = Sim

ENTÃO Tipo de Transitabilidade = Impeditiva CNF 100%

## Regra 18

SE Peso Declividade = Nula

E Peso Vegetação = Impeditiva

E Presença de Precipitações = Não

E Presença de Nebulosidade = Sim

ENTÃO Tipo de Transitabilidade = Restritiva CNF 100%

## Regra 19

SE Peso Declividade = Adequada

E Peso Vegetação = Restritiva

E Presença de Precipitações = Não

E Presença de Nebulosidade = Sim

ENTÃO Tipo de Transitabilidade = Restritiva CNF 100%

## Regra 20

SE Peso Declividade = Restritiva

E Peso Vegetação = Restritiva

E Presença de Precipitações = Não

E Presença de Nebulosidade = Sim

ENTÃO Tipo de Transitabilidade = Muito Restritiva CNF 100%

## Regra 21

SE Peso Declividade = Muito Restritiva

E Peso Vegetação = Restritiva

E Presença de Precipitações = Não

E Presença de Nebulosidade = Sim

ENTÃO Tipo de Transitabilidade = Impeditiva CNF 100%

## Regra 22

SE Peso Declividade = Impeditiva

E Peso Vegetação = Restritiva

E Presença de Precipitações = Não

E Presença de Nebulosidade = Sim

ENTÃO Tipo de Transitabilidade = Impeditiva CNF 100%

## Regra 23

SE Peso Declividade = Adequada

E Peso Vegetação = Impeditiva

E Presença de Precipitações = Não

E Presença de Nebulosidade = Sim

ENTÃO Tipo de Transitabilidade = Muito Restritiva CNF 100%

## Regra 24

SE Peso Declividade = Restritiva

E Peso Vegetação = Impeditiva

E Presença de Precipitações = Não

E Presença de Nebulosidade = Sim

ENTÃO Tipo de Transitabilidade = Impeditiva CNF 100%

## Regra 25

SE Peso Declividade = Muito Restritiva

E Peso Vegetação = Impeditiva

E Presença de Precipitações = Não

E Presença de Nebulosidade = Sim

ENTÃO Tipo de Transitabilidade = Impeditiva CNF 100%

## Regra 26

SE Peso Declividade = Impeditiva

E Peso Vegetação = Impeditiva

E Presença de Precipitações = Não

E Presença de Nebulosidade = Sim

ENTÃO Tipo de Transitabilidade = Impeditiva CNF 100%

## PERGUNTAS

Variável: Tipo de Transitabilidade

Pergunta: "Qual é a combinação dos pesos?"

---

Gerado com o Expert SINTA versão 1.1b

(c) 1997 - Universidade Federal do Ceará

Laboratório de Inteligência Artificial

LIA/UFC

---