

# Análise locacional de usina beneficiadora de café como problema da p-mediana

Danielle Dias SantAnna Martins (UFV)  
danielledias@ufv.br

Alexandre Navarro da Silva (UFV)  
navarrosilva@hotmail.com

Gustavo Mello Reis (UFV)  
gustavo\_epr@yahoo.com.br



## RESUMO

*A cafeicultura brasileira apresenta uma história de grande produtividade, empregando milhões de pessoas, porém tem-se observado declínio de produção devido à perda de qualidade desse produto. Dessa forma, o conhecimento logístico vem-se destacando para a melhoria da qualidade do café. Com o objetivo de identificar a melhor localização para a instalação de uma usina beneficiadora de café para as sub-regiões da Zona da Mata mineira, Viçosa e Ponte Nova, fez-se um estudo para obtenção das produções de café nas cidades dessas sub-regiões, assim como das respectivas coordenadas, do coeficiente rodoviário (para que as distâncias encontradas em linha reta possam ser corrigidas) e das estimativas do custo de transporte e custo da instalação da usina. Com esses dados, utilizou-se o módulo PMED, do software Logware, para obter o melhor local para ser instalada essa usina beneficiadora. A cidade de Canaã foi definida como o melhor local, atendendo a todas as 35 cidades estudadas e contribuindo para a garantia da qualidade pós-colheita do café dessa região.*

**Palavras-chave:** Logística, Estudo locacional, Cafeicultura e problema da P-mediana.

## Location analysis of coffee processing plant using p-median problem

### ABSTRACT

*The Brazilian coffee crop has a history of high productivity, employing millions of people, but has seen a decline in production due to loss of quality of this product. Thus, the logistical knowledge has become important to improve the quality of coffee. Aiming to identify the best location for the installation of a coffee mill processor in the sub-regions of Zona da Mata Mineira, Viçosa and Ponte Nova, a study was done to obtain the production of coffee in the cities of these sub regions, and their respective coordinates, the coefficient road (so that the distances found in a straight line can be corrected), and estimates the cost of transportation and installation cost of the plant. With these data, we used the software module PMED LogWare to be obtained from the best place to be installed this plant benefactor. The town of Canaan was defined as the best location, given all the 35 cities studied, and contributing to ensuring the postharvest quality of coffee in this region.*

**Keywords:** Logistic, Location study, Coffee, P-median problem.

## 1. Introdução

A cadeia agroindustrial do café no Brasil é uma das mais importantes e tradicionais mundialmente, tendo exercido grande influência histórica no desenvolvimento socioeconômico do país. Atualmente, o agronegócio do café envolve, direta e indiretamente, cerca de 10 milhões de pessoas em uma cadeia que vai do campo à xícara do consumidor (COELHO, 2002).

De acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, hoje o Brasil ocupa a posição de maior produtor mundial de café, com uma safra, em 2008, de 46 milhões de sacas, correspondendo a cerca de 35% de todo o café produzido no mundo, além de ser um dos maiores consumidores, apresentando consumo, em 2008, de 18,1 milhões de sacas. Em relação ao mercado internacional, o país exportou, em 2008, cerca de 29 milhões de sacas, o que representou um *market-share* de 30,4% (MAPA, 2009).

O café produzido no Brasil ocupa área plantada de aproximadamente 2,1 milhões de hectares distribuídos em 500 mil propriedades, tendo seu período de safra compreendido entre os meses de maio e agosto (ABIC<sup>1</sup>, 2009). Os principais produtores são os Estados de Minas Gerais, do Espírito Santo, de São Paulo, do Paraná e da Bahia. Segundo a ABIC<sup>2</sup> (2009), somente em Minas Gerais, Estado líder na produção nacional (45,90% do total produzido), concentram-se 150 mil propriedades rurais com cultivo de café, difundidas entre as regiões Sul/Oeste, Triângulo Mineiro/Alto do Paranaíba e Zona da Mata/Jequitinhonha, conforme mostrado na Tabela 1.

O consumo interno brasileiro de café continua crescendo de forma acentuada. O atual consumo *per capita* (5,53 kg/hab./ano) encontra-se em níveis semelhantes aos de países desenvolvidos como Alemanha (5,86 kg/hab./ano), França (5,07 kg/hab./ano) e Itália (5,63 kg/hab./ano), que estão entre aqueles com o maior consumo *per capita* em todo o mundo, segundo dados da Organização Internacional do Café – OIC (ABIC<sup>3</sup>, 2009).

Apesar de o Brasil, entretanto, ocupar a posição de maior produtor e exportador de café, observa-se que as exportações brasileiras estão em um estado de estagnação, em virtude da falta de qualidade do produto nacional (FLORESTASITE, 2007).

Juntamente com isso, a preocupação dos consumidores com a saúde, com a qualidade de vida e com o meio ambiente tem levado os consumidores a valorizar a adoção de métodos de produção agrícolas que garantam a qualidade dos produtos (RICCI *et al.*, 2006).

Tabela 1 - Produção e produtividade de café beneficiado no Brasil, em 2007/2008

UF/Região	Produção (mil sacas de 60 kg beneficiadas)			Total (%)	Produtividade (sacas/ha)
	Arábica	Robusta	Total		
Minas Gerais	15.450	36	15.486	45,90	15,24
Sul/Centro-Oeste	6.825	-	6.825	20,23	13,47
Triângulo/Alto Paranaíba/Nordeste	3.061	-	3.061	9,07	19,71
Zona da Mata/Jequitinhonha/Mucuri/ Rio Doce/Central/Nordeste	5.564	36	5.600	16,60	15,80
Espírito Santo	2.016	7.567	9.583	28,40	20,33
São Paulo	2.632	-	2.632	7,80	15,60
Paraná	1.622	-	1.622	4,81	16,65
Bahia	1.315	517	1.831	5,43	19,28
Rondônia	-	1.482	1.482	4,39	9,67
Mato Grosso	11	141	153	0,45	9,40
Pará	-	266	266	0,79	17,60
Rio de Janeiro	269	11	281	0,83	19,97
Outros	162	242	404	1,20	15,84
<b>BRASIL</b>	<b>23.477</b>	<b>10.263</b>	<b>33.740</b>	<b>100,0</b>	<b>16,27</b>

Fonte: Adaptado de ABIC<sup>2</sup>, 2009.

Um dos fatores determinantes na qualidade do café é o seu transporte após a colheita, que deve ser feito o mais rápido possível para que o processo de fermentação, causado pelos microrganismos presentes na lavoura, seja cessado, o que ocorre assim que se inicia a secagem do produto na usina de beneficiamento. Para a preservação das características organolépticas do café, recomenda-se que o período de fermentação não exceda o limite de um dia (SOUZA, 2001).

O estudo da cadeia de abastecimento, uma das áreas da logística, corresponde aos processos de

obtenção de material, agregação de valor e disponibilização dos produtos no lugar, tempo e quantidade requerida pelos clientes (BERTAGLIA, 2005). O problema, portanto, de fermentação precoce do café pode ser solucionado pelo estudo logístico dessa etapa crítica da cadeia de suprimentos: o transporte da matéria-prima.

Mediante a facilidade de comercialização que ocorre atualmente, com a evolução dos sistemas logísticos o mercado tornou-se global para todo tipo de produto, principalmente para *commodities*, como é o caso do café, o que torna extremamente necessária a redução de custos, para que as organizações se tornem competitivas (BALLOU, 2006).

Um fator que afeta diretamente o tempo e o custo de transporte é, assim, o posicionamento geográfico da matéria-prima em relação ao ponto de processamento, devendo ser levado em consideração a localização dos clientes e fornecedores, o volume transportado e a taxa de transporte, entre outras variáveis, para a identificação do melhor local de instalação das unidades produtivas (BERTAGLIA, 2005).

Este estudo objetivou, portanto, a utilização do problema da p-mediana para identificar o ponto ótimo para a localização de uma unidade beneficiadora de café que atenda os produtores das sub-regiões da Zona da Mata mineira, especificamente das sub-regiões Viçosa e Ponte Nova, de forma a diminuir os custos de transporte. Além disso, pretende-se avaliar as distâncias entre o local escolhido para a instalação da usina e as cidades produtoras de café, as quais não poderão ser muito longas, evitando as possíveis perdas de qualidade do produto ocasionadas pela fermentação.

## 2. Estudo locacional de facilidades

O problema de localização de facilidades é aquele que procura por locais ótimos para instalação de unidades, minimizando custo ou maximizando lucro. As localizações apropriadas para essas unidades, que podem ser armazéns, indústrias, centros de serviço, clínicas, entre outras, prevêm a necessidade de que a distância total seja mínima entre a facilidade e os consumidores e, ou, fornecedores, contribuindo para maior nível de serviço oferecido (BOWERSOX; CLOSS, 2001).

É inegável, assim, que a excelência nas decisões estratégicas, no que tange à localização de

instalações, seja indispensável para o aumento da eficiência e o consequente incremento de competitividade de qualquer tipo de empresa (SINGHTAUN; CHARNSETHIKUL, 2007).

Decisões de localização de instalações são de alto custo e difíceis de reverter, já que seus impactos são refletidos por um longo período de tempo (SNYDER, 2006).

A importância da análise locacional se deve ao fato de que várias informações devem ser obtidas a fim de que sejam reduzidos os riscos de implantação de novas facilidades; riscos esses que estão intimamente relacionados a custos, número de instalações e locais (dados de saída do modelo) (BALLOU, 2006).

Segundo Ballou (2006), a localização de facilidades é uma área comum e preferencial de pesquisas iniciadas há mais de um século por economistas rurais e geógrafos regionais, como: Johann Von Thünen (1875), Alfred Weber (1909), T. Palander (1935), August Lösch (1940), Melvin Geenhut (1956), Edgar Hoover (1957) e Walter Isard (1968).

A localização agrícola no século XIX deu início ao estudo de problemas econômicos relacionados à variável espacial. Já no século XX surgiram modelos que trataram da localização, trazendo novas abordagens, métodos e aperfeiçoamentos dos já existentes. Johann Heinrich Von Thünen, em 1826, foi a primeira referência no que tange ao problema do espaço. Esse autor estudou a localização de atividades agrícolas ao redor de uma cidade, desenvolvendo a conhecida teoria dos “anéis de Thünen”, que descrevia a realização de áreas circulares em volta da cidade, delimitando a área de cultivo de determinado produto (LOPES; CAIXETA FILHO, 2000).

Para realização de análises locacionais, há métodos com abordagem qualitativa, ou seja, subjetiva, contando com entrevistas sobre opiniões de especialistas no assunto e, posteriormente, comparações classificatórias entre as possibilidades de localização e métodos com abordagem quantitativa, baseada em ferramentas matemáticas, podendo ser classificada em exata, de simulação e heurística (DAVIS *et al.*, 2001; CHOPRA; MEINDL, 2004).

No processo de avaliação qualitativa, fatores como a infraestrutura local e a educação e qualificação da mão de obra disponível podem ser considerados (LAM; SELDIN, 2004). Já no

processo de avaliação quantitativa podem ser caracterizados os custos de transporte da redelógica, a oferta de materiais e a demanda dos clientes distribuídos entre as plantas produtivas, a capacidade máxima de produção das unidades a serem instaladas e, ou, os respectivos custos de instalação (BALLOU, 2006).

Segundo Oliveira (2003) e Reed Junior (1971 citado por HOMEM, 2004), quando se consideram os estudos puramente exatos, a teoria da localização pode ser entendida como variação do modelo de transporte, que tem como objetivo a minimização dos custos de transportes, através da programação linear, de acordo com a demanda de certo produto distribuído em vários locais. Esse modelo, quando em conjunto com a programação inteira, constitui ferramenta bastante eficaz na determinação do melhor local para instalação de uma indústria.

Uma revisão de problemas de localização sequenciais realizada por Eiselt e Laporte (1996) mostrou a importância de se utilizarem conhecimentos de pesquisa operacional como forma de desenvolver métodos de otimização da localização de vários tipos de empreendimento, inclusive de indústrias.

Vasconcelos (2003) propôs a determinação dos 10 melhores municípios-polo para a instalação de uma agroindústria integradora de suínos e aves na Região Centro-Oeste do Brasil. Para obter este resultado, foi adotado o modelo do problema da P-mediana, através do uso do software LINGO 8.0.

A localização de agroindústrias de esmagamento de soja, visando à minimização dos custos de transporte entre áreas de produção no Estado de Mato Grosso, foi analisada por Oliveira (2003). Para isso, foi utilizado o Modelo de Localização em Redes e de Programação Linear.

## 2.1. Problema da P-mediana

Em um problema discreto de localização de facilidades, a seleção dos locais onde novas instalações poderão ser estabelecidas é restrita à disponibilidade dos locais candidatos. A colocação mais simples desse tipo de problema é aquele em que  $p$  candidatas são selecionadas para minimizar as distâncias ou custos totais para o suprimento da demanda. Esse tipo de problema é denominado problema da p-mediana e tem atraído muita atenção na literatura (MELO *et al.*, 2009).

O problema da p-mediana é tratado através de programação linear inteira combinada, apresentando diferencial em relação aos outros métodos: a sua capacidade de lidar com os custos fixos de maneira ótima (BALLOU, 2006).

Esse método é nomeado dessa forma porque a modelagem é feita em um grafo  $(n,p)$ , ou seja, uma rede com “ $n$ ” nós e “ $p$ ” medianas, que são os nós candidatos a receberem facilidade. Esse tipo de problema pode admitir que cada nó tenha apenas uma instalação e seja atendido por apenas uma facilidade ou por múltiplas facilidades, de acordo com a necessidade do programador ou restrições de software. A Figura 1 representa o problema da p-mediana, sendo os nós escuros candidatos a receberem a instalação e os nós brancos não são candidatos.

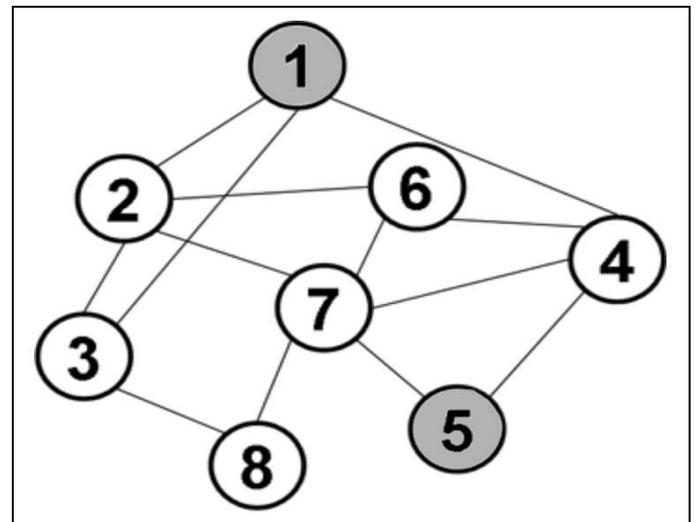


Figura 1 - Grafo representativo do problema P-mediana  
Fonte: Adaptado de BOAVENTURA NETO, 2003.

A modelagem desse problema é feita de modo que o objetivo seja a minimização do custo total dada pela soma entre o custo fixo de instalação, ou seja, o custo de implantação da facilidade, e o custo de transporte. Este custo, por sua vez, leva em consideração a distância entre cada nó e a instalação que o atende, um fator de multiplicação que corrige as distâncias retas em distâncias rodoviárias, o volume transportado e a taxa de transporte em unidade monetária por unidade de distância e por unidade de volume (BALLOU, 2006).

Uma grande vantagem do modelo da p-mediana, portanto, é a possibilidade de escolha de locais ótimos que tenham potencial para implementar uma instalação, diferentemente de

outros métodos que não possibilitam inserir esse tipo de restrição (SNYDER, 2006).

### 3. Material e métodos

#### 3.1. Modelo utilizado

Para a identificação do ponto ótimo a ser instalada uma usina de beneficiamento de café nas sub-regiões de Viçosa e Ponte Nova, na Zona da Mata mineira, a ferramenta utilizada foi o módulo PMED, do software Logware, desenvolvido por Ballou (2006). A escolha desse software foi devida à fácil interatividade com o usuário e a possibilidade de obtenção de dados confiáveis, além de ser ferramenta educacional, ou seja, gratuitamente disponível mediante a aquisição do livro desse autor.

Esse módulo utiliza uma programação baseada no problema da p-mediana (método exato), fornecendo o local que minimiza os custos de transporte somados aos de instalação da facilidade, a partir de pontos candidatos, conforme pode ser visualizado na equação 1.

$$\text{Minimizar } TC = \sum_i \sum_j V_i R_i d_{ij} X_{ij} + \sum_j F_j Y_j \quad \text{Eq. (1)}$$

sujeito a :

$$1 - \sum_j X_{ij} = 1, \forall i$$

$$2 - X_{ij} \leq Y_j, \forall i, j$$

$$3 - \sum_j Y_j = n$$

$$4 - X_{ij} = \text{Binário}$$

$$5 - Y_j = \text{Binário}$$

em que:

$$- X_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ se o nó de demanda "i" for atribuído à instalação "j"} \\ 0, \text{ caso contrário} \end{cases}$$

$$- Y_j = \begin{cases} 1, \text{ se o ponto "j" receber a instalação} \\ 0, \text{ caso contrário} \end{cases}$$

- TC = total dos custos de transporte e instalações;

- i = ponto de fornecimento ou demanda;

- j = instalação candidata a receber instalação;

-  $V_i$  = volume a ser transportado do ponto de fornecimento ou demanda "i";

-  $R_i$  = taxa de transporte do ponto de fornecimento ou demanda "i";

-  $d_{ij}$  = distância entre os pontos de fornecimento ou demanda "i" e a instalação "j";

-  $F_j$  = custo fixo da instalação para o ponto candidato "j"; e

- n = número de pontos candidatos a receberem instalação.

A restrição 1 garante que a demanda/oferta de cada nó seja totalmente destinada à facilidade a ser instalada. A restrição 2 objetiva impedir o envio de produtos a nós em que não haja facilidade instalada. Quanto à restrição 3, determina que a quantidade de facilidades a serem instaladas seja fixada em "n", determinado pelo programador. Já a restrição 4 define que os fluxos nos arcos de ligação sejam obrigatoriamente de 100% ou zero, ou seja, toda a produção de um nó "i" deve ser enviada a apenas uma usina "j", ou não haverá fluxo entre esses nós. Por fim, a restrição 5 impõe que se tenha o valor zero se não houver facilidade e o valor 1, se for aberta uma facilidade nesse nó.

#### 3.2. Levantamento dos dados de entrada

##### 3.2.1. Produção de café

Para a obtenção das produções anuais de café referentes a cada cidade a ser analisada, foram utilizados os dados do site do Laboratório de Geoprocessamento da Empresa de Pesquisa Agropecuária Centro Tecnológico do Sul de Minas Gerais (EPAMIG, 2007), na seção denominada "Mapeando o café". No subitem "Mapas Interativos por Região Fisiográfica", encontrou-se o Estado de Minas Gerais dividido em regiões, em que foi selecionada a região da Zona da Mata mineira.

Essa região foi, assim, ampliada e dividida em sub-regiões, sendo selecionadas as sub-regiões de Viçosa e de Ponte Nova, separadamente. Para cada sub-região, foi obtida uma tabela com as respectivas cidades pertencentes a cada uma delas, resultando em um total de 35 cidades.

Como os dados encontrados estavam na unidade de sacas por ano, a fim de padronizar as unidades, transformou-se a produção de café de cada cidade para toneladas por ano, multiplicando o valor encontrado por 60, que corresponde ao peso, em kg, de cada saca e, em seguida, dividindo por 1.000, para que fosse transformado em toneladas.

### 3.2.2. Coordenadas das cidades produtoras

Para a obtenção dessas coordenadas, foi necessário levantar coordenadas lineares das cidades produtoras de café. Assim, para obter as coordenadas das cidades num sistema cartesiano foi utilizado o software *Google Earth*.

Como primeiro passo, foram anotadas as coordenadas das cidades no sistema cartográfico (latitude e longitude). Em seguida, foi adotado um ponto de referência,  $x = 0$  e  $y = 0$ , no canto Sudoeste da região em estudo, como representado pela Figura 2, sendo considerado o valor de coordenada horizontal “X” crescente na direção leste e o valor de coordenada vertical “y” crescente na direção norte. Posteriormente, foi utilizada a ferramenta do software *Google Earth* nomeada “mostrar régua” para fazer a medida

equivalente em quilômetros a 1’ (um minuto) longitudinal e latitudinalmente na região, admitindo-se certo erro de precisão. Com isso, foram gerados os valores correspondentes a 1,71 km/min e 1,84 km/min, respectivamente.

Para realizar a transformação das coordenadas das cidades do sistema cartográfico para o sistema cartesiano, foi calculada a diferença, em min, da longitude das cidades em relação à longitude do ponto de referência, sendo o resultado multiplicado por 1,71. Assim, obtiveram-se os valores de coordenadas horizontais X, em quilômetro, para todas as cidades. Da mesma forma, para encontrar os valores de coordenadas verticais Y foi calculada a diferença, em min, da latitude das cidades em relação à latitude do ponto de referência, sendo o resultado multiplicado por 1,84.

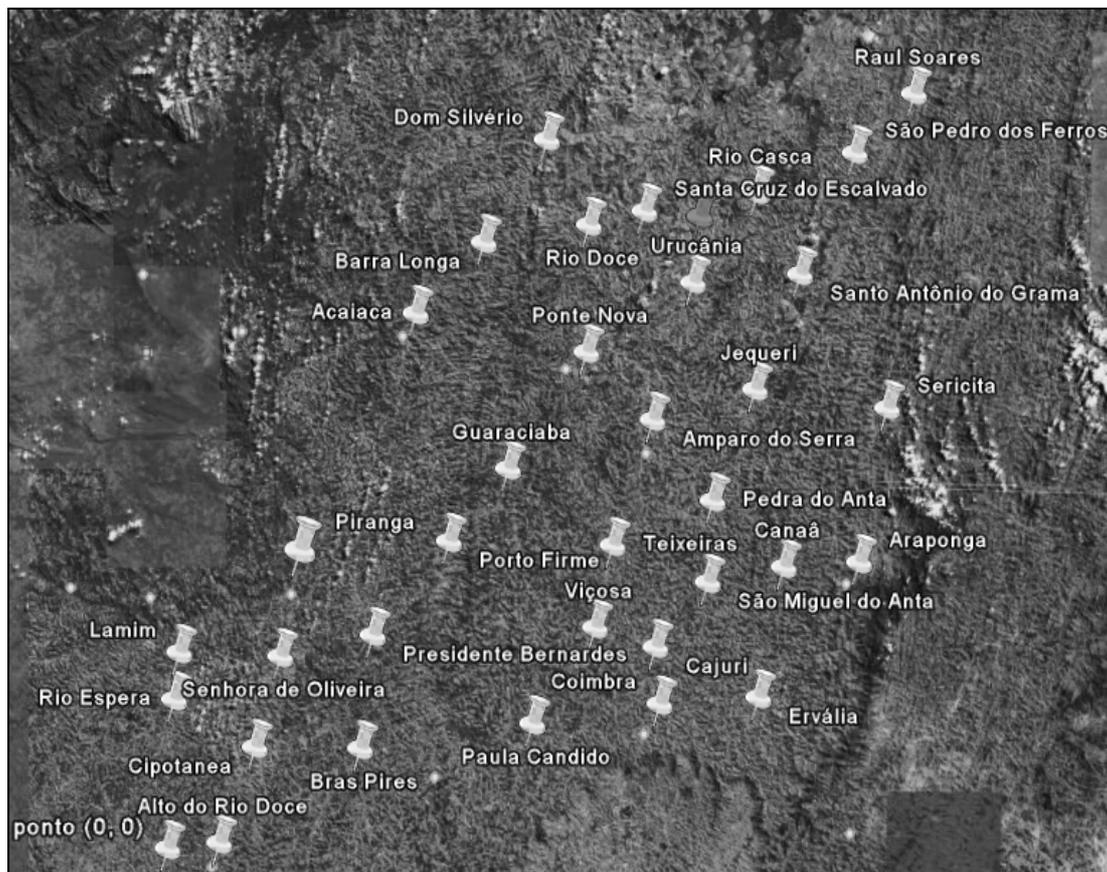


Figura 2 - Ponto de referência e cidades das sub-regiões de Viçosa e Ponte Nova

Fonte: Adaptado de GOOGLE EARTH, 2007.

### 3.2.3. Estimativa do coeficiente rodoviário

O coeficiente rodoviário é o fator que deve ser multiplicado pela distância em linha reta para que seja obtida melhor representação da verdadeira distância rodoviária entre as cidades estudadas. A

estimativa desse coeficiente foi obtida através do processo tido como inverso ao normalmente utilizado, ou seja, foi determinado pelo resultado da razão entre a distância rodoviária real pela distância em linha reta entre as cidades, dada pelas coordenadas cartesianas obtidas anteriormente.

As distâncias rodoviárias reais entre as cidades foram obtidas por dois diferentes softwares: *Google Earth* e Guia Quatro Rodas. Para que os cálculos fossem simplificados, mas não deixando de serem representativos, foram consideradas as distâncias entre a cidade de Viçosa e as outras 34 estudadas. Para cada trecho foram, então, obtidas duas distâncias (uma de cada software), sendo observado que, dos 34 trechos analisados, em 14 houve diferenças entre os resultados superiores a 5%. Com isso, 20 trechos atenderam à condição previamente imposta de apresentarem desvio máximo de 5% entre os resultados dos dois softwares, sendo utilizadas essas 20 distâncias médias para o cálculo do coeficiente rodoviário.

As distâncias em linha reta, por sua vez, foram calculadas pelas coordenadas cartesianas, através da equação 2.

$$d_i = \sqrt{(x_i - x_{viçosa})^2 + (y_i - y_{viçosa})^2} \quad \text{Eq. (2)}$$

em que:

- $x_i, y_i$  = coordenadas horizontal e vertical, respectivamente, da cidade “i”;
- $x_{viçosa}, y_{viçosa}$  = coordenadas horizontal e vertical, respectivamente, da cidade de “Viçosa”; e
- $d_i$  = distância em linha reta da cidade “i” à cidade de “Viçosa”.

Assim, para cada um dos 20 trechos identificados, foi calculado um coeficiente rodoviário, dividindo a distância real pela distância em linha reta entre as respectivas cidades e a cidade de Viçosa. A estimativa desse coeficiente para toda a região foi dada pela média dos 20 valores encontrados.

### 3.2.4. Estimativa dos custos de transporte

Os custos de transporte foram estimados com base no Índice Nacional de Custos do Transporte Rodoviário de Carga Lotação – INCTL da Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas (FIPE, 2007).

No site da FIPE foi acessado um link para o Boletim de Informações FIPE (BIF) e, posteriormente, o link “índices”, sendo analisada a edição referente ao mês de outubro de 2007. Nessa edição, o valor mais atual para o INCTL foi

referente ao mês de maio de 2007, cujo valor foi de 120,75 para distâncias muito curtas (50 km) e 121,18 para distâncias curtas (400 km). Esses valores têm como referência o mês de outubro de 2003 como 100, ou seja, representam variação percentual dos custos de transporte a partir dessa data.

Para transformar esses valores em R\$/tonelada, foi obtido um valor anterior para o índice INCTL e respectivo valor em R\$/tonelada, em uma circular no site do Sindicato de Empresas do Transporte Rodoviário de Cargas e Logística do RJ, os quais estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Custos de transporte em R\$/t em agosto de 2006

Percurso	Distância (km)	R\$/t	Índice (Out./03 = 100)
Muito curto	50	34,36	117,26
Curto	400	65,02	117,66

Fonte: SINDICARGA, 2007.

Assim, pôde-se obter a estimativa do custo de transporte em R\$/tonelada para o mês de maio de 2007, utilizando-se a regra de 3 simples, conforme pode ser visualizado no Quadro 1.

Para obter um custo de transporte em R\$/t.km para a situação em estudo, foi utilizada a média das distâncias reais, já calculada anteriormente, e, em seguida, foi feita uma interpolação, como pode ser observado no Quadro 2. O valor encontrado foi de 0,68 R\$/t.km.

Quadro 1 - Cálculo do custo de transporte

Para o percurso muito curto (50 km)	Para o percurso curto (400 km)
34,36 R\$/t	65,02 R\$/t
117,26(agosto/2006)	117,66(agosto/2006)
$X_{mc}$	$X_c$
120,75(maio/2007)	121,18(maio/2007)
$X_{mc} = 35,38$ R\$/t	$X_c = 69,97$ R\$/t
$X_{mc} \div 50\text{km} = 0,7076$	$X_c \div 400\text{km} = 0,174925$
<b>R\$/t.km</b>	<b>R\$/t.km</b>

Quadro 2 - Interpolação para o cálculo do custo de transporte

Custo de transporte na situação estudada
Distância média encontrada: 68,11km
Interpolação: $(0,7076 - 0,174925)/(50-400) = (0,7076 - X)/(50-68,11)$
<b>Taxa de transporte = 0,68 R\$/t.km</b>

### 3.2.5. Estimativa dos custos de instalação da usina de beneficiamento

Os custos de instalação da usina de beneficiamento foram considerados como a soma

do investimento fixo mais o capital de giro, os quais foram determinados pelo trabalho de Val et al. (2006). Esses valores estão demonstrados na Tabela 3.

Tabela 3 - Parcelas do custo de instalação

Item	Valor (R\$)
Investimento fixo	162.416,05
Capital de giro	46.489,73
<b>Custo de instalação</b>	<b>208.905,78</b>

Fonte: VAL et al., 2006.

### 3.3. Seleção dos pontos candidatos

O módulo PMED utilizado apresenta três limitações básicas:

- Não há possibilidade da produção de um nó ser enviada para mais de uma facilidade.
- A quantidade de nós (cidades) não pode exceder a 65.
- Pode haver, no máximo, 15 nós candidatos a receberem uma facilidade, simultaneamente.

Dessa forma, para que todas as 35 cidades produtoras de café pudessem ser candidatas a receber instalação da usina beneficiadora, rodou-se o módulo três vezes. Na primeira vez, as 12 primeiras cidades listadas foram tidas como candidatas à instalação da facilidade; na segunda vez, as próximas 12 cidades; e na terceira vez, as últimas 11 cidades foram selecionadas como candidatas à instalação, ressaltando-se que as cidades foram colocadas em ordem alfabética.

Para cada rodada, foi identificada uma cidade (ponto ótimo) a ser implantada a usina. Portanto, após a verificação de quais seriam as três melhores cidades a receber a instalação, realizou-se uma nova simulação com apenas essas três sendo candidatas a receber a facilidade, de modo a definir a melhor localização.

### 3.4. Avaliação das distâncias das cidades produtoras ao ponto de beneficiamento

Para verificar se as distâncias a serem percorridas entre cada uma das cidades produtoras de café e o local escolhido para implantação da usina de beneficiamento encontram-se dentro de um limite aceitável, de modo que o transporte não exceda o tempo máximo de um dia, a fim de evitar possíveis perdas de qualidade do produto, foram levantadas as respectivas distâncias reais através do Guia Quatro Rodas, bem como considerada uma

velocidade média de tráfego do caminhão de 60 km/h.

## 4. Resultados

De posse dos dados (Tabela 4), iniciou-se o processo de identificação do melhor local para instalação da usina de beneficiamento de café. Os dados foram, então, inseridos no módulo PMED, do software Logware, ressaltando-se que o custo de instalação é fixo e um dado de entrada do problema, não podendo este ser minimizado, uma vez que foi definida a instalação de apenas uma usina, sendo o seu valor o mesmo para qualquer uma das 35 cidades. Em função de uma das restrições do PMED para que todas as cidades analisadas pudessem ser candidatas a receber a instalação da usina beneficiadora de café (Figura 3), realizou-se o cálculo três vezes, sendo gerados os seguintes resultados:

- i) Selecionando os primeiros 12 pontos candidatos, obteve-se a cidade de Canaã como a melhor para receber a instalação da usina, com um custo total de R\$6.410.183,00.
- ii) Para os 12 pontos seguintes, o melhor local foi a cidade de Pedra do Anta, correspondendo a custo total de R\$6.880.056,00.
- iii) Para os últimos 11 pontos selecionados como candidatos a receber a usina, a cidade escolhida como a melhor foi São Miguel do Anta, com um custo total de R\$6.643.299,00.

Após a obtenção desses resultados, foi feita uma nova simulação com os mesmos dados, porém somente com as cidades de Canaã, Pedra do Anta e São Miguel do Anta sendo candidatas a receber a instalação da unidade beneficiadora, já que foram essas as cidades que apresentaram os menores custos totais separadamente. Com essa nova situação, foi obtido como resultado final a cidade de Canaã como aquela que apresentou o menor custo total de implementação da usina de beneficiamento de café, com valor total de R\$6.410.183,00. Portanto, esse seria o melhor local para a construção da facilidade em estudo.

A tela de entrada dos dados no módulo PMED está representada na Figura 3, demonstrando as coordenadas lineares (coordinates) X e Y, o volume de produção (Volume) (toneladas/ano), o custo de transporte (Transport rate) (R\$/t.km), o

custo de instalação (Fixedcost) (R\$) e a indicação de locais candidatos a receber a instalação (Candidate sites).

Como dado de saída, pôde-se obter um gráfico representativo de onde estariam localizados a usina e os pontos atendidos por ela, os quais seriam as 35 cidades estudadas. Como dado de

saída, pôde-se obter um gráfico representativo onde estariam localizados a usina e os pontos atendidos por ela, os quais seriam as 35 cidades estudadas (Figura 4), ressaltando-se que as cidades foram colocadas em ordem alfabética. As cidades correspondentes a cada número podem ser visualizadas na Figura 3.

Tabela 4 - Dados de entrada utilizados por cidade analisada

Cidade	Produção (t./ano)	Coordenada		Distância em linha reta até Viçosa (km)	Distância real até Viçosa (km)	Coeficiente rodoviário
		X	Y			
Acaiaca	60	35,568	73,784	50,7	81	1,597633136
Alto Rio Doce	520,2	7,353	0,92	-	-	-
Amparo do Serra	700,2	68,742	59,432	-	-	-
Araponga	23749,8	99,522	37,168	-	-	-
Barra Longa	649,8	45,315	83,72	-	-	-
Brás Pires	2020,2	27,702	14,168	-	-	-
Cajuri	6000	70,281	28,152	-	-	-
Canaã	13120,2	88,749	39,376	28,7	37	1,289198606
Cipotânea	450	12,483	14,168	52,3	86	1,644359465
Coimbra	1909,8	71,136	20,24	14,2	18	1,267605634
Dom Silvério	210	54,378	97,704	67,8	87	1,283185841
Ervália	71280	85,329	21,344	25,7	33	1,284046693
Guaraciaba	2700	49,077	52,44	-	-	-
Jequeri	3379,8	84,474	63,664	-	-	-
Lamim	100,2	1,71	27,232	60,9	94	1,543513957
Paula Candido	7200	52,668	17,664	-	-	-
Pedra do Anta	360	78,489	48,392	24,5	32	1,306122449
Piedade de Ponte Nova	600	76,437	87,4	58,7	83	1,413969336
Piranga	600	18,81	40,664	44,5	60	1,348314607
Ponte Nova	6750	60,021	69,368	38,1	50	1,312335958
Porto Firme	2980,2	40,698	42,504	-	-	-
Presidente Bernardes	1380	29,583	29,44	-	-	-
Raul Soares	39600	107,046	104,696	87,4	119	1,361556064
Rio Casca	1260	84,645	90,896	64,4	87	1,350931677
Rio Doce	229,8	60,363	86,112	55,7	71	1,274685817
Rio Espera	229,8	1,026	20,608	-	-	-
Santa Cruz do Escalvado	679,8	68,4	88,136	57,9	74	1,27806563
Santo Antônio do Grama	3840	90,801	79,488	57,1	82	1,436077058
São Miguel do Anta	9670,2	77,805	38,272	17,6	24	1,363636364
São Pedro dos Ferros	330	98,667	96,416	75,7	106	1,400264201
Senhora de Oliveira	1489,8	16,416	26,68	-	-	-
Sericita	37440	103,455	61,088	-	-	-
Teixeiras	7690,2	64,125	42,136	-	-	-
Urucânia	340,2	75,582	78,568	49,6	70	1,411290323
Viçosa	12889,8	61,56	30,912	-	-	-

Facility Location by P-Median Method

Problem label:

Horizontal scaling factor:

Vertical scaling factor:

Number of facilities to locate:

COORDINATE OPTIONS  
 Linear grid coordinates  
 Latitude/Longitude coordinates

Column Arithmetic

LOCATION DATA

Point no.	Point label	X coordinate	Y coordinate	Volume	Transport rate	Fixed cost	Candidate sites
1	ACAÍACA	35.568	73.784	60	0.68	208905.78	
2	ALTO RIO DOCE	7.353	0.920	520.2	0.68	208905.78	
3	AMPARO SERRA	68.742	59.432	700.2	0.68	208905.78	
4	ARAPONGA	99.522	37.168	23749.8	0.68	208905.78	
5	BARRA LONGA	45.315	83.720	649.8	0.68	208905.78	
6	BRÁS PIRES	27.702	14.168	2020.2	0.68	208905.78	
7	CAJURI	70.281	28.152	6000	0.68	208905.78	
8	CANAÃ	88.749	39.376	13120.2	0.68	208905.78	
9	CIPOTÃNEA	12.483	14.168	450	0.68	208905.78	
10	COIMBRA	71.136	20.240	1909.8	0.68	208905.78	
11	DOM SILVÉRIO	54.378	97.704	210	0.68	208905.78	
12	ERVÁLIA	85.329	21.344	71280	0.68	208905.78	
13	GUARACIABA	49.077	52.440	2700	0.68	208905.78	
14	JEQUERI	84.474	63.664	3379.8	0.68	208905.78	
15	LAMIM	1.710	27.232	100.2	0.68	208905.78	
16	PAULA CÂNDIDO	52.668	17.664	7200	0.68	208905.78	
17	PEDRA DO ANTA	78.489	48.392	360	0.68	208905.78	
18	PIEDADE DE	76.437	87.400	600	0.68	208905.78	
19	PIRANGA	18.810	40.664	600	0.68	208905.78	
20	PONTE NOVA	60.021	69.386	6750	0.68	208905.78	
21	PORTO FIRME	40.698	42.504	2980.2	0.68	208905.78	
22	PRESIDENTE	29.583	29.440	1380	0.68	208905.78	
23	RAUL SOARES	107.046	104.696	39600	0.68	208905.78	
24	RIO CASCA	84.645	90.896	1260	0.68	208905.78	
25	RIO DOCE	60.363	86.112	229.8	0.68	208905.78	
26	RIO ESPERA	1.026	20.608	229.8	0.68	208905.78	
27	SANTA CRUZ	68.400	88.136	679.8	0.68	208905.78	
28	SANTO ANTÔNIO	90.801	79.488	3840	0.68	208905.78	
29	SÃO MIGUEL DO	77.805	38.272	9670.2	0.68	208905.78	
30	SÃO PEDRO DOS	98.667	96.416	330	0.68	208905.78	
31	SENHORA DE	16.416	26.680	1489.8	0.68	208905.78	
32	SERICITA	103.455	61.088	37440	0.68	208905.78	
33	TEIXEIRAS	64.125	42.136	7690.2	0.68	208905.78	
34	URUCÂNIA	75.582	78.568	340.2	0.68	208905.78	
35	VIÇOSA	61.560	30.912	12889.8	0.68	208905.78	

Figura 3 - Dados de entrada do módulo PMED do software Logware

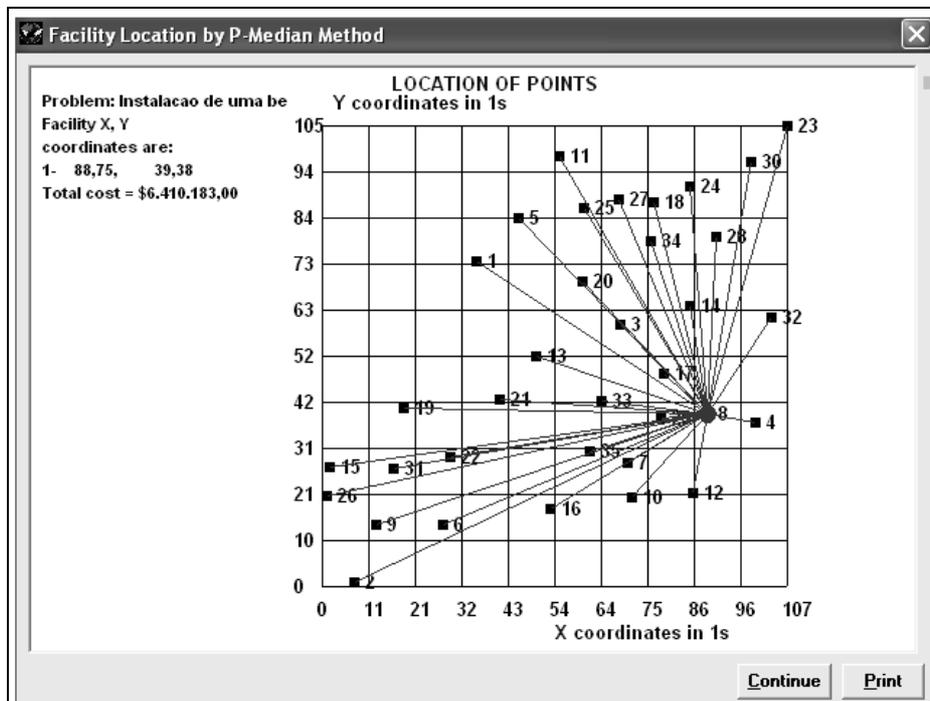


Figura 4 - Representação do local ótimo para implantação da usina, como resultado dado pelo módulo PMED

Com relação às distâncias reais entre as 34 cidades produtoras de café até o local ótimo a ser instalada a unidade de beneficiamento (Canaã), essas podem ser visualizadas na Tabela 5.

Analisando essa tabela, verificou-se que a cidade mais distante de Canaã é Alto do Rio Doce, com uma distância de 174 km. Considerando que um caminhão, cujo carregamento de sacas de café represente 100% da sua capacidade máxima, movimenta-se a uma velocidade média de 60 km/h, tem-se um tempo gasto no percurso do ponto produtor ao ponto de beneficiamento de aproximadamente três horas. Levando em consideração ainda que o tempo máximo de espera do caminhão na fazenda, para o início do carregamento das sacas de café, seja de uma hora e que para a carga e descarga são gastos 1h30min em cada operação, o tempo total de movimentação do café *in natura* ficaria em no máximo sete horas.

Este estudo mostrou, portanto, que o transporte do café, das propriedades rurais situadas nas cidades mineiras pertencentes às sub-regiões de Viçosa e Ponte Nova até a unidade beneficiadora instalada na cidade de Canaã (ponto ótimo), incluindo a espera, a carga e a descarga da mercadoria, aconteceria em até 29% do tempo máximo recomendado (de 24 h), entre o processo de colheita na fazenda e o de secagem na usina, para que não haja perda de qualidade do produto.

## 5. Conclusão

O estudo locacional para a definição da cidade que receberia a usina de beneficiamento de café nas sub-regiões da Zona da Mata mineira, Viçosa e Ponte Nova, com minimização dos custos, indicou que a cidade de Canaã seria a melhor opção. Além da consideração dos custos, garante-se que a qualidade do café não seria prejudicada pelo tempo de espera para o processamento, uma vez que a distância relativa à cidade de Canaã permite que o transporte seja realizado com menos de um dia a partir de qualquer uma das cidades produtoras.

Quanto às cidades analisadas, vale ressaltar que foi considerado que todas possuíam facilidade de acesso, espaço físico para armazenamento dos grãos e infraestrutura adequada. Caso algumas dessas pressuposições não se confirmassem, as respectivas cidades não poderiam ser candidatas a receber a instalação

Apesar da fácil interatividade com o usuário

e do baixo tempo de processamento demandado pelo software utilizado no estudo, uma de suas características é a identificação de apenas um local ótimo para a instalação da usina quando o número de pontos candidatos é superior a 15. Caso seja interesse a definição de mais de um ponto, em função de restringir a capacidade produtiva, por exemplo, outro software deve ser utilizado, como LINGO ou CPLEX.

Tabela 5 - Distância da cidade de Canaã às cidades estudadas

Cidade	Distância (km)
Acaiaca	116
Alto do Rio Doce	174
Amparo do Serra	87
Araponga	12
Barra Longa	132
Brás Pires	141
Cajuri	46
Cipotânea	157
Coimbra	47
Dom Silvério	128
Ervália	66
Guaraciaba	80
Jequeri	120
Lamim	135
Paula Candido	62
Pedra do Anta	69
Piedade de Ponte Nova	119
Piranga	94
Ponte Nova	84
Porto Firme	66
Presidente Bernardes	102
Raul Soares	161
Rio Casca	130
Rio Doce	112
Rio Espera	143
Santa Cruz do Escalvado	110
Santo Antônio do Gramma	126
São Miguel do Anta	14
São Pedro dos Ferros	151
Senhora de Oliveira	111
Sericita	33
Teixeiras	49
Urucânia	103
Viçosa	36

Fonte: GUIA QUATRO RODAS, 2007.

Para trabalhos futuros, sugere-se que sejam realizadas a roteirização e a programação de veículos, como a definição de rotas ótimas, o sequenciamento da coleta e a identificação do número de veículos para a coleta do café nas propriedades rurais até o local de instalação da

unidade beneficiadora, visando à minimização do tempo de viagem e, ou, dos custos de transporte envolvidos.

## 6. Referências

ABIC<sup>1</sup> – Associação Brasileira da Indústria de Café. **Estatísticas** – Indicadores de desempenho da cafeicultura brasileira. Disponível em: <[http://www.abic.com.br/estat\\_desempenho.html](http://www.abic.com.br/estat_desempenho.html)>. Acesso em: 26 jan. 2009.

ABIC<sup>2</sup> – Associação Brasileira da Indústria de Café. **Estatísticas** – Produção agrícola. Disponível em: <[http://www.abic.com.br/estat\\_pagricola.html#cafe\\_benef0708](http://www.abic.com.br/estat_pagricola.html#cafe_benef0708)>. Acesso em: 25 jan. 2009.

ABIC<sup>3</sup> – Associação Brasileira da Indústria de Café. **Indicadores da indústria de café no Brasil**. Disponível em: <<http://www.abic.com.br/estatisticas.html#intro>>. Acesso em: 26 jan. 2009.

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 616 p.

BERTAGLIA, P. R. **Logística e gerenciamento da cadeia de abastecimento**. São Paulo: Saraiva, 2005. 509 p.

BOAVENTURA NETTO, P. O. **Grafos: teoria, modelos, algoritmos**. 3. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2006. 328 p.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J. **Logística empresarial: processo de integração da cadeia de suprimento**. São Paulo: Atlas, 2001. 602 p.

CHOPRA, S.; MEINDL, P. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: estratégia, planejamento e operação**. São Paulo: Prentice Hall, 2004. 465 p.

COELHO, M. J. H. **Café do Brasil: o sabor amargo da crise**. Florianópolis: Oxfam, 2002. 58 p.

DAVIS, M. M.; AQUILANO, N. J.; CHASE, R. B. **Fundamentos da administração da produção**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. 598 p.

EISELT, H. A.; LAPORTE, G. Sequential location problems. **European Journal of Operational Research**, v. 96, n. 2, p. 217-31, 1996.

EPAMIG – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais. **GEOSOLOs**: laboratório de geoprocessamento da empresa de pesquisa agropecuária do centro tecnológico do Sul de Minas Gerais. Disponível em: <<http://www.epamig.br/geosolos>>. Acesso em: 20 out. 2007.

FIPE – **Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas**. Disponível em: <<http://www.fipe.org.br>>. Acesso em: 25 out. 2007.

FLORESTASITE. **Brocas do café**. Disponível em: <<http://www.florestasite.com.br/brocadocafe.htm>>. Acesso em: 24 jan. 2008.

GOOGLE EARTH. **Download Free Google Earth 4.3**. Disponível em: <<http://earth.google.com>>. Acesso em: 05 nov. 2007.

GUIA QUATRO RODAS. Disponível em: <<http://viajeaquil.abril.com.br/g4r>>. Acesso em: 5 nov. 2007.

HOMEM, G. R. **Avaliação técnico-econômica e análise locacional de uma unidade de processamento de soro de queijo em Minas Gerais**. 2004. 233 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2004.

LAM, B.; SELDIN, R. Modelos de localização – Teoria e relevância para as indústrias. **Encontro de Engenharia de Produção da UFRJ**, Rio de Janeiro, 2004. CD-Rom.

LOPES, R. L.; CAIXETA FILHO, J. V. Suinocultura no Estado de Goiás: aplicação de um modelo de localização. **Pesquisa Operacional**, v. 20, n. 2, p. 213-32, 2000.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Informe Estatístico do Café** – dezembro/2008. Disponível em: <[http://www.agricultura.gov.br/portal/page?\\_pageid=33,1&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://www.agricultura.gov.br/portal/page?_pageid=33,1&_dad=portal&_schema=PORTAL)>. Acesso

em: 26 jan. 2009.

Recebido em 02.02.2009

Publicado em 29.01.2011

MELO, M. T.; NICKEL, S.; SALDANHA-DAGAMA, F. Facility location and supply chain management – A review. **European Journal of Operational Research**, v. 196, n. 2, p. 401-12, 2009.

OLIVEIRA, N. M. de. **Transporte e agroindústria da soja no Estado de Mato Grosso: uma aplicação de redes capacitadas**. 2003. 115 f. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2003.

RICCI, M. S. F.; ARAÚJO, M. C. F.; FRANCH, C. M. C. Cultivo do café orgânico. **Embrapa Agrobiologia** – Sistemas de produção, seropédica.

Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <<http://cnpab.embrapa.br/publicacoes/sistemasdeproducao/cafe/index.htm>>. Acesso em: 17 jan. 2008.

SINDICARGA – Sindicato de Empresas do Transporte Rodoviário de Cargas e Logística do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.sindicarga.org.br/CI26.HTM>>. Acesso em: 26 out. 2007.

SINGHTAUN, C.; CHARNSETHIKUL, P. An efficient algorithm for capacitated multifacility location problems. **Journal of Computer Science**, v. 3, n. 8, p. 583-91, 2007.

SNYDER, L. V. Facility location under uncertainty: a review. **IIE Transactions**, v. 38, p. 537-54, 2006.

SOUZA, S. M. S. de. Produção de café de qualidade: colheita, preparo e qualidade do café. **Informe Necaf**, v. 1, n. 9, 2001.

VAL, J. C. C.; CORSO, A. E.; GENTIL, R. A. **EVTE da indústria de café especial e gourmet**. 2006. Monografia (Graduação em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2006.

VASCONCELOS, F. M. M. **Localização ótima da agroindústria integradora de suínos e aves na região Centro-Oeste do Brasil**. 2003. 118 f. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2003.