

Geoprocessamento Aplicado à Análise da Expansão de Geração Termoelétrica

Profa. MSc. Kátia Livia Zambon¹
UNESP -CTI
Bauru – SP

Prof. Dr. Adriano Alber de França M. Carneiro²
EESC – USP – Depto. Engenharia Elétrica
São Carlos – SP

Prof. Dr. Antônio Néelson R. Silva³
EESC – USP – Depto. Engenharia Transportes
São Carlos – SP

MSc. Jean Cesari Negri⁴
CESP / USP
São Paulo – SP

¹ ✉ katia@sel.eesc.sc.usp.br

² ✉ adriano@sel.eesc.sc.usp.br

³ ✉ anelson@sc.usp.br

⁴ ✉ jnegri@cesp.com.br

Conteúdo	1 Introdução 2 Abordagem atual do problema 3 Proposta de Abordagem Utilizando Geoprocessamento 4 Sistema Teste Inicial 5 Considerações Finais sobre o trabalho 6 Agradecimentos 7 Referências Bibliográficas
-----------------	---

Resumo: A preocupação em atender a demanda de forma econômica e confiável é um dos principais objetivos do Setor Elétrico. No caso do Brasil, apesar de existir um grande potencial hidroelétrico instalado, com a crescente demanda de energia há frequentemente riscos de déficit, agravados pelo fato de que a água, o energético das usinas hidroelétricas, tem uma disponibilidade incerta. Muitos estudos têm sido realizados na área de Planejamento da Expansão para que a instalação de novos parques geradores seja feita de forma coerente, considerando-se aspectos ambientais, sociais e econômicos. O objetivo deste trabalho é a aplicação de geoprocessamento para Análise da Expansão da Geração Termoelétrica, permitindo a análise de múltiplos fatores, de forma hábil e eficiente.

Palavras chave: Geoprocessamento, Usinas Termoelétricas.

Abstract: One of the main goals of the companies managing the electricity supply is to meet the demand in a reliable and economic fashion. In the case of Brazil despite the large supply already offered by several hydroelectric power plants, an ever growing demand makes the energy deficit an actual risk. This is a frequent picture also worsened by the uncertainty of the water availability in the rivers feeding the plants. Many studies have been carried out for the Expansion Planning in a comprehensive and balanced way, which takes into account environmental, social and economic aspects. The aim of the work introduced here is to apply geoprocessing concepts and resources in order to improve the efficiency and efficacy of a multiple factor evaluation in the Analysis of the Thermal Generation Expansion.

Keywords: Geoprocessing, Thermal Plants.

1 Introdução

A energia elétrica é obtida a partir da transformação de outras formas de energia. Nos sistemas de potência, ou seja, nos sistemas elétricos onde estão envolvidas grandes quantidades de energia, as duas principais fontes primárias para geração de energia elétrica são o calor, através das usinas térmicas, e a energia potencial hidráulica, através das usinas hidroelétricas. Como o consumo de energia elétrica tem crescido a cada ano, resultando em uma demanda cada vez maior, são necessários investimentos maciços em geração e distribuição de energia.

A preocupação em atender esta demanda de energia elétrica, de forma econômica e confiável é um dos principais objetivos do Setor Elétrico. No caso do Brasil, apesar de existir um grande potencial hidroelétrico instalado, há frequentemente riscos de déficit, agravados pelo fato de que a água, o energético das usinas hidroelétricas, tem uma disponibilidade incerta.

Muitos estudos têm sido realizados na área de Planejamento da Expansão para que a instalação de novos parques geradores seja feita de forma coerente, considerando-se aspectos ambientais, econômicos e sociais (Fadigas 1997; Goldemberg 1995). A implantação de novas usinas termoelétricas (UTE's) está prevista como solução para a perspectiva do esgotamento dos recursos hidroelétricos nas regiões Sul-Sudeste do Brasil, além da ênfase dada aos projetos de implantação de usinas a gás natural, viabilizado pelo gasoduto Bolívia-Brasil.

O Planejamento da Expansão do sistema de geração hidrotérmico estuda os possíveis meios para instalação de novas fontes geradoras de energia considerando o atendimento dos requisitos de energia e potência, com um custo mínimo.

O Planejamento da Operação de sistemas hidrotérmicos de potência estuda a minimização dos custos operativos de parques geradores já instalados, comprometendo-se em atender a demanda de forma econômica e confiável.

Um programa de Expansão Termoelétrica envolve fatores como suprimento de combustíveis, suprimento de água no local de instalação da usina, poluição ambiental pré-existente, flexibilidade para localização nas proximidades dos grandes centros de carga, conseqüente impacto no sistema interligado de transmissão e outros.

Este artigo trata da fase inicial de um trabalho que tem como objetivo a utilização de geoprocessamento para Análise da Expansão da Geração Termoelétrica, envolvendo a avaliação de múltiplos objetivos, tanto econômicos como sociais. Testes iniciais estão sendo realizados considerando alguns municípios do Estado de São Paulo e, posteriormente, o desenvolvimento de uma metodologia aplicável a qualquer sistema.

A técnica de Geoprocessamento para resolução de problemas referentes ao Setor Elétrico vêm sendo muito utilizada nas áreas de geração e distribuição de energia elétrica (Jardini 1995), pois trata-se de uma poderosa ferramenta que permite a manipulação de grandes quantidades de dados armazenadas em bancos de dados e a visualização dos mesmos através de suas referências geográficas (Silva/ Waerden 1997). Isto permite que a análise de dados seja feita de forma espacial e que a tomada de decisões possa considerar múltiplos aspectos (Malczewski 1999).

2 Abordagem atual do problema

O cenário atual do parque gerador brasileiro é reflexo da abundância dos recursos hídricos, tendo uma capacidade instalada para produção de energia elétrica fornecida principalmente pelas usinas hidroelétricas, responsável por mais de 90% da geração do país. Somente uma parcela em torno de 9% é devida às usinas termoelétricas, as quais podem utilizar como combustíveis o óleo diesel, o carvão mineral, o gás natural, o bagaço de cana, querosene, lenha, coque de petróleo etc.

Atualmente as UTE's são utilizadas para o abastecimento de regiões isoladas e na complementação do sistema hidrotérmico em períodos com condições hidrológicas desfavoráveis, sendo o seu uso evitado por causa da compra dos combustíveis. Entretanto, perante o panorama crítico de crescimento da demanda de energia elétrica e esgotamento dos recursos hídricos, sua participação tende a crescer. Além disso, a implantação de UTE's garante a participação de um novo agente no setor, representado pelo PIE - Produtor Independente de Energia.

Para o Sistema Interligado, tipo hidrotérmico com predominância hidroelétrica (>90% da geração), a inserção de uma UTE pode ter que atender algumas condições técnicas e econômicas visto que estará operando em regime de complementação térmica. Nestas condições, as usinas termoelétricas podem fugir à classificação usualmente adotada de base, intermediária e pico, implicando numa concepção de projeto flexível e menos ortodoxa, onde a busca de uma otimização integrada supera o alcance de desempenho e eficiência individualizados (Negri et al. 1997).

Muitos estudos já foram realizados visando analisar a inserção de novas UTE's no Sistema Elétrico Brasileiro, abordando, entre outros aspectos, a melhor localização destas usinas, problema complexo e com múltiplas implicações, desde econômicas, ambientais e sociais.

O modelo de simulação utilizado e adotado neste trabalho como base de apoio é o SAEGET – Sistema de Análise da Expansão da Geração Termoelétrica, que analisa as variáveis combustível – local – tecnologia, as quais podem estar sendo investigadas em conjunto ou isoladamente (Neto et al. 1997).

Para esta abordagem foram utilizados dados do sistema elétrico do Estado de São Paulo, o qual é dividido em células de 25x33 Km, como mostra a figura 1, totalizando 416 células, cada qual abrangendo vários municípios, sendo um deles, normalmente o de maior área, denominado município sede da célula. Um mesmo município pode pertencer a mais de uma célula, dificultando a tomada de decisões por não coincidir com a divisão geográfica do estado.

Adotando esta metodologia, os atributos referentes às células são valores médios ou adotados por algum parâmetro de referência, pertencentes aos municípios destas células ou valores do município sede, não sendo, muitas vezes, os valores mais adequados para a análise do problema. Um exemplo disto é a célula que engloba os municípios de Santos (sede), São Vicente, Guarujá, Praia Grande, Cubatão, Santo André e Rio Grande da Serra, cujas altitudes variam de zero a 600 m e na qual o valor adotado foi 0 (zero) para toda a célula.

Esta abordagem atual, baseada em células, certamente acarreta uma série de problemas, podendo comprometer a eficiência da análise. Além disso, o modelo atualmente adotado atua de forma praticamente estática, evidenciando os problemas dos sistemas independentes, que dispensam grandes investimentos em conversão de dados, não incorporando todas as potencialidades do tratamento geoprocessado.

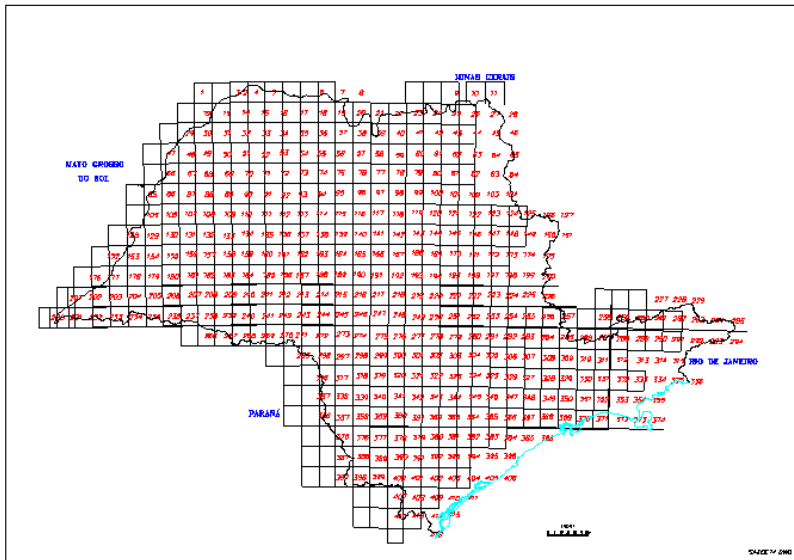


Fig. 1 : Divisão do Estado de São Paulo em células

3 Proposta de Abordagem Utilizando Geoprocessamento

Os sistemas que utilizam geoprocessamento têm assumido grande relevância e sido objeto de muitas implementações nos últimos anos devido a sua capacidade de representar e manter grandes quantidades de dados que representam situações do mundo real. São desenvolvidos para trabalhar com dados georeferenciados ou com informação geográfica em um ambiente que engloba sistemas de hardware, software e procedimentos para obtenção, armazenamento, manipulação, análise, modelagem e apresentação de dados referenciados espacialmente, com o objetivo de resolver problemas complexos de gestão e planejamento. Permite que a informação esteja organizada em diferentes níveis e em grandes quantidades, com diversas origens, facilitando a realização de operações de análise lógica e matemática, sendo os resultados visualizados de forma gráfica através de mapas ou em tabelas alfanuméricas. Estas ferramentas estão sendo foco de estudos devido a sua potencialidade como sistemas de apoio à decisão (Ramos 2000).

A maior parte das empresas faz estudos prévios sobre os locais onde instalar seus escritórios, fábricas, lojas, postos, escolas etc., considerando os diversos fatores que podem influenciar esta localização de forma estratégica. A implantação de usinas termoeletricas também é planejada levando em conta o atendimento de muitos requisitos, como critérios de confiabilidade e qualidade da energia gerada a um custo de instalação e operação mínimos, exigências ambientais etc.

A proposta de localização de UTE's neste trabalho se baseia nas vantagens da utilização de ferramentas de geoprocessamento para a resolução de problemas complexos e capazes de gerar alternativas através da manipulação de informações espacialmente referenciadas.

A metodologia adotada para este trabalho é a utilização da divisão geográfica do estado por municípios, o que permite a adoção de atributos bem mais significativos e com verdadeira correlação com a realidade geo-política. No exemplo citado anteriormente para a abordagem atual em relação à altitude, cada município terá o dado referente ao seu centro geográfico.

O estudo deste problema pela metodologia atual requer que vários bancos de dados sejam mantidos, como o de células, de tecnologias e de combustíveis, sendo ainda utilizado um modelo de transportes separado para que seja calculado o menor custo de transporte. O software utilizado para o desenvolvimento desta modelagem experimental é o Transcad (Caliper 1992), que é concebido especialmente para problemas de transportes, mas que está sendo muito útil nesta abordagem por tratar o problema de deslocamento dos combustíveis da origem para o destino, calculando o menor custo de forma dinâmica. Além disso, é possível acoplar em um único banco de dados as informações referentes aos municípios e combustíveis, incluindo o transporte dos mesmos.

Os testes iniciais estão sendo realizados com um número reduzido de municípios (18) pertencentes ao Estado de São Paulo, que atualmente possui uma divisão geográfica constante de 645 municípios, conforme dados do IBGE, com centros geográficos mostrados na figura 2, com destaque para os municípios que estão sendo testados.

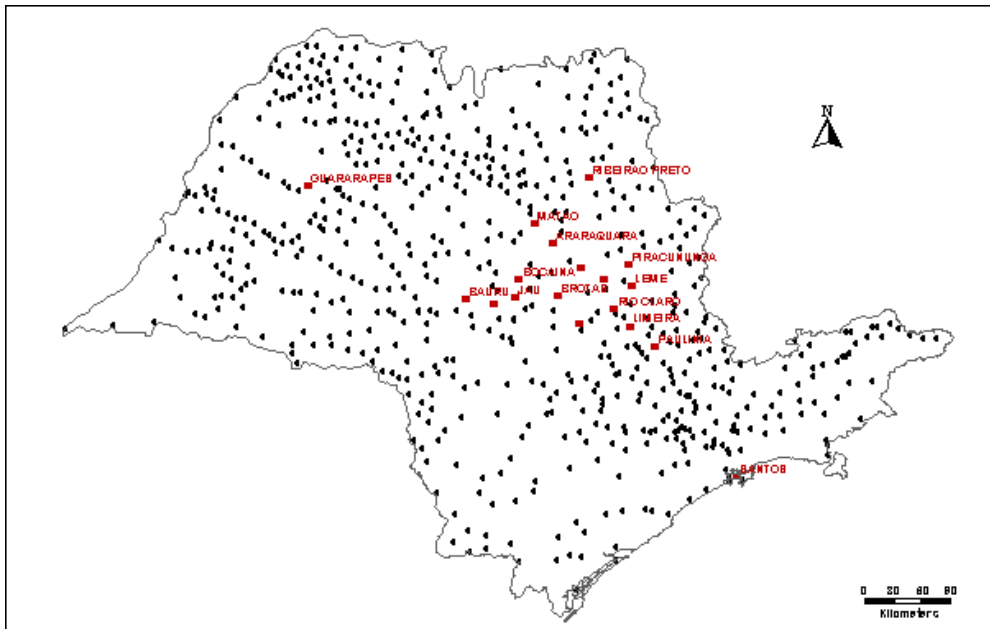


Fig. 2 : Centros Geográficos dos municípios do Estado de São Paulo

As alternativas geradas deverão ser analisadas e comparadas com o software utilizado pela CESP, sob diversos aspectos, como os melhores municípios para implantação de usinas térmicas quanto aos custos de operação e investimento, e, posteriormente, considerar-se-á outros objetivos, como impactos ambientais, benefícios da transmissão, disponibilidade de água para resfriamento das turbinas e outros.

Está previsto a utilização de outros software para testes, com diferentes abordagens e, posteriormente, uma modelagem para resolução deste tipo de problema.

4 Sistema Teste Inicial

O sistema teste é composto por 18 dos 645 municípios da base de dados do Estado de São Paulo. Alguns destes foram inseridos arbitrariamente e outros com propósitos específicos, como é o caso de Guararapes, Paulínia, Bauru, que são pontos próximos do gasoduto para entrada de gás natural da Bolívia no país e Santos, que é a principal entrada e/ou origem de combustíveis como os vários tipos de carvão vindos do Rio Grande do Sul, Colômbia e Estados Unidos. O município de Paulínia, por a refinaria e distribuidoras, é o ponto de entrada e/ou origem de combustíveis como óleo diesel, outros óleos como OC1A, OC2A, OC7B, etc., querosene, coque de petróleo, gás natural liqüefeito e outros.

A princípio, o objetivo proposto foi o de calcular as menores distâncias dos pontos de entrada e/ou origem dos combustíveis no estado até os municípios escolhidos para o sistema teste. Dispondo dos custos em relação aos meios de transportes utilizados e possíveis para chegar ao município destino, pôde-se calcular qual é o menor custo, qual é o combustível e o tipo de transporte viável para aquele município, como mostram os dados das tabelas a seguir.

A tabela 1 indica os municípios e a distância mínima calculada em quilômetros da origem até o destino, considerando os municípios de origem e/ou entrada dos combustíveis. A terceira coluna, nomeada *Menor Dist. Pontos Gasoduto (Km)*, a qual é calculada com base três pontos de entrada de gás natural da Bolívia: Guararapes, Bauru e Paulínia. Estes pontos foram adotados nos estudos anteriores realizados pela CESP e certamente poderão ser modificados em face à implantação total do gasoduto Brasil-Bolívia.

Tabela 1 : Dados de Distância Origem – Destino

Município	Origem SANTOS (Km)	Origem PAULÍNIA (Km)	Menor Dist. Pontos Gasoduto (Km)
Analândia	245,17	87,84	87,84
Araraquara	305,99	150,33	108,01
Bauru	333,53	201,98	0,0
Bocaina	301,86	156,45	59,27
Brotas	261,49	113,09	96,14
Guararapes	535,83	397,62	0,0

Jau	293,22	153,14	51,76
Leme	225,06	68,44	68,44
Limeira	189,74	33,49	33,49
Matão	334,84	179,27	106,72
Paulínia	157,52	0,0	0,0
Pederneiras	307,10	172,55	29,66
Pirassununga	245,41	89,53	89,53
Ribeirão Preto	344,63	188,64	180,73
Rio Claro	213,15	57,10	57,10
Santos	0,0	157,52	157,52
São Carlos	268,51	112,13	112,13
São Pedro	225,21	81,46	81,46

A seguir foi calculado o custo de cada combustível em relação ao município de origem e/ou entrada mais o custo do transporte utilizado em função da distância, mostrados na tabela 2. Para exemplificar, considere o carvão RS- Charqueada, que tem um custo de entrada em Santos de 30 (\$/unidade) até Araraquara, a uma distância de 306 Km. O cálculo do combustível é de $30 + 14 = 44$ (\$/unidade) por transporte rodoviário e $30 + 9,43 = 39,43$ (\$/unidade) por transporte ferroviário.

Tabela 2 : Custo de Combustíveis em Função da Distância

Município	Gás Nat.	C1 Rod.	C1 Fer.	C2 Rod.	C2 Fer.	C3 Rod.	C3 Fer.	C4 Rod.	C4 Fer.	Orim Rod.	Orim Fer.	OD Rod.	OD Fer.
Analândia	109,54	40,0	37,47	50,70	48,15	61,0	58,47	58,80	56,25	59,0	56,45	312,0	312,48
Araraquara	110,05	44,0	39,43	54,70	50,13	65,0	60,43	62,80	58,23	63,0	58,43	316,0	314,46
Bauru	107,51	44,0	39,43	54,70	50,13	65,0	60,43	62,80	58,23	63,0	58,43	318,0	315,45
Bocaina	108,52	44,0	39,43	54,70	50,13	65,0	60,43	62,80	58,23	63,0	58,43	316,0	314,46
Brotas	109,54	42,0	38,44	52,70	49,14	63,0	59,44	60,80	57,24	61,0	57,44	314,0	313,47
Guararapes	107,51	52,0	43,09	62,70	53,79	73,0	64,09	70,80	61,89	71,0	62,09	324,0	318,42
Jau	108,52	42,0	38,44	52,70	49,14	63,0	59,44	60,80	57,24	61,0	57,44	316,0	314,46
Leme	109,03	40,0	37,47	50,70	48,15	61,0	58,47	58,80	56,25	59,0	56,45	312,0	312,48
Limeira	108,02	38,0	36,46	48,70	47,16	59,0	57,46	56,80	55,26	57,0	55,46	310,0	311,49
Matão	110,05	44,0	39,43	54,70	50,13	65,0	60,43	62,80	58,23	63,0	58,43	316,0	314,46
Paulínia	107,51	38,0	36,46	48,70	47,16	59,0	57,46	56,80	55,26	57,0	55,46	310,0	311,49
Pederneiras	108,02	44,0	39,43	54,70	50,13	65,0	60,43	62,80	58,23	63,0	58,43	316,0	314,46
Pirassununga	109,54	40,0	37,47	50,70	48,15	61,0	58,47	58,80	56,25	59,0	56,45	312,0	312,48
Rib. Preto	112,08	44,0	39,43	54,70	50,13	65,0	60,43	62,80	58,23	63,0	58,43	316,0	314,46
Rio Claro	108,52	40,0	37,47	50,70	48,15	61,0	58,47	58,80	56,25	59,0	56,45	312,0	312,48
Santos	111,06	32,0	33,49	42,70	44,19	53,0	54,49	50,80	52,29	51,0	52,49	316,0	314,46
São Carlos	110,05	42,0	38,44	52,70	49,14	63,0	59,44	60,80	57,24	61,0	57,44	314,0	313,47
São Pedro	109,54	40,0	37,47	50,70	48,15	61,0	58,47	58,80	56,25	59,0	56,45	312,0	312,48

Onde:

Gás Nat. - gás natural da Bolívia, transportado via gasoduto, levando em conta o ponto mais próximo

C1 Rod. - carvão RS - Charqueada, transportado via Rodoviária

C1 Fer. - carvão RS - Charqueada, transportado via Ferroviária

C2 Rod. - carvão RS - Leão, transportado via Rodoviária

C2 Fer. - carvão RS - Leão, transportado via Ferroviária

C3 Rod.- carvão Caracol (origem Colômbia), transportado via Rodoviária

C3 Fer. - carvão Caracol (origem Colômbia), transportado via Ferroviária
C4 Rod. - carvão Illinois (origem EUA), transportado via Rodoviária
C4 Fer. - carvão Illinois (origem EUA), transportado via Ferroviária
Orim Rod. - orimulsion, transportado via Rodoviária
Orim Fer. - orimulsion, transportado via Ferroviária
OD Rod. - óleo Diesel, transportado via Rodoviária
OD Fer. - óleo Diesel, transportado via Ferroviária

As alternativas geradas e ordenadas são em relação ao menor custo combustível e transporte para o município em questão, como indicado na tabela 3. Como pode ser observado, o combustível carvão de origem do Rio Grande do Sul entra no Estado de São Paulo com um custo bastante acessível de (30 \$/unidade), o que viabiliza seu uso através do transporte ferroviário para quase todos os municípios. O restante do custo é relativo à distância do município origem e/ou entrada, que é Santos, para o carvão até o município destino.

Tabela 3 : Alternativas Combustível e Transporte

Municípios	Menor Custo	Combustível	Transporte
Santos	32,00	Carvão RS - Charqueada	Rodoviário
Limeira	36,46	Carvão RS - Charqueada	Ferroviário
Paulínia	36,46	Carvão RS - Charqueada	Ferroviário
Analândia	37,47	Carvão RS - Charqueada	Ferroviário
Leme	37,47	Carvão RS - Charqueada	Ferroviário
Pirassununga	37,47	Carvão RS - Charqueada	Ferroviário
Rio Claro	37,47	Carvão RS - Charqueada	Ferroviário
São Pedro	37,47	Carvão RS - Charqueada	Ferroviário
Brotas	38,44	Carvão RS - Charqueada	Ferroviário
Jau	38,44	Carvão RS - Charqueada	Ferroviário
São Carlos	38,44	Carvão RS - Charqueada	Ferroviário
Araraquara	39,43	Carvão RS - Charqueada	Ferroviário
Bauru	39,43	Carvão RS - Charqueada	Ferroviário
Bocaina	39,43	Carvão RS - Charqueada	Ferroviário
Matão	39,43	Carvão RS - Charqueada	Ferroviário
Pederneiras	39,43	Carvão RS - Charqueada	Ferroviário
Ribeirão Preto	39,43	Carvão RS - Charqueada	Ferroviário
Guararapes	43,09	Carvão RS - Charqueada	Ferroviário

Posteriormente, testes envolvendo mais de um objetivo serão realizados, incluindo a melhor tecnologia viabilizada pelo combustível, variáveis ambientais e técnicas, além de custo de conexão à rede de transmissão, com a base de municípios completa do Estado de São Paulo.

Os atuais testes tem o objetivo de análise da metodologia que está sendo implantada, não devendo ser considerados resultados conclusivos sobre a localização de usinas termoeletricas, o que somente será possível quando todos os critérios estiverem sendo analisados.

5 Considerações Finais sobre o trabalho

Como o problema de localização de usinas térmicas é bastante complexo, envolvendo a avaliação de fatores como suprimento de combustível (fonte e transporte), tecnologia utilizada, sistema de transmissão de energia existente e condições ambientais, visando o menor prejuízo possível ao meio ambiente a um custo mínimo para a implantação das térmicas, é importante que a tomada de decisões seja feita de forma coerente e precisa.

É importante ressaltar que o SAEGET representou um grande avanço na área e mesmo com sua estrutura atual, é fruto de um trabalho considerável, além de ser indispensável como base para novos estudos.

A aplicação dos recursos de geoprocessamento para obter este tipo de informação traz muitos benefícios, não só porque, na nova abordagem, os dados são tratados e referenciados considerando o município, viabilizando tomadas de decisões mais precisas, mas principalmente porque potencializa análises dinâmicas mais abrangentes. Com a abordagem utilizada atualmente, baseada em dados estáticos e divididos por células, a maioria delas abrangendo mais de um município e que não coincide com a divisão geográfica do

Estado, a precisão de informações fica comprometida, além de não serem possíveis análises mais complexas.

A Secretaria do Meio Ambiente (SMA), têm interesse especial nestes tipos de análises, devido às suas responsabilidades em preservar o meio ambiente e também visando obter as melhores soluções possíveis sob o ponto de vista sócio-econômico. Este estudo vem sendo feito em colaboração com a CESP, que também tem grandes interesses em um sistema que utilize geoprocessamento.

6 Agradecimentos

Os autores agradecem à CESP pelas informações fornecidas e ao Departamento de Engenharia de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos pela disponibilização do software Transcad.

7 Referências Bibliográficas

Caliper: *Transcad – Transportation GIS Software – Manual Supplement Version 2.1.* Newton, MA, Caliper Corporation, 1992.

Fadigas, E. A. F. A.: *Identificação de Locais e Opções Tecnológicas para Implantação de Termoeletricas no Sistema Elétrico Brasileiro: Contribuição à Metodologia e Aplicação ao Caso do Gás Natural,* São Paulo, 1997, Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 267 p.

Goldemberg, J.: *Energia, Meio Ambiente & Desenvolvimento,* EDUSP, 1995, 234 p.

Jardini, J. A.: *Automação da Distribuição de Energia Elétrica Assistida por Sistemas de Informações Geográfica,* Anais do IV Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento 1995, pp. 423- 432.

Malczewski, J.: *Gis and Multicriteria Decision Analysis,* New York: Wiley, 1999.

Negri, J. C. et al.: *Análise da Inserção de Usinas Termoeletricas no Sistema Interligado,* Anais em CD-ROM do XIV SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Grupo – Produção Térmica e Fontes não Convencionais, Belém, 1997.

Neto, A. J. S. et al.: *Modelo de Análise para Seleção de Usinas Termoeletricas – SAEGET,* Anais em CD-ROM do XIV SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Grupo – Planejamento de Sistemas Elétricos, Belém, 1997.

Ramos, R. A. R.: *Localização Industrial – Um Modelo Espacial para o Noroeste de Portugal,* Braga, 2000, Tese (Doutorado), Escola de Engenharia, Universidade do Minho, 2000, 299 p.

Silva, A. N. R.; Waerden, P. V. D.: *First Steps with a Geographic Information System for Transportation,* São Francisco Editora, 1997, 115 p.