

## **Integração de dados de sensoriamento remoto e Sistemas de Informação Geográfica para análise de trajetos de um gasoduto**

Erivelto Mercante <sup>1</sup>  
João Francisco Gonçalves Antunes <sup>1,2</sup>  
Jansle Vieira Rocha <sup>1</sup>  
Rubens Augusto Camargo Lamparelli <sup>3</sup>  
Jurandir Zullo Jr. <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Faculdade de Engenharia Agrícola - FEAGRI/UNICAMP  
Caixa Postal 6011 - 13083-875 - Campinas - SP, Brasil  
{erivelto.mercante, jansle}@agr.unicamp.br

<sup>2</sup> Embrapa Informática Agropecuária (mestrando na FEAGRI)  
Caixa Postal 6041 - 1083-886 - Campinas - SP, Brasil  
joaof@cnpia.embrapa.br

<sup>3</sup> Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura  
CEPAGRI/UNICAMP  
Cidade Universitária "Zeferino Vaz" - 13083-970 - Campinas - SP, Brasil  
{rubens, jurandir}@cpa.unicamp.br

**Abstract.** The use of decision support tools in Geographic Information Systems (GIS) has assisted in application such as impact, suitability and viability analysis. This paper presents a case study on the application of these tools for analysis of gas pipeline pathway connection a refinery to three cities in the region of Campinas. Land use and digital elevation model were used as variables. The processing and the analysis of spatial information were realized with in GIS IDRISI. The first approach used a cost surface to determine the least cost route. The pathway obtained considered in the majority areas of pastures and with slope of up to 15%. The second approach was based on multiple criteria analysis balancing of factors such as distance, slope and land use. The multiple criteria analysis was influenced by land use, however, the slope and the distance between the cities are the basic factors in tracing the pathway, reflecting less cost. This result constitute an important subsidy for decision about the best alternative of gas pipeline pathway, allowing a more rational and less subjective choice.

**Palavras-chave:** natural gas vehicle, GIS, decision making, SRTM, gás natural veicular, SIG, tomada de decisão.

### **1. Introdução**

O gás natural é uma fonte de energia limpa, econômica e segura, cada vez mais presente em residências, transportes e indústrias. Sua utilização vem substituindo principalmente os combustíveis tradicionais, mais poluentes e menos eficientes.

A expansão do consumo do Gás Natural Veicular (GNV) no Brasil tem superado todas as expectativas do setor. Em 1991 eram sete mil m<sup>3</sup> diários saltando para mais de dois milhões de m<sup>3</sup> no primeiro trimestre de 2002. Atualmente, o volume de GNV consumido aumentou 19,7% na comparação do acumulado dos nove primeiros meses de 2004, com o mesmo período no ano de 2003. A Petrobrás, líder do mercado, com vendas de cerca de um milhão de m<sup>3</sup> diários de GNV, planeja mais que dobrar sua rede atual de 135 postos. A Comgás, concessionária de gás canalizado, que atua em 180 municípios do Estado de São Paulo, tem planos de incrementar o fornecimento de GNV. A utilização do GNV decorre simultaneamente da disponibilidade do gás natural, da existência de postos de abastecimento e de veículos adaptados ao seu uso (Cantalice, 2004).

Atualmente, a Refinaria de Paulínia (REPLAN) serve como ponto de conexão com o Gasoduto Brasil-Bolívia. Nesse contexto, surge a necessidade das cidades da região se interligarem à rede de distribuição da REPLAN.

Segundo Silva (1999), o uso de Sistemas de Informações Geográfica (SIG) em problemas de tomada de decisão é uma ferramenta poderosa e eficiente nas diversas áreas do conhecimento, porque possibilita que o processo de tomada de decisão seja realizado de maneira mais fundamentada. Dessa forma, o agente de decisão tem à sua disposição dados e informações mais acessíveis, mais facilmente combinados e modificados, além de utilizar argumentos mais claros para a decisão.

Em um trabalho de análise do trajeto de um oleoduto na Rússia, Feldman et. al (1995) utilizaram dados de sensoriamento remoto (imagens Landsat) e mapas topográficos em conjunto com as rotinas de SIG, para determinar o trajeto de menor custo de um eventual oleoduto. Nas análises realizadas ficaram evidentes os benefícios da integração dos dados de sensoriamento remoto com as rotinas de um SIG, como uma primeira visão do trajeto do oleoduto. Para Ryder (1987), os fatores técnicos e as considerações ambientais são as variáveis que mais influenciam na seleção de trajetos de gasodutos e oleodutos, somado as exigências do próprio projeto.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo analisar possíveis trajetos do gasoduto interligando a REPLAN as cidades de Cosmópolis, Americana e Artur Nogueira utilizando um SIG, de modo a obter subsídios importantes para a tomada de decisão sobre a melhor alternativa de passagem do gasoduto, possibilitando uma escolha mais racional e menos subjetiva dos pontos de vista técnico, ambiental e econômico.

## 2. Material e Métodos

Os dados de sensoriamento remoto orbital utilizados para o desenvolvimento do trabalho foram uma imagem do satélite Landsat 7/ ETM<sup>+</sup> e o Modelo Digital de Terreno (MDT).

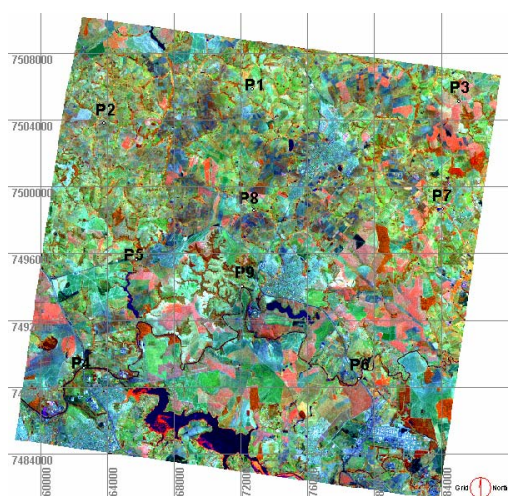
A imagem Landsat possui órbita/ponto 220/076, resolução espacial de 30 m, composição falsa-cor RGB-453, adquirida em agosto de 2001. Foi utilizado um dos quadrantes dessa imagem correspondente à região que engloba as cidades de Paulínia, Cosmópolis, Americana e Artur Nogueira, no Estado de São Paulo conforme mostrado na **Figura 1**.

O MDT foi obtido a partir dos dados da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). O SRTM é resultado de uma missão espacial da NASA (National Aeronautics and Space Administration), GAC (German Aerospace Center) e ISA (Italian Space Agency) realizada a bordo do ônibus espacial Endeavour durante onze dias em fevereiro de 2000, que teve como objetivo examinar a superfície terrestre, oceanos, atmosfera, gelo e vida como um sistema integrado usando interferometria (NASA, 2003).

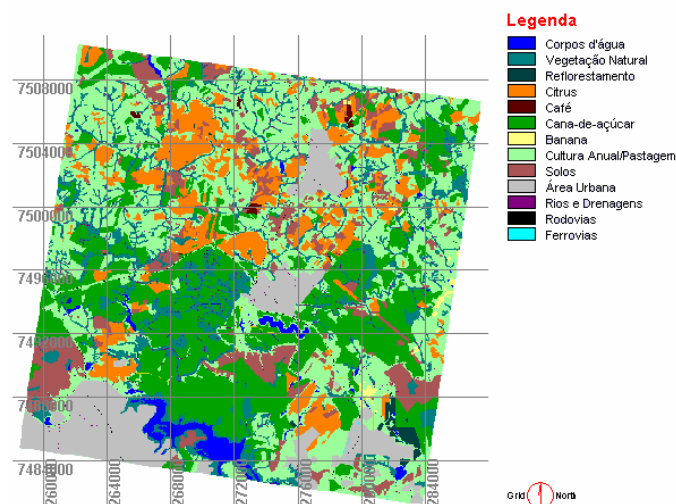
O SIG utilizado foi o IDRISI 3.2 que oferece um bom conjunto de ferramentas para a análise e suporte para tomada de decisões (Eastman, 1999).

Para adequação do material disponível, inicialmente foi necessário georreferenciar a imagem Landsat. Para isso foram utilizados nove pontos de controle coletados a partir das cartas topográficas da região em estudo, no sistema de coordenadas UTM 23 Sul, referente ao datum Córrego Alegre. O erro médio de registro do georreferenciamento foi de 10,32 m, aceitável para a resolução espacial da imagem pois ficou abaixo de um pixel.

Posteriormente foi realizado o mapeamento de uso do solo como mostrado na **Figura 2**, pelo método de interpretação visual, com base em conhecimentos prévios sobre a área de estudo adquiridos após o reconhecimento de campo, onde foram observadas as principais classes de coberturas de solo existentes.

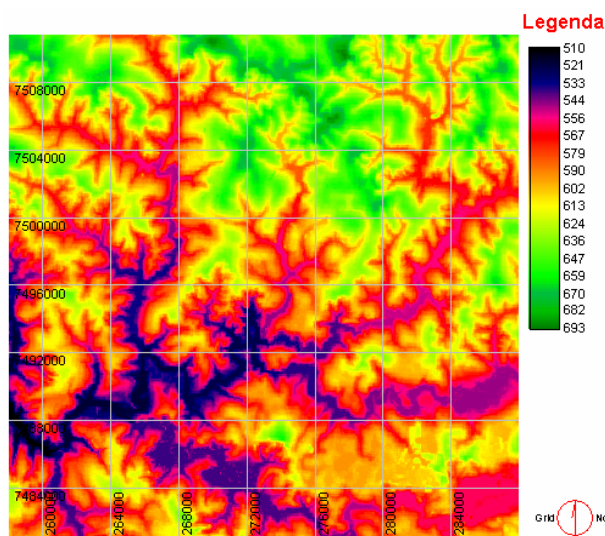


**Figura 1:** Composição RGB-453.

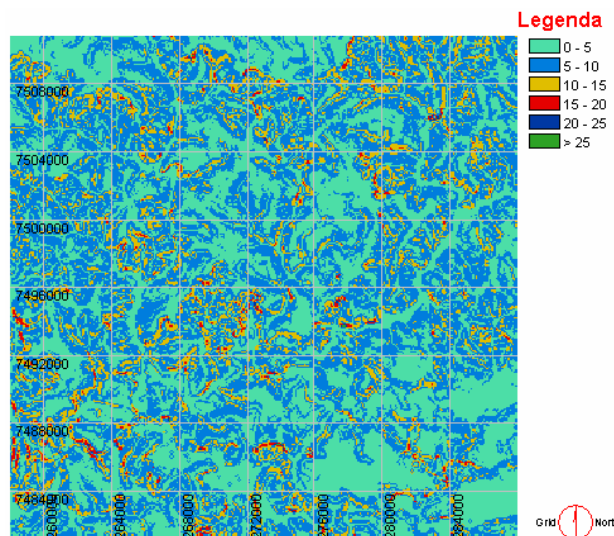


**Figura 2:** Classes de uso do solo.

Os dados da SRTM são gerados no sistema de coordenadas lat/long, referente ao datum WGS84, com resolução espacial de 90 m. Após a compatibilização com as especificações da imagem Landsat e correção de algumas falhas nos dados do SRTM, foi possível gerar o MDT conforme apresentado na **Figura 3**. Por meio do MDT, foi possível extrair o mapa de declividade utilizando-se o operador de contexto SLOPE. O próximo passo foi utilizar o comando RECLASS para gerar as classes de declividade, como pode ser visto na **Figura 4**.



**Figura 3:** Modelo Digital do Terreno - MDT.



**Figura 4:** Declividade em classes.

Uma das restrições impostas ao trajeto do gasoduto é causar o mínimo impacto ambiental. Sendo assim, baseou-se na Lei 4.771/65 do Código Florestal brasileiro que define a mata ciliar em torno de rios e lagoas como de preservação permanente, com uma área de preservação de 100 m ao redor de lagoas e 50 m de rios com extensão de 10 a 50 m, características da região em estudo. A partir da imagem de uso do solo foram extraídas as classes rios e lagoas, por meio dos comandos RECLASS e ASSIGN. Em seguida foi utilizado o operador de distância BUFFER para gerar as áreas de preservação permanente. A imagem das áreas de preservação permanente foi sobreposta ao mapa de uso do solo por meio do comando OVERLAY.

A alocação das subestações de interligação do gasoduto entre as cidades segue certas restrições. Deveriam ser instaladas num raio de no máximo 1000 m de distância de suas cidades. Para separar as áreas urbanas foi utilizado o comando RECLASS e ASSIGN, baseado no mapa de uso do solo. Após isso, utilizou-se o operador de distância BUFFER para criar o raio de 1000 m em torno das cidades. Decidiu-se por utilizar áreas com declividades menores que 5% para a instalação das subestações, como forma de baratear o custo da terraplanagem do local de instalação. Para classificar essas áreas foram utilizados os comandos RECLASS e ASSIGN, na imagem de declividade. Como forma de causar um mínimo impacto ambiental, as subestações deveriam ser instaladas em áreas fora da faixa de preservação permanente. Para retirar tais faixas foram utilizados os comandos RECLASS e ASSIGN, classificando apenas as áreas que não possuíam as faixas de preservação permanente. Além disso, as subestações deveriam ser alocadas em áreas que fossem ocupadas por pastagem para baratear o custo de desapropriação. Essas áreas foram classificadas por meio dos comandos RECLASS e ASSIGN, a partir da imagem de uso do solo. Assim, por meio da combinação dessas restrições com o comando OVERLAY foram separadas as áreas aptas para a construção das subestações do gasoduto. O ponto exato de alocação dentro dessas áreas foi selecionado de forma aleatória.

A metodologia para definir o melhor trajeto do gasoduto foi baseada em duas abordagens. Na primeira, a decisão sobre o melhor trajeto do gasoduto tem caráter eminentemente técnico. Uma vez estruturados os mapas das restrições é necessário desenvolver uma regra de decisão para avaliar as alternativas. Para isso foram criadas superfícies de atrito com a declividade e com o uso do solo para definir os custos associados com o movimento através do terreno e das várias classes de solo, respectivamente. O termo custo aqui empregado não representa valores monetários, mas o esforço necessário para transpor cada pixel em função dos valores adotados inicialmente.

Na segunda abordagem utilizou-se a avaliação por múltiplos critérios baseada na ponderação de fatores, como forma de oferecer subsídios importantes para a tomada de decisão sobre as melhores alternativas da passagem do gasoduto.

Para criação da matriz de ponderação foram selecionados como fatores ponderantes a distância entre as cidades, a declividade do terreno e o uso do solo.

No primeiro fator, como os locais da possível instalação das subestações estão próximos às cidades, a rota do gasoduto deve ser a menor possível. Para gerar a imagem referente a esse fator, foi utilizado o operador de distância DISTANCE a partir da imagem com os pontos das subestações. Para que os maiores valores sejam os mais próximos às cidades, utilizou-se o comando FUZZY, com a função linear decrescente, no formato byte, padronizando os níveis de 0 a 255.

Para o segundo fator, como a imagem declividade já foi gerada do MDT, foi preciso somente adequá-la, também se utilizando o comando FUZZY, com a função linear decrescente, no formato byte, padronizando os níveis de 0 a 255.

O terceiro fator é o uso do solo, onde as terras mais aptas à passagem dos dutos possuem as mais altas classes de classificação. Isto foi feito por meio dos comandos RECLASS e ASSIGN a partir da imagem de classes de uso do solo. A imagem resultante foi igualmente adequada, utilizando-se o comando FUZZY com a função linear decrescente, no formato byte, padronizando os níveis de 0 a 255.

Após isso, o próximo passo é a geração dos pesos ponderados dos fatores. Para esse julgamento foi utilizada a seguinte escala de nove pontos: 1/9 (extremo); 1/7 (muito forte); 1/5 (forte); 1/3 (moderado); 1 (igual); 3 (moderado); 5 (forte); 7 (muito forte) e 9 (extremo). Baseada nessa escala foi criada a matriz de ponderação dos pesos, conforme apresentado na **Tabela 1**. Após a criação da matriz foi utilizado o comando WEIGHT para geração dos pesos.

**Tabela 1:** Matriz de ponderação dos pesos dos fatores

Fatores	Declividade	Distância	Uso do solo
<b>Declividade</b>	1	3	5
<b>Distância</b>	1/3	1	1/3
<b>Uso do solo</b>	1/5	3	1

Por fim, as prefeituras das cidades podem exigir que o trajeto do gasoduto não atravesse o perímetro urbano das cidades e as lagoas. Com isso, foi criada uma imagem de restrição por meio dos comandos RECLASS e ASSIGN, a partir da imagem de uso do solo.

### 3. Resultados e discussões

Para realizar o trajeto do gasoduto baseado na primeira abordagem, primeiramente foi criada uma superfície de atrito com a declividade. Assumiu-se que custa o valor básico um para se cruzar um terreno com declividade de 0 a 5%. O gasoduto não deve atravessar áreas com declividade acima de 60%. Dado o valor base, os valores relativos para a declividade são apresentados na **Tabela 2**. As classes de 45 a 60% e acima de 60% receberam um valor de atrito alto para evitar que o gasoduto cruze áreas do terreno com essa declividade.

**Tabela 2:** Valores de atrito para a declividade

Classes de Declividade (%)	Valores do Atrito
0 a 5	1
5 a 15	2
15 a 30	4
30 a 45	10
45 a 60	100
> 60	1000

Uma outra superfície de atrito foi criada com relação ao uso do solo. Assumiu-se que custa o valor básico um para as classes pastagem e solo. Os valores relativos de atrito para as classes de uso do solo são dados na **Tabela 3**. As classes área urbana e corpos d'água receberam um valor de atrito alto para forçar que o gasoduto seja traçado para fora dessas áreas.

**Tabela 3:** Valores de atrito para as classes de uso do solo

Classes de Uso do Solo	Valores do Atrito
Pastagem, Solos	1
Reflorestamento, Cana-de-açúcar, Banana	2
Citrus	4
Café	5
Vegetação natural, Rodovias e Ferrovias	10
Áreas de Mata Ciliar	50
Rios e Drenagens	100
Corpo d'água, Área urbana	1000

Após isso as duas superfícies de atrito foram combinadas com o comando OVERLAY.

Na criação da superfície de custo para os vetores refinaria, Americana e Artur Nogueira, foi necessário transformar os vetores refinaria, Americana e Artur Nogueira em imagens RASTER, utilizando o comando POINTRAS. Após isso, foram então geradas as superfícies de custo por meio do operador de distância COST, combinando cada imagem de superfície de atrito com as respectivas imagens. A superfície de custo é calculada a partir da REPLAN, depois de Americana e por último de Artur Nogueira, considerando uma superfície de atrito que representa uma força contrária ao movimento.

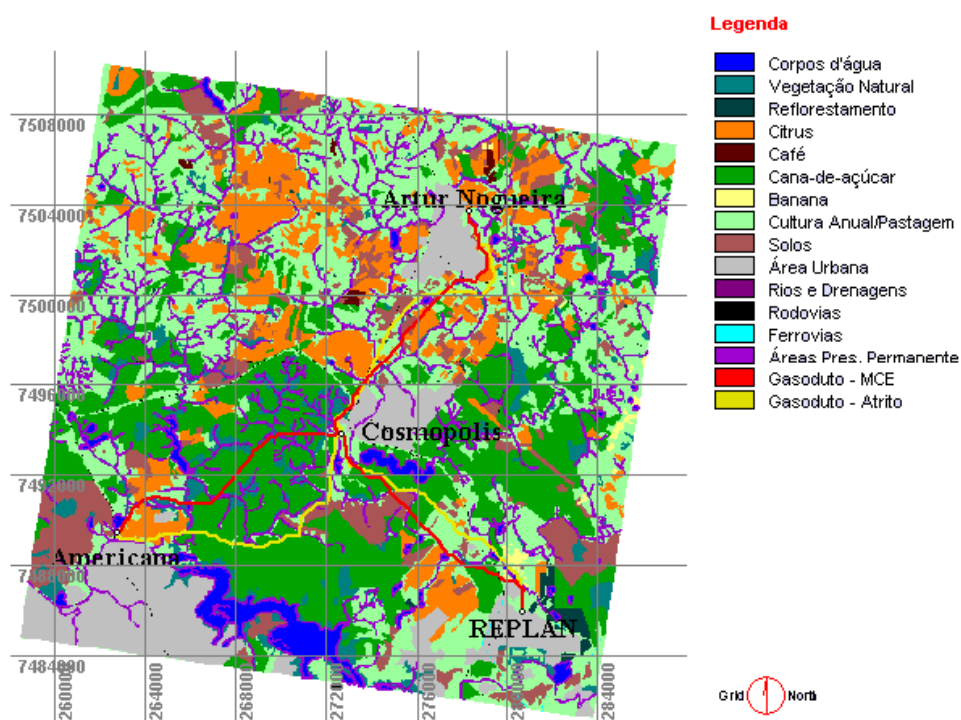
Na segunda abordagem foi utilizado o comando MCE (*Multi Criteria Evaluation*), gerando uma imagem de aptidão (custo) que relaciona os fatores ponderados mais importantes do ponto de vista técnico (distância e declividade) e ambiental (uso do solo) frente à imagem de restrição. Os resultados obtidos da ponderação para cada fator estão listados na **Tabela 4**.

**Tabela 4:** Pesos ponderados entre os fatores

Fatores	Pesos
Declividade	0,2583
Distância	0,1047
Uso do solo	0,6370

A taxa de consistência entre os pesos utilizados foi de 0,03, considerada aceitável. Com o resultado da ponderação relativa entre os fatores obtidos, foi possível realizar a avaliação de múltiplos critérios por meio do comando MCE, gerando uma imagem de aptidão. Para realizar o trajeto de passagem do gasoduto foi criada uma superfície de atrito relacionando os fatores ponderados no MCE. Primeiramente, a imagem foi classificada em oito classes por meio dos comandos RECLASS e ASSIGN. Posteriormente, foram definidos os valores relativos do atrito para as oito classes.

O passo final foi a geração dos trajetos de menor custo baseado nos dois métodos. Para isso, utilizou-se o operador de distância PATHWAY, o qual gerou a interligação do gasoduto da REPLAN até a cidade de Cosmópolis, da cidade de Americana a Cosmópolis e da cidade de Artur Nogueira a Cosmópolis, conforme pode ser visualizado na **Figura 5**. O operador PATHWAY busca na superfície de menor custo o trajeto de menor esforço de custo entre os pontos de partida e chegada estabelecidos.



**Figura 5:** Dois trajetos do gasoduto interligando a REPLAN e as cidades de Cosmópolis, Americana e Artur Nogueira.

#### 4. Conclusão

Esse estudo de caso baseou-se nos métodos de superfície de atrito gerada a partir do uso e declividade do terreno e na análise por múltiplos critérios com a ponderação dos fatores distância, declividade e uso do solo.

No primeiro, legenda Gasoduto - Atrito (amarelo escuro) **Figura 5**, a relevância do uso do solo tem uma influência direta no trajeto do gasoduto, refletindo a preocupação estritamente técnica que é a preservação ambiental. O trajeto obtido levou em consideração os valores de menores custos, sendo estes na grande maioria de áreas de pastagens e com declividade de até 15%. Como provavelmente o menor gasto de recursos financeiros seria uma condição do agente de decisão, outros cenários de alternativas poderiam ser elaborados por meio do SIG IDRISI, alterando-se os valores de atritos tanto para o uso do solo quanto para a declividade.

No segundo método, legenda Gasoduto - MCE (vermelho) **Figura 5**, constatou-se que a análise por múltiplos critérios é bastante influenciada pelo uso do solo, porém, a declividade e a distância entre as cidades são fatores fundamentais no trajeto do gasoduto, pois reflete o menor custo.

Dessa forma, pode-se concluir que as ferramentas de SIG constituem subsídios importantes à tomada de decisão sobre o melhor trajeto do gasoduto, possibilitando uma escolha mais racional do ponto de vista técnico, ambiental e econômico.

Cabe ressaltar o potencial de uso do MDT obtido dos dados da SRTM que podem gerar, de forma imediata, outros mapas de restrições como rede de drenagem, exposição de vertentes e comprimento de rampas, dentre outros.

#### 5. Referências

- Cantalice, O. **Consumo de GNV supera expectativas**. Hemeroteca do Instituto de Eletrotécnica e Energia - USP. Reportagem da Gazeta Mercantil de 02/09/2002. Disponível em <<http://infoener.iee.usp.br/infoener/hemeroteca/imagens/64549.htm>>. Acesso em 08. nov. 2004.
- Eastman, J. R. **Guide to GIS and Image Processing - IDRISI 32**. Idrisi Production, v.2, Worcester 1999, 193p.
- Feldman, S. C.; Pelletier, R.E.; Waker, E.; SMOOT, J. C.; AHL, D. A prototype for pipeline routing using remotely sensed data and geographic information system analysis. **Remote Sensing of Environment**, v. 53, n. 2, p. 123-131, 1995.
- NASA. **Jet Propulsion Laboratory**. California Institute of Technology. Disponível em: <<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm>>. Acesso em: 08. nov. 2004.
- Ryder, A. Pipeline routeing - experiences from Northern Scotland. **Pipes Pipelines International**, v. 27, n. 39, p. 5-14, 1987.
- Silva, A. B. **Sistemas de Informações Geo-referenciadas: conceitos e fundamentos**. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 1999, 235p.