

# MODELAGEM DE FERRAMENTA DE APOIO A DECISÃO BASEADA EM GRAFOS

**Roberto de Beauclair Seixas**      **Asla Medeiros e Sá**

Instituto de Matemática Pura e Aplicada – IMPA  
Estrada Dona Castorina, 110 – Rio de Janeiro, RJ – 22460-320  
[tron,asla}@impa.br](mailto:{tron,asla}@impa.br)

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-Rio  
Grupo de Tecnologia em Computação Gráfica – TECGRAF  
Rua Marquês de São Vicente, 225 – Rio de Janeiro, RJ – 22453-900  
[tron@tecgraf.puc-rio.br](mailto:tron@tecgraf.puc-rio.br)

**Adriano Lauro**

Centro de Instrução Almirante Sylvio de Camargo  
Rua Magno Martins, S/N – Rio de Janeiro, RJ – 21921-000  
[adlauro@ig.com.br](mailto:adlauro@ig.com.br)

---

**Resumo:** O presente trabalho descreve a modelagem de uma ferramenta de apoio a decisão para auxiliar as etapas do processo de planejamento militar (PPM), em que devemos analisar e comparar dados do terreno e das tropas situadas na área onde se desenvolverá uma operação militar. Tal ferramenta baseia-se fundamentalmente na construção de um grafo, cujos nós representam os acidentes capitais (AC) demarcados na área de operação e cujas arestas representam as vias de acesso (VA) que interligam os AC. Os pesos a serem atribuídos às arestas do grafo e a descrição de uma linha de ação (LA) são de grande importância na eficiência da análise a ser fornecida pela ferramenta. Propomos uma descrição da LA baseada no grafo construído, levando em consideração os elementos fundamentais do terreno e uma maneira de obtê-la automaticamente.

**Palavras-Chaves:** Planejamento Militar, Apoio Multicritério à Decisão, Grafos.

**Abstract:** The present work describes the modeling of a decision support tool to assist the stages of the process of military planning (PPM), where we must analyze and compare given of the terrain characteristics and the troops in the area where a military operation will be developed. Such tool is based basically on the construction of a graph, whose we they represent the accidents capitals (AC) demarcated in the operation area and whose edges represent the access ways (VA) that they connecting the AC. The weights to be attributed to the edges of the graph and the description of an action role (LA) are of great importance in the efficiency of the analysis to be supplied by the tool. We consider a description of the LA based on the constructed graph, taking in consideration the basic elements of the terrain and a way to get it automatically.

**Keywords:** Military Planning, Decision Support Systems, Graphs.

---

## 1. Introdução

Temos como objetivo a análise de características de relevância de um problema militar com a finalidade de saber comparar o desempenho de diferentes linhas de ação (LA), definidas no contexto de uma missão e quantificá-las em termos de baixas e tempo necessário para o cumprimento da missão, permitindo uma avaliação quanto à adequabilidade, aceitabilidade e exequibilidade, considerando as restrições da missão a ser executada. Essa avaliação deve considerar o tempo necessário para o cumprimento da missão e as baixas previstas como aceitáveis para permitir uma avaliação mais criteriosa.

No contexto militar, uma linha de ação consiste de um *plano realizável através do qual a missão pode ser cumprida* que descreve para a força O QUE deve ser feito para atingir o efeito desejado e COMO fazê-lo.

Para desenvolver uma ferramenta de apoio à decisão, temos que transformar essa definição qualitativa do nosso objeto de estudo em termos precisos que possam ser considerados. Na seção 2 vamos descrever o problema militar em mais detalhes para então chegar a modelagem da LA que propomos na seção 3. Os detalhes de implementação serão abordados na seção 4, e a seção 5 fica reservada a comentários e conclusões.

## 2. O Problema Militar

Para estudar uma dada missão o comandante de um escalão segue um processo de planejamento militar (PPM) constituído de etapas e fases bem definidas. As etapas são três:

1. EXAME DA SITUAÇÃO: Análise dos fatores da situação para chegar à decisão.
2. DESENVOLVIMENTO DO PLANO DE AÇÃO: Demonstração de como a decisão será posta em execução e a ELABORAÇÃO DA DIRETIVA: Formalização da decisão sob a forma de documento.
3. CONTROLE DA AÇÃO PLANEJADA: Assegura que a operação se desenvolva como planejado e a revisa, se necessário.

A etapa de EXAME DA SITUAÇÃO consiste de uma extensa coleta de dados, seguida de uma análise sistemática que envolve a missão, o inimigo, o terreno, os meios e o tempo disponível; informações que o comandante leva em consideração para tomar suas decisões.

A missão já deverá ter sido estudada pelo comandante e alguns dados relevantes para nosso trabalho serão inseridos no sistema (objetivos, valor de tropa e tempo limite para a chegada nos objetivos, entre outros), através de uma interface apropriada.

De forma semelhante, o inimigo já deverá ter sido estudado pelo oficial de inteligência e suas possibilidades deverão também fazer parte dos dados de entrada do sistema.

Do terreno, partindo do pressuposto de que possuímos o modelo computacional da área onde será desenvolvida a operação, serão extraídos dados importantes. Esse estudo terá grande influência do escalão considerado e já deverá ter sido feito, em parte, pelo oficial de inteligência, que deverá alimentar o a ferramenta desenvolvida com o calco de acidentes capitais e vias de acesso; dois conceitos fundamentais para o entendimento desse trabalho:

- **Acidentes Capitais:** *região do terreno cuja posse, conquista, manutenção e controle assegura vantagem marcante para qualquer um dos lados oponentes. Normalmente coincidem com elevações do terreno.*
- **Vias de Acesso:** *faixa do terreno, variável com o escalão considerado, que liga dois acidentes capitais.*

As linhas de ação (LA) já deverão ter sido estudadas pelo oficial de operações e serão mais um dado de entrada.

Os dados até então levantados: missão (estudada pelo comandante), inimigo e terreno (estudados pelo oficial de inteligência), os meios e tempo disponível que se traduzem nas LA formuladas pelo oficial de operações, serão processados pelo comandante, que fará um “jogo de guerra mental” nas fases Possibilidade do Inimigo (PI), LA e confronto, ainda no Exame da Situação, para que, juntamente com as estimativas de Estado Maior, o comandante possa chegar a DECISÃO.

O programa em desenvolvimento, Ferramenta de Apoio a Decisão (FAD), irá processar dados

relevantes e gerar uma resposta com perdas e tempo necessário para o cumprimento da missão para cada uma das LA, dando subsídios para a tomada de decisão do comandante, especificamente estaremos contribuindo para o confronto na etapa do Exame da Situação.

### 3. Formulação Teórica

O conceito de AC nos permite considerar apenas alguns pontos de interesse do terreno, que são interligados pelas vias de acesso; isso nos conduz a construir um grafo cujos nós são os acidentes capitais demarcados na área de operação e as arestas são as vias de acesso que interligam estes acidentes capitais. Com base neste grafo pretendemos atribuir pesos às arestas e aos nós que possam auxiliar a visualizar e estudar as condições da área de operação.

Com a finalidade de qualificar as VA e AC analisaremos as características da área de operação do ponto de vista do terreno. Os pesos a serem atribuídos às arestas (vias de acesso) dizem respeito a: **E**xtensão, **D**omínio de vistas e fogos, **E**spaço para manobra, **T**omada do dispositivo, **O**rientação para o objetivo, **P**rogressão CC/INF, **A**proximação de meios, **D**eslocamento das armas de apoio e **A**poio de fogo. Esses atributos estão relacionados a características do terreno; em um segundo momento, temos que considerar as possibilidades do inimigo, que são fundamentais para a qualificação das LA.

Os dados para construção do grafo e atribuição dos seus pesos serão parcialmente fornecidos pelo usuário e a outra parte será calculada automaticamente baseando-se no modelo digitalizado do terreno. Podemos então, a partir deste grafo, esboçar conclusões no sentido de apontar áreas críticas de segurança, fatores de força e fraqueza, pontos críticos das vias de acesso, entre outros. Também serão colocados no grafo informações de trafegabilidade e visibilidade intrínsecas do terreno devido às condições meteorológicas, além de ser considerada a natureza da tropa em questão. Um maior detalhamento de todos os dados a serem inseridos no grafo e de como extraí-los dos dados do terreno foge ao escopo deste artigo.

Temos assim um modelo de um grafo ponderado, que possui atributos tanto nos nós (AC) quanto nas arestas (vias de acesso) e cujos pesos são multicritério (Figura 1). A maneira de combinar essas informações, para qualificar comparativamente duas VA ou dois AC, não depende unicamente de seus valores absolutos mas depende também da idéia do comandante da operação, o que insere uma subjetividade que deve ser considerada pelo modelo. Assim, a métrica a ser definida para os dados é de fundamental importância para a validação da ferramenta e deve poder ser modificada segundo a intenção do usuário. No presente trabalho não estaremos preocupados com a discussão da definição desta métrica. Partiremos do pressuposto que esta métrica existe e consideraremos os desdobramentos da ferramenta a partir disso.

Queremos então traduzir o conceito qualitativo de LA: *plano realizável através do qual a missão pode ser cumprida* que descreve para a força O QUE deve ser feito para atingir o efeito desejado e COMO fazê-lo (ver Figura 2), de maneira que possa ser tratado computacionalmente. Ou seja, queremos descrever uma LA em nosso grafo.

No esquema mostrado na Figura 2, podemos observar uma compartimentação do terreno em áreas que serão cobertas por subconjuntos da força designada para a missão. Essa observação nos leva a considerar cortes de arestas do grafo inicial para definição das zonas de ação que cabem a cada parte da força que está sendo considerada. Na Figura 3 mostramos um esquema do problema idealizado.

É importante ressaltar que a divisão do grafo está sendo feita de forma automática porque estaremos considerando o trabalho como uma ferramenta para a Etapa do Exame da Situação do Processo de Planejamento Militar, e neste momento do planejamento, ainda não se possui as Zonas de Ação das peças de manobra que irão conquistar os objetivos, apesar de já ter havido o estudo do terreno. Exigir que o usuário da ferramenta defina essas zonas de ação seria exigir que o usuário quebrasse a seqüência do PPM. Estaríamos, então, propondo uma ferramenta de apoio à decisão, não uma ferramenta para um novo processo de tomada de decisão, o que não atingiria a meta proposta no início deste trabalho.

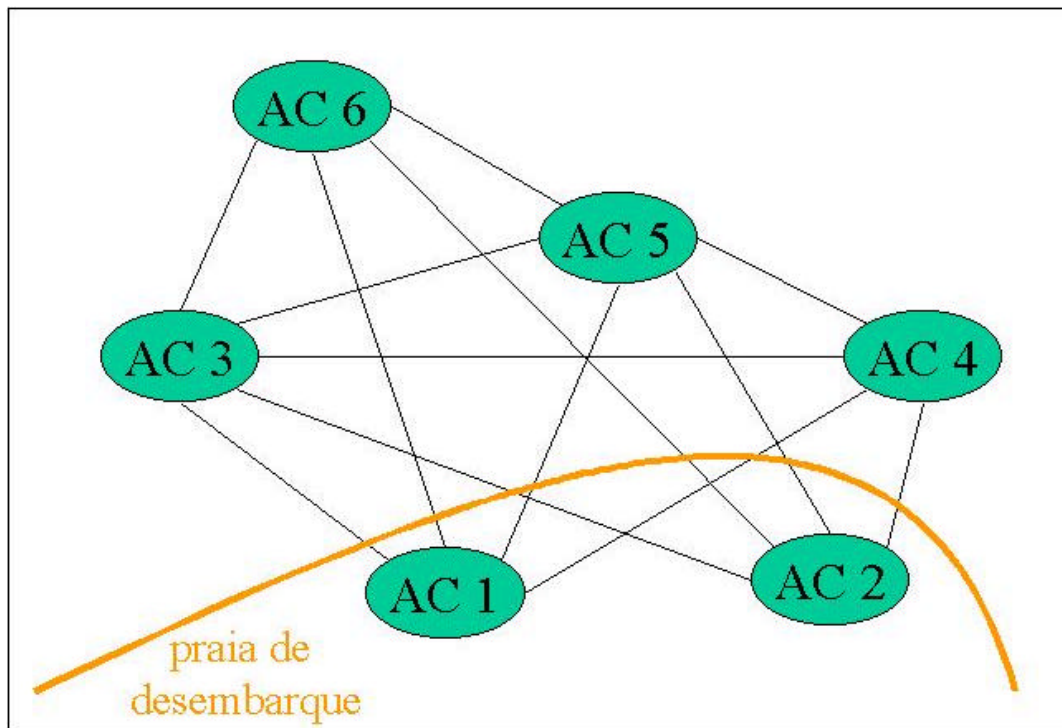


Figura1: Grafo de características militarmente relevantes do terreno.

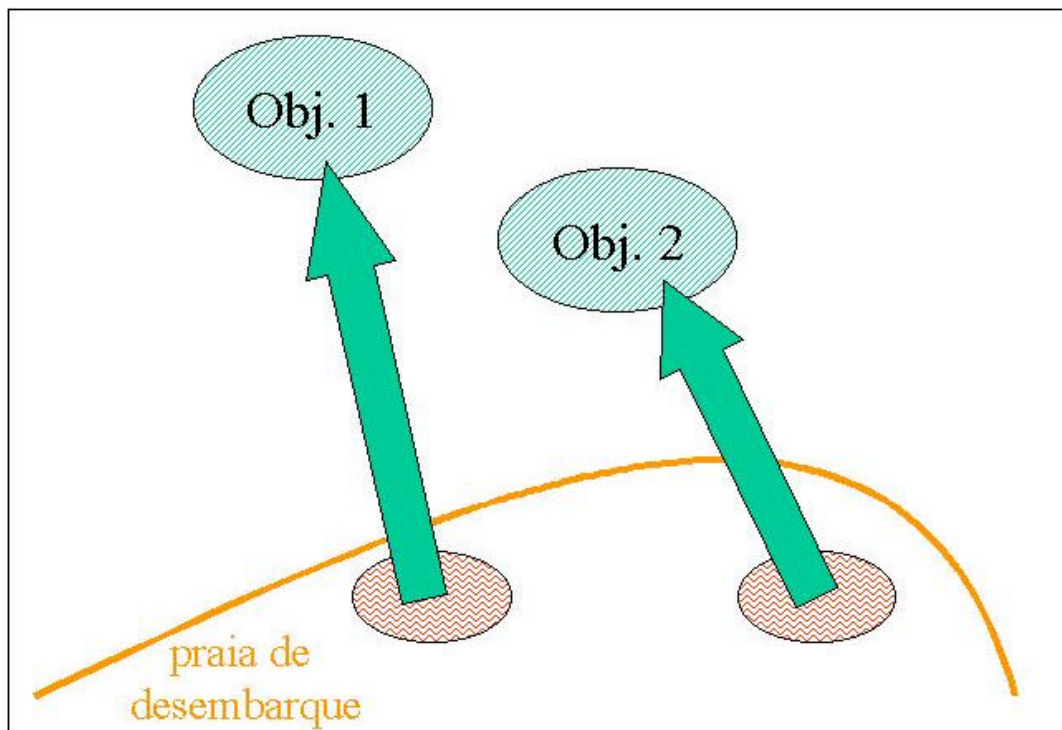


Figura2: Esquema de uma LA como é tradicionalmente representada.

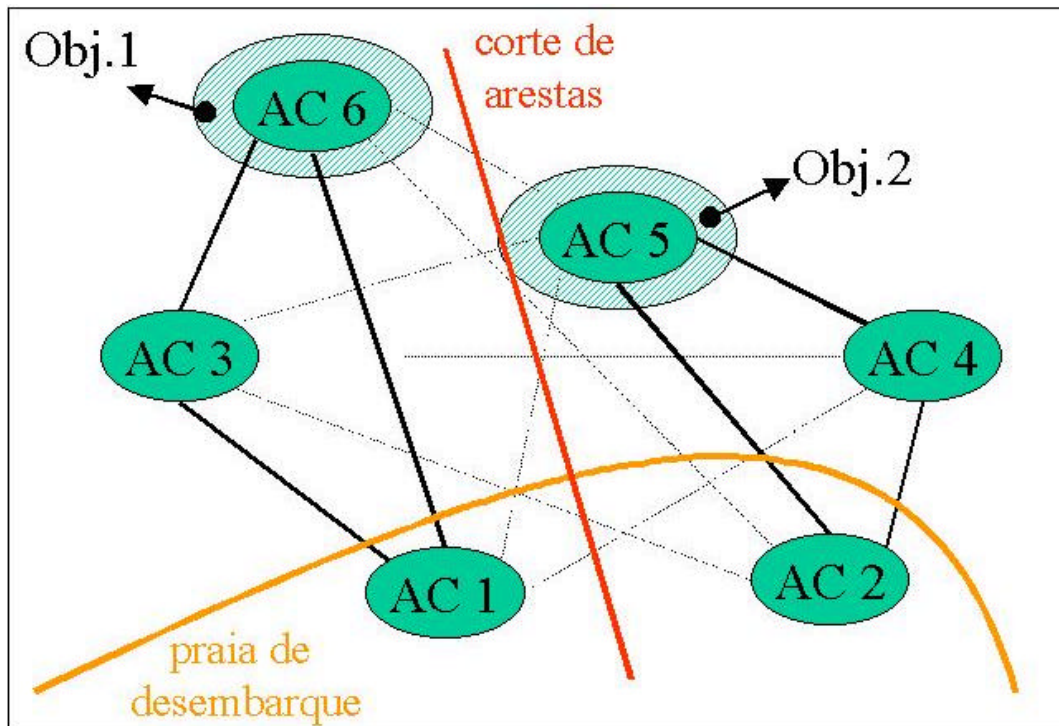


Figura 3: Esquema dos cortes de arestas para definição de uma LA.

Outra forma de avaliar o problema é solicitando ao usuário que defina as faixas no terreno por onde ele visualiza o emprego de suas peças de manobra, mas de forma semelhante, estaríamos caindo na subjetividade de ter que definir os limites das componentes conexas do grafo, visto que o usuário não estaria definindo com precisão os limites entre suas peças de manobra.

Existem Forças Armadas de outros países que representam as LA baseada em um calco, fato que corrobora com a possibilidade da definição inicial da faixa de terreno pelo usuário. No entanto, atualmente, no CFN a representação da LA é realizada apenas de forma esquemática.

#### 4. Implementação

Passaremos agora a tratar do problema de como proceder para obter os cortes do grafo. Consideraremos que os AC foram inseridos pelo usuário da ferramenta sobre a área de operação da missão. Utilizaremos então o grafo completo relativo aos AC descritos. Apesar de considerar o grafo completo, existe uma distinção a ser definida também pelo usuário entre VA inseridas por ele e VA definidas pelo sistema a fim de completar o grafo para efeito de cálculos.

No momento não estamos preocupados com a métrica, mas apenas com a capacidade de produzir cortes de arestas no grafo de maneira eficiente. Por isso o único atributo a ser considerado no momento é a extensão de cada VA. Como dado de entrada temos também o número de componentes conexas a ser obtido, ou seja, em quantas partes a força será subdividida.

##### Algoritmo:

ENTRADA: Grafo completo cujos nós são os AC, extensão de cada aresta, número  $n$  de subdivisões a ser obtido.

SAÍDA:  $n$  componentes conexas do grafo.

1. Atribuir o primeiro nó para cada uma das partes da força.
2. Ordena por extensão todas as arestas que possuem uma das extremidades ocupadas por uma força e a outra extremidade não ocupada.

3. Ocupa a extremidade mais próxima a cada força.
4. Repita os passos 2 e 3 até que não hajam mais AC desocupados.

Os cortes são definidos pelas arestas que possuem extremidades ocupadas por diferentes forças.

Esse algoritmo apresenta algumas características indesejáveis, por exemplo, uma força A pode atravessar uma força B caso todos os seus vizinhos geográficos tenham sido ocupados pela força B, isso pode acontecer porque estamos trabalhando com o grafo completo (Figura 4). O objetivo de uma certa força A pode ser ocupado pela força B se não impusermos certas restrições. Desse modo, para que o algoritmo funcione nestes casos, temos que impor alguns procedimentos extraordinários e considerar a diferença entre arestas definidas pelo usuário e arestas inseridas pelo sistema. Se considerássemos apenas as arestas definidas pelo usuário, seríamos levados a cometer outro tipo de erro, por exemplo, uma força A poderia ficar ilhada caso todos os seus vizinhos fossem ocupados pela força B; no caso do grafo completo, isso só acontece quando todos os AC estão ocupados.

## 5. Considerações Importantes

O grafo seccionado automaticamente poderá estar excluindo de uma peça de manobra uma VA que o Comandante (usuário) poderá estar imaginando útil para o cumprimento da missão pois, apesar de os limites não estarem traçados, o comandante já possui o estudo do terreno, os meios disponíveis e tem definidos os objetivos.

Por isso, esse corte automático deverá apresentar graficamente (Figura 5) ao comandante as regiões (grafos) consideradas para cada peça de manobra, por ocasião dos resultados emitidos pela FAD.

Também será de fundamental importância que após o processo de corte automático das arestas e dos resultados emitidos pela ferramenta, o Comandante possa redefinir algumas restrições, como por exemplo, que uma de suas peças de manobra deve passar em determinada região (AC). Isso possibilitará uma interatividade com o sistema, enriquecendo o confronto (Figura 6).

Por ocasião dos cálculos da FAD, deverá ser informado, para cada peça de manobra, o melhor, o pior e a média dos resultados obtidos para cada VA, a fim de permitir que o Comandante faça comparações entre os resultados dos cálculos executados com o corte automático do grafo, com resultados influenciados por restrições impostas por ele.

Os dados de entrada fornecidos pelo usuário serão de fundamental importância para a realização dos cálculos e o conseqüente resultado emitido pela ferramenta. A experiência do Comandante em especificar, por ocasião da definição dos critérios de decisão na entrada dos dados no sistema, o valor ponderado que ele dará a cada um dos aspectos considerados é de grande importância.

Apesar de não estarmos preocupados, neste trabalho, com a métrica empregada, ela poderá inviabilizar a execução do corte automático das arestas. Pode-se permitir que o insucesso ocorra e o usuário da ferramenta perceba o dado de entrada que gerou tal resposta, ou limitar os dados de entrada com valores máximos e mínimos para cada item a ser avaliado. Essa segunda opção poderá estar excluindo possibilidades, enquanto a primeira poderá estar permitindo resultados que seriam inatingíveis por ocasião da execução da operação militar.

Por exemplo, ao atribuir o peso a ser dado aos aspectos considerados em uma VA, o usuário poderá definir peso 20 para a tomada de dispositivo e peso 1 para todos os outros aspectos. Caso o item tomada para o dispositivo tenha um excelente valor em uma aresta que tenha todos os outros itens degradados, essa aresta poderá ser considerada a melhor. No entanto, ela poderá inviabilizar a manobra caso ela seja demasiada extensa para permitir a chegada da tropa no tempo mínimo necessário.

A digitalização do terreno deverá estar com dados atuais e confiáveis para permitir que a

métrica utilizada na ponderação dos arcos do grafo seja aderente a realidade. Um rio intransponível para uma tropa a pé deverá estar assim representado pela digitalização do terreno, que é considerada neste trabalho como dado de entrada, pois, caso contrário, também estará, através da métrica (não considerada no desenvolvimento desse trabalho), inviabilizando qualquer corte de aresta realizado pelo algoritmo desenvolvido.

Os índices utilizados para a definição de atrito entre as tropas que serão empregados em uma fase posterior a fase da divisão do grafo, serão também importantes para os resultados da FAD. A forma de como esses índices foram obtidos são extremamente importantes pois, com dados imprecisos se gerarão respostas também imprecisas, podendo levar a “impressão” de que a divisão do grafo não está sendo realizada de forma eficiente.

## **6. Conclusões**

Como pudemos observar, o algoritmo de corte das arestas por si só não estaria resolvendo o problema da necessidade da divisão do terreno para as peças de manobra. É necessário a confecção de uma interface que facilite a interatividade entre o usuário e a ferramenta de apoio à decisão, para que possam ser inseridas as percepções individuais do usuário (Comandante) e permitindo avaliações ponderadas a respeito de cada LA.

A divisão do grafo em  $n$  componentes conexas, é de grande valia em uma fase inicial do estudo, onde o Comandante está estudando sua manobra e deverá estar considerando todas as variáveis possíveis para a correta tomada de decisão. Ela poderá estar alertando ao Comandante a possibilidade de utilização de faixas do terreno que, inicialmente, em uma análise completamente subjetiva, não apresenta atração para seu emprego, bem como estar sinalizando que uma faixa do terreno que foi considerada sem grande valor inicial, poderá avultar de importância em determinados casos.

A métrica utilizada no sistema, bem como as inseridas pelo usuário, poderão inviabilizar a divisão do grafo baseada no algoritmo proposto. O mesmo acontece com outros dados de entrada e principalmente com o terreno digitalizado. Caso os atributos da digitalização do terreno não estejam coerentes com a realidade, a divisão dos arcos para a resposta do sistema, de forma semelhante, poderá estar prejudicada, prejudicando todas as outras respostas que dele depende.

A utilização de um grafo completo poderá gerar resultados incompatíveis com os resultados esperados, induzindo o usuário a avaliações errôneas. Por isso, deve-se utilizar, prioritariamente, os arcos definidos pelo usuário.

Os índices dos atritos entre as tropas devem ser obtidos de forma séria, através da avaliação operacional, da obtenção de dados de fabricantes e de estudos históricos, a fim de permitir que a Ferramenta de Apoio à Decisão tenha validade no auxílio do processo decisório.

A eficiência do algoritmo proposto somente poderá ser avaliada se a métrica utilizada para a valoração dos parâmetros, que não foi tema deste estudo, seja válida e que exista a possibilidade de definição de divisões do grafo realizada pelo usuário, para que ele possa comparar resultados, como também, ganhar confiança na Ferramenta de Apoio a Decisão.

## **Agradecimentos**

Gostaríamos de agradecer ao Corpo de Fuzileiros Navais do Centro de Instrução Sylvio de Camargo pelas contribuições a este trabalho e aos seus esforços no desenvolvimento no “Sistema de Jogos Didáticos”.

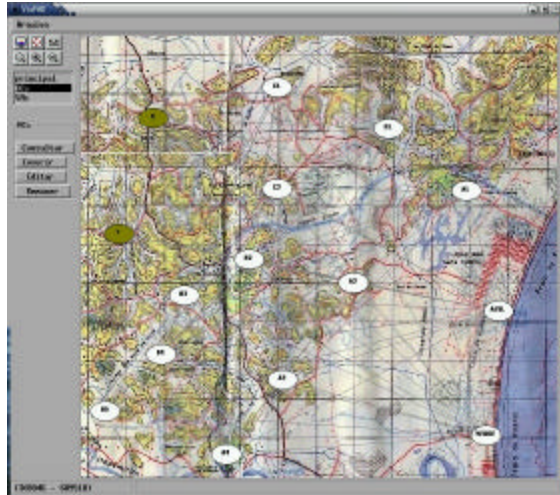


Figura 4: Inserção dos Acidentes de Capital (possíveis VA em cinza).  
Os objetivos estão ressaltados em verde.

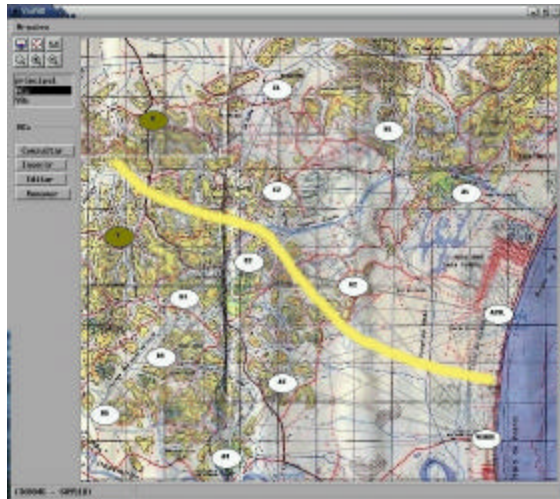


Figura 5: Corte de Arestas (em amarelo).

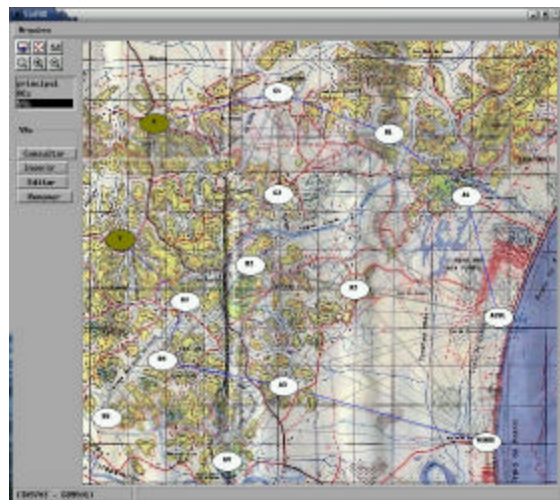


Figura 6: Escolha das Vias de Acesso para definição da Linha de Ação (em azul).

## **Referências Bibliográficas**

**CGCFN-1302**; “Manual de Instrução de Planejamento da Força de Desembarque”; *Comando-Geral do Corpo de Fuzileiros Navais*; Marinha do Brasil; 1993.

**CGCFN-1103**; “Manual do Combatente Anfíbio”; *Comando-Geral do Corpo de Fuzileiros Navais*; Marinha do Brasil; 1999.

**CAOCFN-2000**; “Mementos”; *Curso de Adestramento de Oficiais do Centro de Instrução Alte. Sylvio de Camargo*; Marinha do Brasil; 2000.

**SJD-2**; “Sistema de Jogos Didáticos”; *Centro de Jogos Didáticos do Centro de Instrução Alte. Sylvio de Camargo*; Marinha do Brasil; 2000.