

Consistência de Mapa vetorial da Malha rodoviária pavimentada do Brasil para o SIG-T TransCAD

**MSc. Rafael José Rorato ¹
Prof. Dr. João Alexandre Widmer ²**

**¹Volkswagen Transport of South America
Rodovia Anchieta, km 23,5 Ala XX
09823-901 São Bernardo do Campo - SP
extern.rafael.rorato@volkswagen.com.br**

**²USP - Escola de Engenharia de São Carlos - Depto. Transportes
Av. do Trabalhador Sao-carlense, 400
13566-590 São Carlos SP
widmer@sc.usp.br**

Resumo: O principal objetivo deste trabalho é apresentar a disponibilidade de mapa vetorial compatível com o Sistema de Informações Geográficas aplicado ao Transportes, TransCAD, de posse da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) – Universidade de São Paulo, na qual representa a rede de rodovias pavimentadas do Brasil. Também são realizados um teste de conectividade da rede e uma validação estatística entre essa base e outras duas bases semelhantes, provenientes do Programa de Engenharia de Transportes da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PET-COPPE-URFJ) e do representante comercial da Caliper, no Brasil. Os resultados apresentados concluem que o mapa vetorial da EESC apresenta-se em melhores condições de utilização do que o mapa vetorial da PET-COPPE-URFJ.

Palavras chaves: SIG-T, TransCAD, Mapa vetorial

Abstract: This paper would like to show the availability of a vector map of the Brazilian highway network with pavement superficies. This vector map is able to be open in the Geographic Information System applied for Transportation applications, called TransCAD and it belongs to the Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) – Universidade de São Paulo. The method in this essay analyze the network connectivity and the statistical representatively of the EESC's vector map comparing with others two database: the first one from the Programa de Engenharia de Transportes da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PET-COPPE-URFJ); and other from the Brazilian Caliper Corporation commercial vendor. The analysis results that the EESC's vector map is better edited than the PET-COPPE-URFJ.

Keywords: GIS-T, TransCAD, Vector Map

1 Introdução e objetivo

Os programas computacionais classificados como Sistemas de Informação Geográfica (SIG) atualmente são as melhores ferramentas para o alcance de soluções dos problemas de organização de dados em modelos espaciais. Conceitualmente um SIG é definido por um conjunto de *hardware*, *software*, dados geográficos e recurso humano que os integram em uma função de mapeamento e gerenciamento de banco de dados, com o objetivo de capturar, analisar, armazenar, atualizar, manipular e visualizar qualquer informação geograficamente referenciada (Rose, 2001).

A aplicação do SIG é observada em áreas como planejamento urbano, geografia, meio-ambiente, estatística, florestal, pesquisa operacional, engenharias, cartografia, arquitetura e urbanismo, transportes, entre outros. A ferramenta SIG para fins de aplicação no campo da Engenharia de Transportes é denominada de Sistemas de Informação Geográfica aplicados ao Transporte (SIG-T).

O uso de SIG-T é observado em áreas do planejamento e da infra-estrutura de transportes. Citam-se alguns trabalhos publicados na área de Engenharia de Transportes, tais como: na área de roteirização de veículos (Pelizaro, 2000 e Sarkis, 2000), gerenciamento de frotas: alocação de recursos (Diniz, 2000 e Ribeiro, 2002), pesquisa operacional (Lins e Ferreira Filho, 2001), gerência de pavimentos (Viviani, 1998). Sobre instalação de terminais intermodais e análise de operação intermodal citam-se Tiago (2002) e Rorato (2003). Referente a criação de rede intermodal de transporte para uso em SIG cita-se Southworth e Peterson (2000). No tema referente à implantação e otimização do uso de equipamentos coletivos públicos, tais como escolas e postos de saúde, cita-se Lima (2003).

O principal SIG-T desenvolvido e utilizado especificamente para o planejamento, gerenciamento, operação e análise das características dos sistemas de transporte é o TransCAD. Segundo Caliper (2000), o TransCAD é a única ferramenta computacional que se classifica como uma ferramenta SIG e que contém ferramentas de planejamento, modelagem de transportes e aplicações de logística.

O gerenciador de banco de dados espacial, do TransCAD, armazena os dados geográficos utilizando-se de uma estrutura de dados topológica, no qual definem a localização e as relações espaciais entre pontos, linhas, áreas e outras entidades geográficas (Rose, 2001). Alguns recursos do programa facilitam a criação de mapas temáticos, a criação de segmentações dinâmicas de arcos, a edição de gráficos, a edição de dados geográficos (digitalização), a importação e a conversão automática de coordenadas, nos formatos TIGER, DLG, DXF, SPOT, LANDSAT. Também é possível importar e exportar dados de arquivos do tipo Lotus, dBASE, ASCII, e Excel. Outro recurso disponível é a utilização do TransCAD acoplado a um receptor de GPS para alocação dinâmica de recursos (Caliper, 2000 e Ribeiro, 2002).

Matematicamente, uma rede no TransCAD fundamenta-se na teoria dos grafos associados a uma capacidade. Assim em um grafo $G = (X, U)$, a trilha (t) de menor impedância entre dois nós é determinada pelo mínimo valor da soma entre os

“custos” / de um conjunto de i arcos, conforme Equação 1. O problema de transporte solucionado pelo programa é fundamentado no estudo proposto por Hitchcock (1941) através de um algoritmo adaptado pelo método *Simplex* para programação linear (Caliper, 2000).

$$L(t) = \sum_{u_i \in t} l(u_i) \quad (1)$$

Uma característica do TransCAD é calcular a distância entre dois pontos em um grafo através de dois métodos: o baseado em rede e a distância euclidiana. No método baseado em rede, as entidades geográficas de uma *layer* de ponto são associadas aos nós mais próximos da rede e calculados o caminho mínimo no grafo. Assim a precisão da distância entre dois pontos será proporcional a densidade de nós contidas no grafo e a proximidade de um nó ao ponto geográfico.

A coesão das informações geográficas para um SIG é de extrema importância para que os resultados almejados nas análises espaciais apresentem respostas confiáveis e erros admissíveis conhecidos. A obtenção de banco de dados geográficos coesos e confiáveis tornou-se um desafio para os usuários de SIG com restrições orçamentárias de investimento.

Assim, o objetivo principal deste artigo é apresentar a disponibilidade de uma base geográfica – mapa vetorial – compatível para o SIG-T TransCAD, criado por Rorato (2003), e de posse da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) – Universidade de São Paulo, na qual representa a rede de rodovias pavimentadas do Brasil.

Além da apresentação dessa base, são realizados um teste de conectividade da rede e uma validação estatística. Estes testes comparam a base da EESC com outras duas bases de dados semelhantes: a primeira base proveniente do Programa de Engenharia de Transportes da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PET-COPPE-URFJ, 2004) e a segunda base proveniente do representante comercial da Caliper, no Brasil.

2 Base de dados geográficos

No estudo realizado por Rorato (2003), gerou-se a necessidade da utilização de um mapa vetorial que representasse a rede de transportes rodo-marítima, conectando as principais capitais brasileiras. Assim buscou-se a biblioteca digital de dados geográficos do grupo de pesquisas em SIG-T do PET-COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Este acervo é público e encontra-se acessível pela *internet* (PET-COPPE-URFJ, 2004).

2.1 Mapa vetorial da PET-COPPE-URFJ

Um dos arquivos disponibilizados pela PET-COPPE-URFJ (2004) é o arquivo de linhas denominado *rod_cdf1.cdf*, que representa a distribuição espacial da malha

rodoviária brasileira. Esse arquivo apresenta criação datada em 20 de agosto de 1997 e constitui-se de duas camadas: a camada de arcos: *Rodovias* e a camada de pontos: *CDF Node Layer*, computando um total de 6756 arcos e 6254 nós registrados. A malha cadastrada apresenta uma extensão total de 128.610 km e apresenta a estrutura do banco de dados conforme observado na Figura 1.

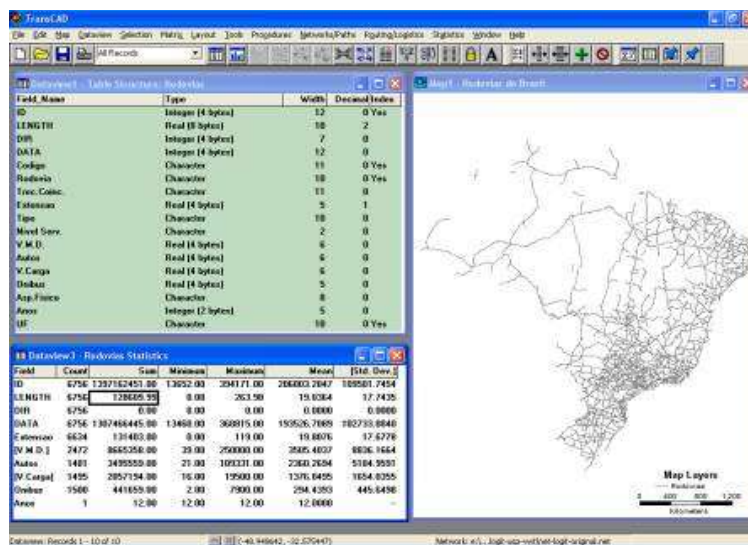


figura 1: Estrutura do mapa vetorial da PET-COPPE-URFJ

O banco de dados do arquivo constitui-se de colunas aonde são apresentadas informações sobre a nomenclatura da rodovia (ex: BR-116/SC), a classificação da jurisdição (ex: Federal, Estadual, Municipal), tipo de superfície da via (ex: pavimentada, leito natural), o número de plataformas de rodagem (ex: pista simples, pista dupla) e uma série de dados de contagens de veículos. A Tabela 1 apresenta o resumo do banco de dados perante classificação da operação da rodovia, da capacidade, da jurisdição e do tipo de revestimento da pista.

Nota-se que do total cadastrado, aproximadamente 29,2 mil quilômetros de rodovias não apresentam condições de tráfego equivalentes a rodovias pavimentadas, devido a: (a) não apresentarem pavimentação; (b) serem rodovias em obras; (c) serem rodovias projetadas; e (d) apresentarem banco de dados desatualizado ou ausente.

Do ponto de vista operacional do SIG-T TransCAD, essas informações acarretam determinações de rotas ou distâncias divergentes da realidade operacional do sistema de transporte rodoviário brasileiro, caso não seja feito um tratamento para desconsiderá-las. Observou-se também a impossibilidade de edição de uma matriz de impedância (comandos: *Multiple Shortest Path* e *Cost Matrix*) caso seja previamente selecionado (comando: *Select by Condition...*) somente os arcos de rodovias que estão em operação. O TransCAD gera uma mensagem de erro de geração da matriz, provenientes dos nós dos arcos não selecionados.

Tabela 1 : Classificação do banco de dados – mapa vetorial da PET-COPPE-UFRJ

Operação da rodovia	Classificação Capacidade	Classificação Jurisdição e Pista	Quantidade e de Arcos	Extensão (km)	
Opera	Pista dupla	Estadual Pavimentada	4	23,03	
		Federal Pavimentada	350	3.347,87	
		Municipal Pavimentada	3	17,30	
	Pista simples	Estadual Pavimentada	2.257	34.059,96	
		Federal Pavimentada	3.106	60.366,96	
		Municipal Pavimentada	10	52,74	
		Travessia	24	40,49	
	Sem Classificação	Sem Classificação	123	1.457,35	
	Subtotal			5.877	99.365,70
	Não Opera	Sem Classificação	Estadual Implantada	2	30,12
Estadual em Obras de Pavimentação			1	10,11	
Federal Implantada			520	17.654,62	
Federal Leito Natural			232	8.130,77	
Federal em Obras de Duplicação			8	135,41	
Federal em Obras de Implantação			12	250,34	
Federal em Obras de Pavimentação			87	2.396,22	
Federal Planejada			17	636,70	
Subtotal			879	29.244,29	
Total			6756	128609,99	

2.2 Mapa vetorial da EESC-USP

Tendo em vista a deficiência encontrada na utilização do cadastro geográfico da PET-COPPE-UFRJ, Rorato (2003) re-editou-a através das seguintes ações:

- Exclusão dos arcos com o campo *Tipo* classificado em *Fed.Impl.*, *Fed.Ob.Pav.*, *Fed.L.Nat.* e *Fed.Plan*;
- Utilização do campo *Tipo* para classificar somente em jurisdição e tipo de pavimento;
- Inclusão do campo *Pista* para classificar as rodovias em pista simples ou dupla;
- Inclusão do campo VEL[KM/H] e a adição das velocidades operacionais de veículos rodoviários de carga, do tipo semi-reboque;
- Inclusão do campo TEMPO[H] e a adição dos tempos teóricos dos arcos em função do comprimento de arco e da velocidade operacional do veículo de padrão;
- Exclusão dos nós em excesso provenientes de descontinuidade na edição;
- Edição de novos arcos;
- Edição de novos nós próximos a municípios não cadastrados junto à rede;
- Edição de novos nós próximos aos as praças de pedágios.

A complementação da base geográfica, com os novos arcos, efetivou-se através da obtenção, da digitalização em *scanner* de mesa A4 e da vetorização de cadastro técnico oficial e de mapas comerciais da malha rodoviária brasileira, obtidos no DER-SP, DAER-RS, DER-SC, Editora Abril e da Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias, consumindo um período de quatro meses de trabalho. O processo de re-edição da base atingiu uma configuração de rede e de banco de dados, observado

na Figura 2, apresentando uma extensão total cadastrada de 145,4 mil quilômetros de rodovias pavimentadas.

As informações referentes a estatísticas de contagem de tráfego contidas na base original foram mantidas. Os demais dados que formam o conjunto do banco de dados cadastrados classificam a rede rodoviária pavimentada, conforme Tabela 2.

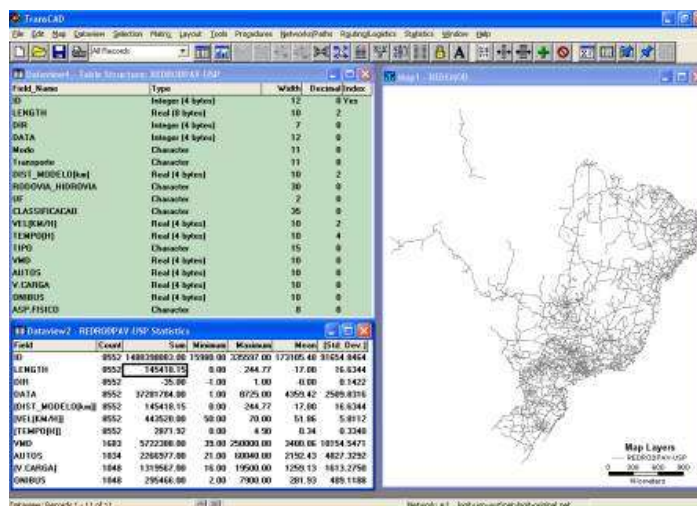


figura 2: Estrutura da mapa vetorial da EESC-USP

Tabela 2: Classificação do banco de dados – mapa vetorial da EESC-USP

Operação da rodovia	Classificação Capacidade	Classificação Jurisdição e Pista	Quantidade de Arcos	Extensão (km)
Opera	Pista dupla	Estadual Pavimentada	446	3.256,04
		Federal Pavimentada	312	2.860,67
		Sem Classificação	38	260,94
	Subtotal		796	6.377,65
	Pista simples	Balsa	1	3,89
		Estadual Pavimentada	2.763	45.202,64
		Federal Pavimentada	2.792	57.580,04
		Municipal Pavimentada	190	2.367,09
		Travessia	1	5,11
	Subtotal	Sem Classificação	2.009	33.881,73
			7.756	139.040,50
	Total		8.552	145.418,15

2.3 Mapa vetorial da representante brasileira da Caliper

A terceira base de dados utilizada para este estudo foi comercialmente obtida através do representante comercial dos produtos de SIG-T da *Caliper Corporation*, tais como TransCAD e Maptitude. Essa empresa é responsável pela venda e pela manutenção de cadastro de banco de dados das bases geográficas compatíveis para o TransCAD.

A utilização desta base serve somente como parâmetro comparativo estatístico, quantitativo e qualitativo entre as bases não comerciais que o PET-COPPE-UFRJ e a EESC-USP fornecem.

O arquivo de linha é denominado de *BRRodL.cdf* e com criação datada no dia 26 de maio de 2003. A camada de linhas é nomeada de *Rodovias BR* e os pontos de *No Rodovias BR*, totalizando 19.173 arcos e 13.739 nós registrados, respectivamente. A estrutura do banco de dados e o mapa rodoviário são observados na Figura 3.

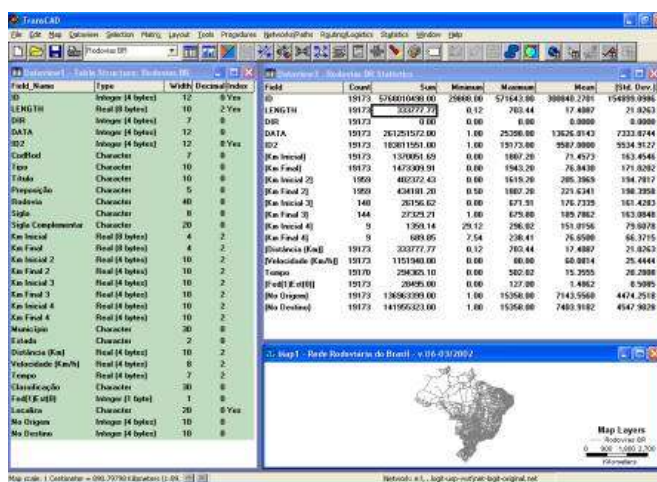


figura 3: Estrutura do mapa vetorial da representante da Caliper

Esta base geográfica também apresenta uma estrutura de informação de rodovias não operantes. A Tabela 3 apresenta a classificação da malha rodoviária brasileira, cadastrada no banco de dados do mapa vetorial, conforme uso, jurisdição, tipo de revestimento e extensão.

3 Verificação da conectividade dos mapas vetoriais

Previamente à análise da validação dos mapas vetoriais excluíram-se todos os arcos das rodovias classificados como “sem operação” dos arquivos *rod_cdf1.cdf* e *BRRodL.cdf*, com o objetivo somente analisar a malha rodoviária pavimentada.

A verificação da conectividade dos mapas vetoriais foi realizada através da criação de um mapa temático do índice de acessibilidade de Allen et al (1993), conforme método proposto por Raia Junior e Silva (1998).

A acessibilidade proposta por Allen et al (1993) é definida como a medida de esforço para romper a separação espacial entre dois pontos de uma área e matematicamente pode ser expressa, conforme Equação 2:

$$A_i = \frac{1}{N-1} \times \sum_j C_{ij} \quad (2)$$

onde,

- A_i : Acessibilidade da zona i ;
 N : Número de localidades (pontos ou nós);
 C_{ij} : Custo de viagem entre os pontos i e j .

Tabela 3 : Classificação do banco de dados – mapa vetorial da representante da Caliper

Operação da rodovia	Classificação Jurisdição e Pista	Quantidade de Arcos	Extensão (km)
Opera	Balsa	92	673,27
	Duplicada	950	5.764,00
	Em Duplicação	115	939,40
	Municipal Pavimentada	2.348	16.660,37
	Pavimentada	9.333	130.741,20
	Sem Classificação	3	11,66
	Subtotal	12.841	154.789,90
Não Opera	Em Implantação	32	1.009,45
	Em Pavimentação	350	7.722,55
	Implantada	2.029	58.391,79
	Leito Natural	2.018	46.126,07
	Municipal em Pavimentação	39	346,05
	Municipal não Pavimentada	301	2.825,55
	Planejada	1.563	62.566,41
	Subtotal	6.332	178.987,87
Total		19.173	333.777,77

O método de Raia Junior e Silva (1998) constitui-se na criação de uma matriz de impedância (*Multiple Shortest Path*), na exportação da somatória das linhas da matriz para um arquivo dBASE, no cálculo do índice de acessibilidade e na criação do mapa temático com a *layer* dos nós.

O comportamento do índice de acessibilidade de Allen et al (1993) indica que os pontos de melhor acessibilidade concentram-se na área central do mapa e pioram nas áreas periféricas do mapa. Assim a descontinuidade de uma rede é verificada quando no mapa temático encontram-se áreas de boa acessibilidade concentradas nas regiões periféricas.

Conforme observado na Figura 4, Figura 5 e Figura 6, os pontos em vermelho identificam nós com índices de acessibilidade altos e arcos descontínuos da rede. Constatou-se que a descontinuidade destes arcos periféricos é causada por erros de edição ou por estarem conectados a arcos de rodovias classificadas como “sem operação”.

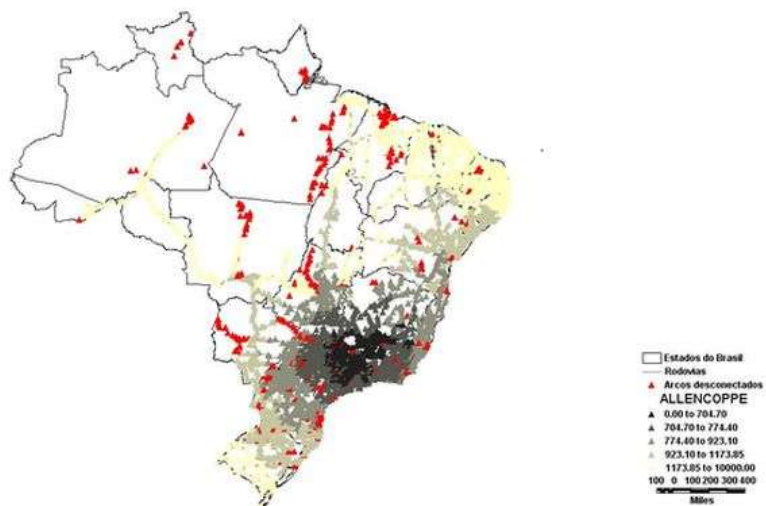


figura 4: Mapa temático – índice Allen do mapa vetorial da PET-COPPE-UFRJ

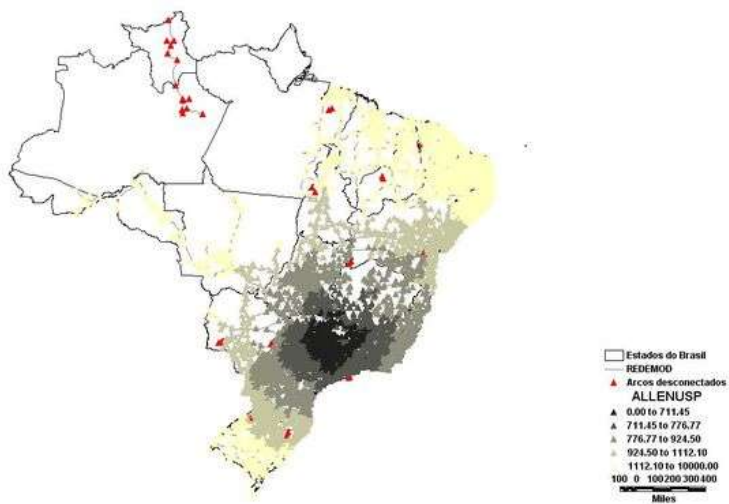


figura 5: Mapa temático – índice Allen do mapa vetorial da EESC-USP

Observa-se que a base do arquivo *rod_cdf1.cdf* apresenta a pior condição de desconectividade da rede, em rodovias localizadas nos Estados de Santa Catarina, do Mato Grosso do Sul, do Mato Grosso, de Goiás, do Pará e do Maranhão.

A base da EESC-USP apresenta um segmento de rodovia pavimentada entre os Estados do Amazonas e de Roraima totalmente isolada da rede, pois se encontra conectada a rodovias não pavimentadas ou a rede de transporte hidroviário. Outro trecho isolado é a rodovia SP-131 localizada no município de Ilha Bela, Estado de São Paulo, onde a conexão com o continente é feita por balsa.

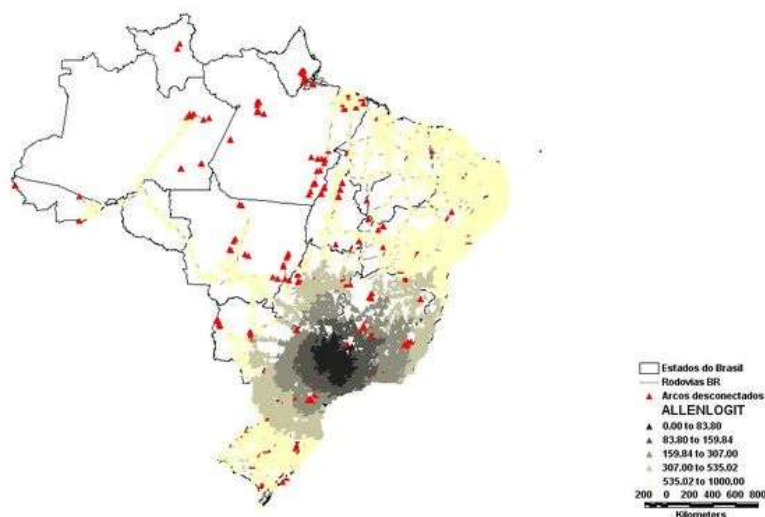


figura 6: Mapa temático – índice Allen do mapa vetorial da representante da Caliper

4 Análise de variância das distâncias

Os métodos utilizados para a análise e validação estatística entre os mapas geográficos deste estudo são a estimativa das diferenças entre as médias das duas populações para amostras independentes e regressão. A amostra constituiu-se de um conjunto de distâncias geradas de um arquivo geográfico de pontos, representando os municípios brasileiros do censo de 1994, disponibilizado pelo PET-COPPE-UFRJ: *MMD947.cdf* (data criação: 8 de outubro de 1997 / total de registros: 4974 municípios).

Através do comando de seleção (comando: *Select by Conduction...*) criou-se duas seleções para o cálculo da menor distância entre os pontos. A primeira seleção compreendeu 21 capitais de Estados da Federação e a segunda selecionou 162 municípios com população superior a 100.000 habitantes (exceto capitais), segundo as informações censitárias contidas no banco de dados do arquivo geográfico.

Após a seleção dos pontos, criou-se um novo campo no banco de dados e preencheu-se com a distância entre o ponto geográfico do arquivo *MMD947.cdf* e o nó mais próximo para os três arquivos vetoriais em análise (*Edit – Fill Method – Tag – Using layer: “Endpoints”; Tag with: “Distance to Feature”*). A Figura 7 e a Figura 8 mostram a ordem de grandeza dessas distâncias calculadas para as seleções das capitais e municípios, respectivamente.

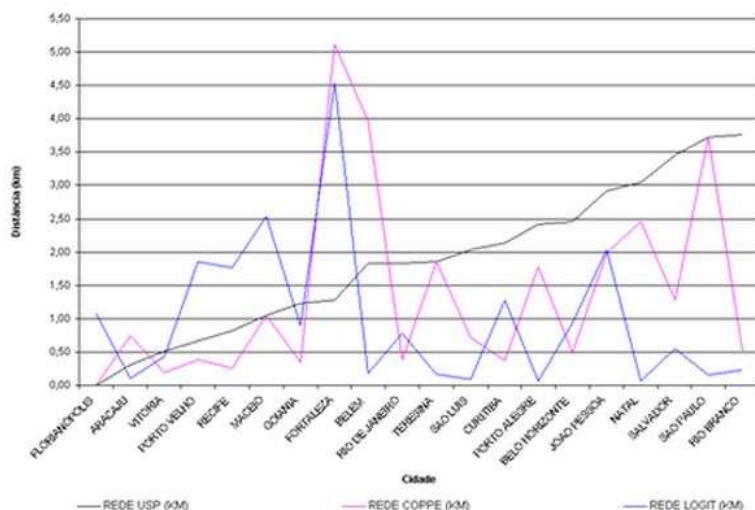


figura 7: Erros na acessibilidade do ponto geográfico à rede (origem)

As distâncias entre nós da rede e as capitais selecionadas apresentaram distâncias inferiores a 5,50km para os três mapas vetoriais, o que representa um erro admissível para determinadas análises geográficas.

Observando o comportamento das distâncias entre os nós da rede e os municípios, para a rede vetorial da PET-COPPE-URFJ, constataram-se valores superiores a 20km, e conseqüentemente, podem acarretar erros consideráveis nas análises geográficas. Essas grandes distâncias podem ser causadas pela baixa densidade de nós próximos aos municípios e pela falta de arcos das rodovias pavimentadas, no arquivo de linhas.

O cálculo da matriz de impedância – distância – entre as capitais e municípios selecionados realizou-se através do comando: *Routing/Logistcs – Cost Matrix... – Method: Network Based; Minimize: Length; Origin: Layer: “centros geograficos” & Set “Capitais”; Destination: Layer: “centros geograficos” & Set “Municipios POP> 100mil”*. Esse comando repetiu-se para os três mapas vetoriais, criando-se as distâncias necessárias para a análise de variância das amostras. Somente considerou-se as distâncias que ocorreram nos três mapas vetoriais, contabilizando-se um total de 3357 distâncias.

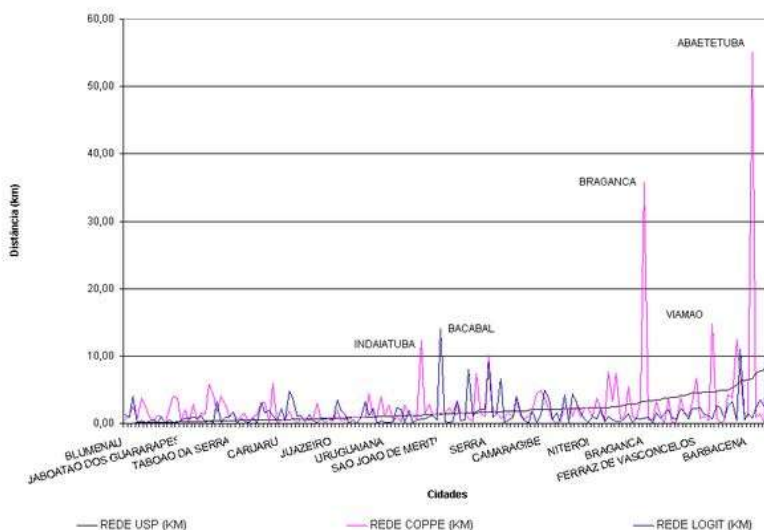


figura 8: Erros na acessibilidade do ponto geográfico à rede (destino)

O cálculo da probabilidade z, segundo Anderson et al (2002), é dado pela Equação 3.

$$z = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} \quad -3$$

onde,

- $\bar{x}_1 - \bar{x}_2$: Diferença entre as médias da amostra;
- $\mu_1 - \mu_2$: Diferença entre as médias da população;
- σ_1 e σ_2 : Desvio padrão da população;
- n_1 e n_2 : Tamanho da amostra, sendo $n_1 \geq 30$ e $n_2 \geq 30$.

Os testes de hipótese elaborado estão descritos a seguir:

- Teste 1: A diferença entre as distâncias calculadas com a rede da EESC-USP e as distâncias calculadas com a rede do representante da Caliper são iguais a zero?
- Teste 2: A diferença entre as distâncias calculadas com a rede da PET-COPPE-UFRJ e as distâncias calculadas com a rede do representante da Caliper são iguais a zero?

- Teste 3: A diferença entre as distâncias calculadas com a rede da PET-COPPE-UFRJ e as distâncias calculadas com a rede da EESC-USP são iguais a zero?

$$H_0 : \mu_1 - \mu_2 = 0$$

$$H_1 : \mu_1 - \mu_2 \neq 0$$

-4

Rejeitar H_0 se $z < -z_{\alpha/2}$ ou se $z > z_{\alpha/2}$

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos dos testes de hipótese propostos e mostra que o mapa vetorial da EESC-USP, comparado ao mapa vetorial da representante comercial da Caliper no Brasil, apresenta significância estatística entre a amostra de distâncias, não rejeitando a hipótese nula.

Os resultados obtidos na comparação entre o mapa da PET-COPPE-UFRJ e os mapas da representante comercial da Caliper no Brasil e da EESC-USP foram de rejeição da hipótese nula, isto é, estatisticamente a amostra de distâncias calculadas com a primeira base não apresenta semelhança numérica relevante com as demais amostras.

Tabela 4 : Resumo do teste de hipótese

Teste	z	x_1	x_2	$n_1 = n_2$	Teste de hipótese
1	0,885608	1930,18	1905,84	3357	Não rejeitar H_0
2	28,021760	1930,18	1279,21	3357	Rejeitar H_0
3	27,282346	1905,84	1279,21	3357	Rejeitar H_0

A Figura 9, Figura 10 e Figura 11 mostram os gráficos com as distâncias plotadas no plano cartesiano e a linha de tendência da equação de regressão. Nos três gráficos calculou-se as equações de regressão linear e regressão potencial, chegando a uma significância de R^2 igual a 0,8986 e 0,9353, para as regressões da amostra entre as distâncias calculadas com os mapas vetoriais da PET-COPPE-UFRJ e da representante da Caliper no Brasil.

A regressão linear e a regressão potencial das distâncias obtidas com as bases da EESC-USP e da representante da Caliper no Brasil, atingiram um R^2 significativo de 0,9965 e 0,9956, respectivamente.

A linha de tendência para o gráfico de distâncias geradas através dos mapas vetoriais da PET-COPPE-UFRJ e da USP atingiram R^2 iguais a 0,8958 e 0,9324 para regressão linear e regressão potencial, respectivamente.

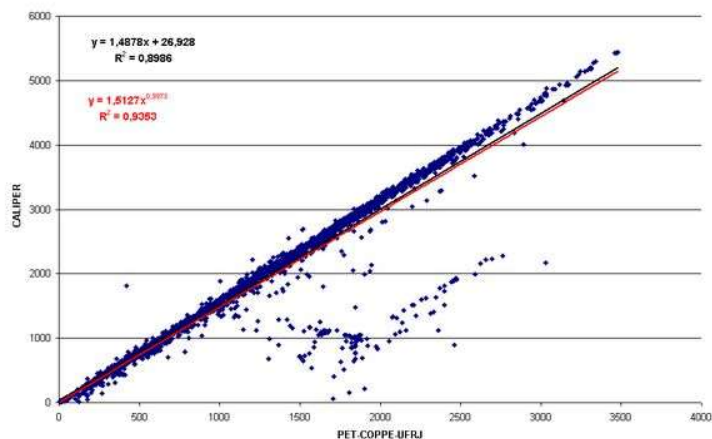


figura 9 : Gráfico de dispersão – distâncias geradas pelos mapas da PET-COPPE-UF RJ e da representante da Caliper

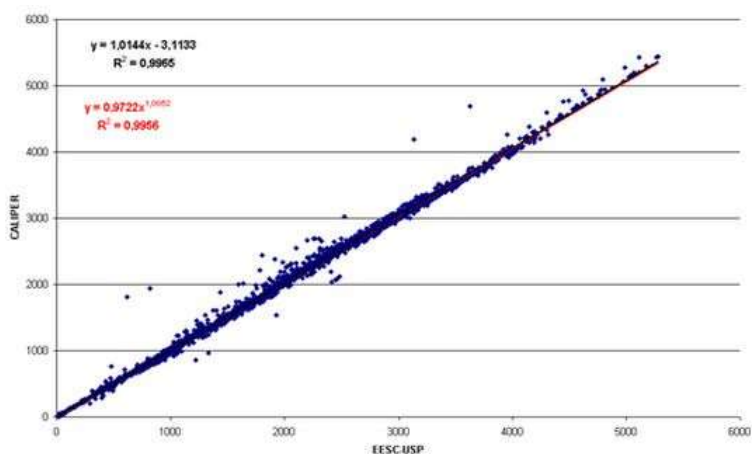


figura 10 : Gráfico de dispersão – distâncias geradas pelos mapas da EESC-USP e da representante da Caliper

Apesar das regressões observadas na Figura 9 e Figura 11 apresentarem R^2 relativamente bons, o gráfico de dispersão das distâncias obtidas mostram um conjunto de distâncias, de uma mesma origem e um mesmo destino, que apresentam comportamentos bem diferentes. Isso ocorre proporcionalmente ao estado da edição dos arcos e nós do mapa vetorial obtido pela PET-COPPE-UF RJ.

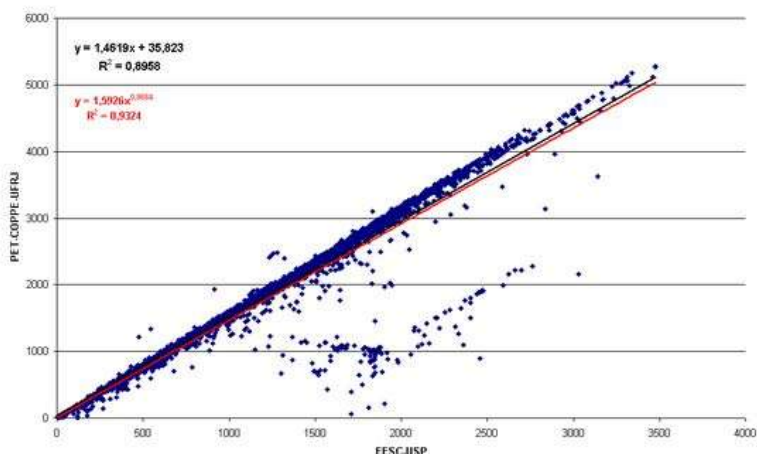


figura 11 : Gráfico de dispersão – distâncias geradas pelos mapas da PET-COPPE-UFRJ e da EESC-USP

5 Conclusões

Concluiu-se através deste trabalho que o mapa vetorial que representa a rede rodoviária, de rodovias pavimentadas no Brasil, de posse da Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo e editada por Rorato (2003) apresenta-se como mais uma alternativa de fonte de dados para pesquisadores e usuários do SIG-T TransCAD.

Comparando-se o mapa vetorial da EESC-USP com os mapas vetoriais da PET-COPPE-UFRJ (mapa gratuito) e da Caliper no Brasil (mapa comercial) notou-se um bom comportamento da conectividade e da representatividade estatística do mapa vetorial, conforme método proposto.

6 Bibliografia

- Allen, W.B.; Liu, D.; S. Singers.** *Accessibility measures of U.S. Metropolitan Areas.* Transportation Research. Part B, Methodological, 27B(6)/1993, p.439-49.
- Anderson, R.A.; Sweeney, D.J.; Willians, T.A.** *Estatística aplicada à administração e economia.* São Paulo: Pioneira, 2002.
- Caliper.** *TransCAD Transportation GIS Software. User's Guide Version 4.0 for Windows.* Caliper Corporation, Newton, EUA, 2000.
- Diniz, U. L.** *Alocação e dimensionamento de frotas de veículos para apoio a maquinário agrícola de usinas sucroalcooleiras.* 109p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2000.
- Hitchcock, F.L.** *Distribution of a product from several sources to numerons localities.* Journal of Math. Physics, v.20/1941.
- Lima, R.S.** *Bases para uma metodologia de apoio à decisão para serviços de*

educação e saúde sobre a ótica dos transportes. 200p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2003

Lins, M.P.E.; Ferreira F^o, V.J.M. *Sistemas de informações geográficas e modelagem em pesquisa operacional*. Disponível em: <<http://members.tripod.com/~producao/edicao1/rprogis.html>>. Acesso em: 01 ago. 2001.

Pelizaro, C. *Avaliação de desempenho do algoritmo de um programa comercial para roteirização de veículos*. 153p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2000.

PET-COPPE-UFRJ. *Programa em Engenharia de Transportes, Projeto GIS – geographic information system*, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.gis.pet.coppe.ufrj.br/>>. Acesso em: 10 mai. 2004.

Raia Jr., A.A.; Silva, A.N.R. *Um método expedito para verificação da consistência de redes para uso em um SIG-T*. In: Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, 12/1998, Fortaleza. Anais.. v.2. pp. 10-7.

Ribeiro, G.M. *Modelo de apoio ao planejamento de distribuição de carga em área urbana*. 126p. Dissertação (Mestrado) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro. 2002.

Rorato, R.J. *Alternativas de transporte rodo-marítimo na distribuição de cargas frigoríficas no Brasil*. São Carlos, 2003. 213p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2003

Rose, A. *Uma avaliação comparativa de alguns sistemas de informação geográfica aplicados aos transportes*. 139p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2001.

Sarkis, L.F.P.G. *Resíduos de serviços de saúde em cidades de médio porte: caracterização de sistemas de coleta e aplicação de um sistema de informação geográfica na roteirização de veículos de coleta e transporte*. 215p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2000.

Southworth, F.; Peterson, B.E. *Intermodal and international freight network modeling*. Transportation Research Part C/2000 P.147-66.

Tiago, R.P. *Estudo de pontos promissores para instalação de terminais intermodais rodo-ferroviários de contêineres no Estado de São Paulo*. 103p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2002.

Viviani, E. *A utilização de um sistema de informação geográfica como auxílio à gerência de manutenção de estradas rurais não-pavimentadas*. 292p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1998.

7 Anexo

7.1 Análise de variância – municípios selecionados

LONGITUDE	LATITUDE	MUNICÍPIO	UF	LONGITUDE	LATITUDE	MUNICÍPIO	UF
-39951111	-51525000	ARAPIRACA	AL	-43103511	-22283333	INTERIO	RJ
-38419167	-12139956	ALAGOINHAS	BA	-42531111	-22283544	NOVA FRIBURGO	RJ
+45600000	-12152778	BARREIRAS	BA	-43451111	-22759167	NOVA IGUAÇU	RJ
-38324167	-12267500	CAMACARI	BA	-43173511	-22504000	PETROPÓLIS	RJ
-38999667	-12299667	FELICIDADE SANTANA	BA	-43555278	-22716111	QUEIMADOS	RJ
-38045444	-14733333	ILHÉUS	BA	-43053333	-22528444	SÃO DOMINGOS	RJ
-38280278	-14739966	ITABUNA	BA	-43372222	-22910333	SÃO JOÃO DE MERITI	RJ
+40035111	-13857500	Jequié	BA	-42968556	-22412222	TEREBOPOLÉ	RJ
-40500066	-94136110	JUAZEIRO	BA	-44104167	-22522066	VOLTA REDONDA	RJ
-40839444	-14996111	VITÓRIA DA CONQUISTA	BA	-37344167	-51874000	MOSSORÓ	RN
-38969333	-37327778	CAUCAIA	CE	-41944167	-10822222	JAPARANGA	RO
-38315278	-12130640	JUAZEIRO DO NORTE	CE	-51083511	-25660000	ALVARADA	RS
-38926333	-36769440	MARACANAÚ	CE	-54103544	-31330333	BAOÉ	RS
-40345722	-39361110	SOMBRIAL	CE	-51183511	-29917778	CAMOES	RS
+11142778	-20848833	CACULHÓBRO DE MATAPURUSSE	ES	-51179444	-28160556	CACULHÓBRO	RS
+40400000	-20263333	CARMO	ES	-40563544	-25944444	ORAXITAI	RS
-40305556	-15635444	COLATINA	ES	-51130556	-29673333	NOVO HAMBURGO	RS
-40072222	-15081111	LINHARES	ES	-52403667	-28252778	PASSO FUNDO	RS
-40007778	-20122611	SERRA	ES	-52342500	-31773544	PELOTAS	RS
-40292500	-20335722	VILA VELHA	ES	-52056511	-30039000	RIO GRANDE	RS
-48545278	-16321967	AMPOLÉ	GO	-53003544	-29624167	SANTA MARIA	RS
-47590278	-16262500	LUZIANÁ	GO	-51147222	-29760278	SÃO LEO POLDI	RS
+44780000	+22500000	BACABAL	MA	-51143333	-28235444	SAPUCAIA DO SUL	RS
+43366111	-48583330	CACANGÉ	MA	-51083333	-28754222	URUGUAIANA	RS
+43389666	+44552778	COÍTÓ	MA	-51023333	-30081111	VIMARAO	RS
+47475556	-65293333	IMPÉRATRIZ	MA	-48096111	-26919444	BLUMENAU	SC
+49200000	-40383330	SANTA LUÍZA	MA	-52613333	-27096333	CHARQUEADO	SC
-42303667	-50841670	TURNO	MA	-48368722	-28677500	CURITUBA	SC
-43713511	-21225633	BARBACENA	MG	-48963544	-28907778	ITAJAI	SC
+41593333	-15967778	BETIM	MG	-48849556	-28304444	JOINVILLE	SC
+44055111	-15931967	CONTAGEM	MG	-50026111	-27816111	LAGEO	SC
+48383333	-20138333	DIVINÓPOLIS	MG	-48627500	-27615278	SÃO JOSÉ	SC
+41954444	-18261111	GOVERNADOR VALADARES	MG	-47330333	-22739167	AMERICANA	SP
-42539667	-18483333	IPATINGA	MG	-50432778	-21203333	ARACATUBA	SP
+43500278	-21764167	JUÍZ DE FORA	MG	-48179556	-21784444	ARARAQUARA	SP
-43961967	-16739000	MONTES CARLOS	MG	-48967778	-20967222	BARRETOS	SP
-46518256	-18273333	PATOS DE MINAS	MG	-48376111	-23510566	BARUERI	SP
-46660333	-21737778	POÇOS DE CALDAS	MG	-48068556	-22314722	BAURUR	SP
+44083667	-18798444	RIBEIRÃO DAS NEVES	MG	-46543544	-22563544	BRAGANÇA PAULETA	SP
+4248967	-18456333	SITE LAGOAS	MG	-47083333	-22505556	CAMPINAS	SP
+41505278	-17267500	TIBIQUARA	MG	-48339556	-23525000	CARAPICUBA	SP
-47933544	-18748333	UBERABA	MG	-48919167	-23610333	COTIÁ	SP
-48277222	-18919167	UBERLANDIA	MG	-49522778	-23686111	DIADEMA	SP
-54809556	-22221111	DOURADOS	MS	-48822222	-23648333	ENABU	SP
-54829556	-16470333	ROMÃOPOLES	MT	-48335111	-22640333	FERRAZ DE VASCONCELOS	SP
-55132500	-15649567	VARZEA GRANDE	MT	-47400333	-20635111	FRANCA	SP
-48822500	-17180250	ABATETUBA	PA	-46256333	-22660066	GUARUÁ	SP
-48372222	-13699500	ANANINDEUA	PA	-46530000	-23452778	GUARULHOS	SP
-46773333	-10633333	BRAGANÇA	PA	-47213066	-23080278	INDAIAL	SP
-47922222	-12996670	CASTANHAL	PA	-48053066	-23691967	ITAPETINGA	SP
-38281111	-72006500	CAMPINA GRANDE	PB	-46834167	-23648333	ITAPEVI	SP
-38030000	-82996670	CABO	PE	-46343333	-23436111	ITAUQUAQUEETUBA	SP
-34861111	-80216670	CAMARACOBÉ	PE	-47259167	-23264167	ITU	SP
-36978111	-82833333	CARUARU	PE	-46968333	-23085278	JACAREI	SP
-36452778	-82980278	CARANGUÁ	PE	-48824167	-23193333	JUNDIAÍ	SP
-38014722	-81127778	JABOATÃO DOS GUARARAPES	PE	-47401967	-22964222	LIMEIRA	SP
-34895278	-80083330	OLINDA	PE	-46948333	-22213333	MARILIA	SP
-34873066	-79403330	PAULESTA	PE	-46450333	-22967778	MAUA	SP
-40507500	-80830660	PETROLINA	PE	-46183333	-22622778	MOJUBAS CRUZES	SP
-36293333	-81180660	VITÓRIA DE SANTO ANTONIO	PE	-46842222	-22372222	MOJUBAS	SP
+41778967	-25047220	PARANÁ	PI	-46751967	-23532500	OSASCO	SP
-51460333	-23650333	APUCARANA	PR	-46451967	-22573333	PINDAMONHANGABA	SP
-53452778	-24856333	ASCOMVEL	PR	-47649167	-22725278	PIRACIABA	SP
-45224167	-25291967	COLOMBO	PR	-46402778	-24008333	PRATA GRANDE	SP
-54583066	-25647778	FÓZ DE IGUAÇU	PR	-51382333	-22129566	PRÉSENTES E PRUDENTE	SP
-51483066	-25362780	GUARAPUAVA	PR	-47810278	-21177500	RIBEIRÃO PRETO	SP
-51152778	-23310278	MORRINHOS	PR	-47960333	-22410333	RIO CLARO	SP
-51933511	-23425278	MARINGÁ	PR	-47413511	-22753511	SANTA BARBARA DOESTE	SP
-48901967	-25620000	PARANAGUA	PR	-46633333	-22960333	SANTO ANDRÉ	SP
-50163544	-24905000	POMTÁ GROSSA	PR	-46333511	-22940333	SANTOS	SP
-48036333	-25634222	SÃO JOSÉ DOS PINHOS	PR	-46660000	-22923333	SÃO BERNARDO DO CAMPO	SP
+44170333	-22544167	BARRAMUNDA	RJ	-46651111	-23623066	SÃO CRISTÃO DO SUL	SP
+43356444	-22764167	BELFÓRD ROXO	RJ	-47283333	-22017500	SÃO CARLOS	SP
				-48379444	-20815222	SÃO JOSÉ DO RIO PRETO	SP

7.2 Análise de variância – capitais selecionadas

LONGITUDE	LATITUDE	CIDADE/ORIGEM	UF
-67810000	-99747220	RIO BRANCO	AC
-35735278	-96655330	MACEIO	AL
-38510833	-12971111	SALVADOR	BA
-38543056	-37172220	FORTALEZA	CE
-47929722	-15779722	BRASILIA	DF
-40337778	-20319444	VITORIA	ES
-49253889	-16678611	GOIANIA	GO
-44302778	-25297220	SÃO LUIS	MA
-43856389	-18816944	BELO HORIZONTE	MG
-48304444	-14555330	BELEM	PA
-34853056	-71150000	JOÃO PESSOA	PB
-34881111	-80538890	RECIFE	PE
-42801944	-50891670	TERESINA	PI
-48273056	-25427778	CURITIBA	PR
-43307500	-22902778	RIO DE JANEIRO	RJ
-35309444	-57950000	NATAL	RN
-63903889	-57619440	PORTO VELHO	RO
-51230000	-30033056	PORTO ALEGRE	RS
-48549167	-27596667	FLORIANÓPOLIS	SC
-37071667	-10911111	ARACAJU	SE
-46636111	-23547500	SÃO PAULO	SP