

OTIMIZAÇÃO DO TRANSPORTE DE CARVÃO VEGETAL NAS USINAS SIDERÚRGICAS DA CIMETAL SIDERURGIA S.A.¹

ALOÍSIO RODRIGUES PEREIRA², HERCIO PEREIRA LADEIRA³
e GERALDO GALDINO DE PAULA JUNIOR³

RESUMO - Este trabalho teve como objetivo determinar as quantidades ótimas de carvão vegetal que minimizam os custos de transporte de 112 municípios produtores para cinco consumidores. Utilizou-se o modelo clássico de transporte, uma extensão da programação linear. Verificou-se que as siderúrgicas situadas em Sete Lagoas, MG, obtiveram os custos e raios médios de transportes mais reduzidos e as de Itaúna, MG, os mais elevados. O aumento de produção de carvão vegetal da Fazenda do Gama contribuiu para redução dos custos de transporte. A quantidade ótima de carvão vegetal a ser produzida na Fazenda do Gama, que contribuirá para minimizar os custos totais de transporte, foi de 107.634 metros cúbicos de carvão vegetal por mês. A partir dessa quantidade o aumento de produção não contribuirá para a redução dos custos de transporte. A siderúrgica situada em João Neiva, ES, não será beneficiada com o aumento da produção de carvão vegetal na Fazenda do Gama, sendo todo o carvão adquirido do norte do Espírito Santo e sul da Bahia.

Termos para indexação: carvão vegetal, transporte, programação linear.

OPTIMUM TRANSPORT OF CHARCOAL FOR CIMETAL SIDERURGIA S.A. STEEL INDUSTRIES

ABSTRACT - The objective of this paper was to determine optimum amounts for minimizing transportation costs of charcoal originating in 112 producing counties and being transported to five consuming counties, using the classical transportation model based on linear programming. It was found that the steel mills located in Sete Lagoas, MG, had the lowest cost and transport distance while those of Itaúna, MG, had the highest. The increased production of charcoal on the Fazenda do Gama helped reduce transportation costs. The optimum amount of charcoal to be produced on the Fazenda do Gama, which will contribute to minimizing transportation costs, was 107,634 m³ of charcoal per month. Above this amount, increased production will not contribute towards lower transportation costs. The steel mill located in João Neiva, ES, will not benefit from the increased production of charcoal on the Fazenda do Gama, because all the charcoal used there is acquired in the north of Espírito Santo and in the south of Bahia.

Index terms: charcoal, transportation, linear programming.

¹ Recebido em 4 de janeiro de 1982.

Aceito para publicação em 21 de junho de 1982.

² Eng.^o Florestal, M.S., Coordenador da Sociedade de Investigações Florestais (SIF) - Universidade Federal de Viçosa, CEP 36570, Viçosa, MG.

³ Eng.^o Florestal, Ph.D., Professor do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, CEP 36570, Viçosa, MG.

⁴ Matemático, M.S., Professor do Departamento de Matemática da Universidade Federal de Viçosa, CEP 36570, Viçosa, MG.

INTRODUÇÃO

Os transportes desempenham um papel de múltiplas facetas na consecução dos objetivos do desenvolvimento. No caso específico do carvão vegetal, os transportes são realizados quase que totalmente por meio de rodovias, usando-se caminhões cuja capacidade de carga varia de 40 a 70 MDC⁴ em média. As cargas, geralmente manuais, são acondicionadas em gaiolas ou em sacarias. O transporte constitui um dos fatores que maior influência exerce sobre o preço do carvão vegetal posto-usina, chegando a contribuir com cerca de 50%.

Este trabalho tem como objetivo minimizar o custo total do transporte de carvão vegetal enviado às usinas da Cimetall Siderurgia S.A., determinando as quantidades ótimas de carvão a serem enviadas dos municípios produtores até às usinas siderúrgicas.

A escolha de um sistema racional de transporte implica uma seleção entre vários objetivos. Tal seleção não pode ser encarada como um problema de pura e simples eficiência econômica; constitui uma decisão política de alto nível (Fromm 1968).

Cincunegui & Locatelli (1979) comentam que o transporte de carvão vegetal é um dos componentes que maior influência exerce na composição do custo do produto posto-usina, chegando o transporte rodoviário a participar do custo da matéria-prima na proporção de 50% para distâncias superiores a 400 km dos centros de consumo.

Berger (1975) estudou a minimização do custo de transporte de madeira de eucalipto para o Estado de São Paulo, utilizando o modelo de transporte, e comenta que as indústrias consumidoras de madeira, situadas próximas às regiões produtoras, operam com alta eficiência, em relação ao custo de transporte.

Pereira (1980), minimizando o custo do transporte de carvão vegetal de eucalipto no Estado de Minas Gerais, verificou que os raios médios de transporte elevam-se com o passar dos anos, o que indica que as florestas estão sendo implantadas cada vez mais distantes dos centros consumidores de carvão vegetal.

No transporte do carvão vegetal para grandes distâncias, dever-se-ia utilizar caminhões com maior capacidade de carga, mas, devido às con-

⁴ Metro cúbico de carvão vegetal, incluindo os espaços vazios.

dições precárias das estradas alimentadoras, torna-se muito reduzida essa utilização. Isso também contribui para a elevação dos custos de transporte (1980).

METODOLOGIA

Área de estudo

A área do presente trabalho abrange parte do Estado de Minas Gerais e partes mais reduzidas dos Estados do Espírito Santo, Bahia e Goiás, totalizando 112 municípios que produzem carvão vegetal de florestas naturais para abastecer as usinas da Cimetal Siderurgia S.A., localizadas nos municípios de Sete Lagoas, Betim, Barão de Cocais e Itaúna, em Minas Gerais, e João Neiva, no Espírito Santo.

Modelo matemático

O modelo teórico destinado a otimizar o transporte do carvão vegetal, por meio da minimização dos custos operacionais de transporte dos municípios produtores de carvão até às usinas siderúrgicas, é de programação linear, o modelo clássico de transporte (Bazaraa et al. 1977, Dantzig 1963, Hillier et al. 1974):

$$\text{Minimize } Q = \sum_{i=1}^{112} \sum_{j=A}^E C_{ij} X_{ij}.$$

Sendo esta a função objetiva, onde Q é o custo total do transporte; C_{ij} o custo unitário de transporte entre a origem i e o destino j; X_{ij} a quantidade a ser transportada da origem i ao destino j.

A primeira restrição é que as quantidades totais X_{ij} a serem transportadas devem ser menores ou iguais às quantidades ofertadas na região i.

$$\sum_{j=A}^E X_{ij} \leq a_i \quad (i = 1, 2, 3, \dots, 112)$$

sendo a_i a oferta de carvão vegetal na região i.

A segunda restrição é que as quantidades totais X_{ij} a serem transportadas para as usinas siderúrgicas (b_j) devem ser maiores ou iguais às quantidades demandadas na região j.

$$\sum_{i=1}^{112} X_{ij} \geq b_j \quad (j = A, B, C, \dots, E)$$

sendo b_j a procura de carvão vegetal na região j

e

$$x_{ij} \geq 0 \quad (i = 1, 2, 3, \dots, 112) \text{ e } (j = A, B, C, \dots, E)$$

Pressuposições e limitações do modelo

1. Os custos de transporte (C_{ij}) são considerados os mesmos, independentemente das quantidades (x_{ij}) transportadas. Isso significa que o transporte de grandes volumes de carvão vegetal não contribui para a diminuição do custo unitário.

2. Os caminhões utilizados são de capacidade média de transporte de 50 MDC, ou seja, 13 toneladas/viagem.

3. Os custos de transporte são considerados os mesmos para os dois tipos de carga utilizados, sacaria ou gaiola, sem influenciar nos resultados obtidos.

4. O custo unitário de transporte (C_{ij}) é variável de acordo com a distância, isto é, para maiores distâncias, o custo unitário de transporte reduz-se levemente, quando comparado ao de pequenas distâncias.

5. O horizonte de planejamento considerado é de um mês, devido ao fato de os dados utilizados serem mensais; para isso, trabalhou-se com dados médios durante o ano de 1980.

Na obtenção da solução do modelo proposto foi utilizado o custo unitário por metro cúbico de carvão transportado dos municípios produtores às usinas siderúrgicas, as quantidades ofertadas e as quantidades demandadas de carvão vegetal.

O custo unitário de transporte foi determinado por meio de uma tabela de fretes, referente a janeiro de 1981 e, em função da distância, obteve-se o custo/MDC; dessa maneira, calcularam-se todos os fretes entre as origens e os destinos.

Estimativas das quantidades ofertadas e demandadas de carvão vegetal

As quantidades ofertadas de carvão vegetal foram baseadas em dados reais obtidos na Cimetel Carvão Ltda, nos quais se considerou a média mensal das quantidades ofertadas durante o ano de 1980. Foram consi-

deradas 112 fontes potenciais produtoras de carvão vegetal, abrangendo municípios dos Estados de Minas Gerais, Espírito Santo, Bahia, Goiás e Mato Grosso do Sul. Manteve-se o mesmo nível de produção de carvão dos municípios produtores, variando-se apenas a produção mensal de carvão próprio da Fazenda do Gama, partindo-se do nível zero, até o nível ótimo, que contribui para minimizar o custo total do transporte.

As quantidades demandadas de carvão vegetal foram obtidas de acordo com o consumo médio mensal das usinas siderúrgicas da Cimetal Siderurgia, localizadas nos municípios de Sete Lagoas, Betim, Itaúna e Barão de Cocais, em Minas Gerais, e João Neiva, no Espírito Santo (Tabela 1).

TABELA 1. Consumo mensal de carvão vegetal nas usinas siderúrgicas da Cimetal Siderurgia S.A.

| Municípios consumidores (usinas siderúrgicas) | Consumo de carvão (MDC/mês) |
|--|--------------------------------|
| Sete Lagoas | 45.131,00 |
| Betim | 9.987,00 |
| Itaúna | 48.518,00 |
| Barão de Cocais | 39.748,00 |
| João Neiva | 23.913,00 |
| Total | 167.297,00 |

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os 112 municípios produtores de carvão vegetal e os cinco municípios consumidores, obtiveram-se as quantidades ótimas de carvão vegetal a serem enviadas dos municípios produtores até os municípios consumidores, excluindo-se a produção de carvão vegetal próprio (Fazenda do Gama) (Tabela 2). Neste caso, o custo total para efetuar o transporte de 167.297 metros cúbicos de carvão foi de Cr\$ 80.178.431,49, com um custo médio de Cr\$ 479,25/MDC.

Como se observa na Tabela 2, os municípios produtores de Rio Pardo de Minas, MG, Manga, MG, Juçara, GO, e Águas Vermelhas, MG, não deverão enviar carvão vegetal para as indústrias siderúrgicas; o município produtor de Caçu, GO, deverá enviar apenas uma parcela de sua produção de carvão para as usinas siderúrgicas.

O número de municípios concorrentes são quatro: Monte Azul, Brasília de Minas e Três Marias, em Minas Gerais, e Alcobaça, na Bahia. Os

municípios concorrentes são aqueles que têm sua oferta disputada por mais de um município consumidor. Em razão de serem reduzidas as quantidades ofertadas de carvão vegetal dos municípios produtores, o número de municípios concorrentes é pequeno.

TABELA 2. Quantidades ótimas de carvão vegetal (MDC/mês) que minimizam os custos de transporte dos municípios produtores até as usinas siderúrgicas.

| Municípios | Usinas | | | | | Total |
|---------------------------------|-------------|----------|----------|-----------------|------------|----------|
| | Sete Lagoas | Betim | Itaúna | Barão de Cocais | João Neiva | |
| 1. Monte Azul | - | - | 5.266,00 | 984,00 | - | 6.250,00 |
| 2. Porteirinha | - | - | - | 305,00 | - | 305,00 |
| 3. Rio Pardo de Minas | - | - | - | - | - | 120,00* |
| 4. Bocaiúva | 2.197,00 | - | - | - | - | 2.197,00 |
| 5. Brasília de Minas | 848,00 | 9.092,00 | - | - | - | 9.940,00 |
| 6. Claro dos Poções | - | - | - | 108,00 | - | 108,00 |
| 7. Grão Mogol | 1.070,00 | - | - | - | - | 1.070,00 |
| 8. Itiá | 1.778,00 | - | - | - | - | 1.778,00 |
| 9. Januária | - | - | - | 176,00 | - | 176,00 |
| 10. Joaquim Felício | - | - | - | 161,00 | - | 161,00 |
| 11. Mirabela | - | - | - | 4.920,00 | - | 4.920,00 |
| 12. Montes Claros | 860,00 | - | - | - | - | 860,00 |
| 13. São Francisco | - | - | - | 2.927,00 | - | 2.927,00 |
| 14. São João da Ponte | 1.008,00 | - | - | - | - | 1.008,00 |
| 15. Buriti Alegre | - | - | 327,00 | - | - | 327,00 |
| 16. Cachoeira Alta | - | - | 311,00 | - | - | 311,00 |
| 17. Campo Florido | - | - | 3.411,00 | - | - | 3.411,00 |
| 18. Campina Verde | - | - | 620,00 | - | - | 620,00 |
| 19. Comendador Gomes | - | - | 338,00 | - | - | 338,00 |
| 20. Conceição das Alagoas | - | - | 109,00 | - | - | 109,00 |
| 21. Coromandel | - | - | 100,00 | - | - | 100,00 |
| 22. Irajá de Minas | - | - | 1.022,00 | - | - | 1.022,00 |
| 23. Itapagipe | - | - | 233,00 | - | - | 233,00 |
| 24. Luz | - | - | 395,00 | - | - | 395,00 |
| 25. Monte Alegre de Minas | - | - | 352,00 | - | - | 352,00 |
| 26. Patrocínio | - | - | 109,00 | - | - | 109,00 |
| 27. Prata | - | - | 3.896,00 | - | - | 3.896,00 |
| 28. Sacramento | - | - | 765,00 | - | - | 765,00 |
| 29. Santa Vitória | - | - | 1.904,00 | - | - | 1.904,00 |
| 30. Uberaba | - | - | 166,00 | - | - | 166,00 |
| 31. Uberlândia | - | - | 436,00 | - | - | 436,00 |
| 32. Veríssimo | - | - | - | 492,00 | - | 492,00 |
| 33. Carmo do Cajuru | - | - | 734,00 | - | - | 734,00 |
| 34. Divinópolis | - | - | 445,00 | - | - | 445,00 |
| 35. Igarapé | - | - | 219,00 | - | - | 219,00 |
| 36. Itaúna | - | - | 588,00 | - | - | 588,00 |
| 37. Buenópolis | 355,00 | - | - | - | - | 355,00 |
| 38. Buritizeiro | 3.428,00 | - | - | - | - | 3.428,00 |
| 39. Carbonita | - | 180,00 | - | - | - | 180,00 |
| 40. Conrã | - | - | 819,00 | - | - | 819,00 |
| 41. Cordisburgo | - | - | - | 186,00 | - | 186,00 |
| 42. Corinto | - | - | - | 1.772,00 | - | 1.772,00 |
| 43. Curvelo | 5.600,00 | - | - | - | - | 5.600,00 |
| 44. Diamantina | 5.168,00 | - | - | - | - | 5.168,00 |
| 45. Felício dos Santos | - | - | - | 365,00 | - | 365,00 |
| 46. Inimutaba | 595,00 | - | - | - | - | 595,00 |
| 47. Itamarandiba | 471,00 | - | - | - | - | 471,00 |
| 48. Lassance | - | - | - | 4.562,00 | - | 4.562,00 |
| 49. Morro da Garça | - | - | - | 516,00 | - | 516,00 |
| 50. Morada Nova | - | - | - | 2.594,00 | - | 2.594,00 |
| 51. Papagaio | 3.398,00 | - | - | - | - | 3.398,00 |
| 52. Paraguaçu | 266,00 | - | - | - | - | 266,00 |
| 53. Paraopeba | - | - | - | 598,00 | - | 598,00 |
| 54. Pequi | - | - | - | 902,00 | - | 902,00 |
| 55. Pompéu | 2.837,00 | - | - | - | - | 2.837,00 |
| 56. Presidente Juscelino | - | - | - | 150,00 | - | 150,00 |
| 57. Santa Fé de Minas | - | - | - | 100,00 | - | 100,00 |
| 58. Senador Modestino Gonçalves | 865,00 | - | - | - | - | 865,00 |
| 59. Varzea da Palma | 489,00 | - | - | - | - | 489,00 |
| 60. Felixlândia | 2.618,00 | - | - | - | - | 2.618,00 |
| 61. Três Marias | 905,00 | - | - | 464,00 | - | 1.369,00 |

TABELA 2. Continuação.

| Municípios | Usinas | | | | | Total |
|---------------------------|-------------|----------|-----------|-----------------|------------|-------------|
| | Sete Lagoas | Batim | Itauna | Barão de Cocais | João Neiva | |
| 62. Janaúba | - | - | - | 140,00 | - | 140,00 |
| 63. Manga | - | - | - | - | - | (2.044,00) |
| 64. Varzelândia | - | - | - | 512,00 | - | 512,00 |
| 65. Bonfinópolis | 249,00 | - | - | - | - | 249,00 |
| 66. João Pinheiro | 6.256,00 | - | - | - | - | 6.256,00 |
| 67. Nova Ponte | - | - | - | 278,00 | - | 278,00 |
| 68. Paracatu | 2.212,00 | - | - | - | - | 2.212,00 |
| 69. Presidente Olegário | 1.658,00 | - | - | - | - | 1.658,00 |
| 70. Unai | - | - | - | 2.044,00 | - | 2.044,00 |
| 71. Vezante | - | 300,00 | - | - | - | 300,00 |
| 72. Espinosa | - | - | - | 344,00 | - | 344,00 |
| 73. Mato Verde | - | - | - | 906,00 | - | 906,00 |
| 74. Águas Vermelhas | - | - | - | - | - | (150,00) |
| 75. Alvinópolis | - | - | - | 481,00 | - | 481,00 |
| 76. Barão de Cocais | - | - | - | 2.354,00 | - | 2.354,00 |
| 77. Bom Jesus do Amparo | - | - | - | 590,00 | - | 590,00 |
| 78. Itabira | - | - | - | 846,00 | - | 846,00 |
| 79. Irambê do Mato Dentro | - | - | - | 153,00 | - | 153,00 |
| 80. Jequitinhonha | - | - | - | 252,00 | - | 252,00 |
| 81. Medina | - | - | - | 218,00 | - | 218,00 |
| 82. Pedra Azul | - | - | - | 2.286,00 | - | 2.286,00 |
| 83. Raul Soares | - | - | - | 236,00 | - | 236,00 |
| 84. Rio Casca | - | - | - | 141,00 | - | 141,00 |
| 85. Santa Bárbara | - | - | - | 2.455,00 | - | 2.455,00 |
| 86. São Domingos do Prata | - | - | - | 272,00 | - | 272,00 |
| 87. São Pedro dos Ferros | - | - | - | 151,00 | - | 151,00 |
| 88. Abaeté | - | - | - | 116,00 | - | 116,00 |
| 89. Arinos | - | - | - | 317,00 | - | 317,00 |
| 90. Caçu | - | - | - | 2.026,00 | - | (3.411,00) |
| 91. Fazenda Nova | - | 415,00 | - | - | - | 415,00 |
| 92. Iturama | - | - | 617,00 | - | - | 617,00 |
| 93. Jataí | - | - | 1.426,00 | - | - | 1.426,00 |
| 94. Juçara | - | - | - | - | - | (626,00) |
| 95. Luzânia | - | - | 544,00 | - | - | 544,00 |
| 96. Moçamedes | - | - | - | - | 232,00 | 232,00 |
| 97. Paranaíba | - | - | 1.378,00 | - | - | 1.378,00 |
| 98. Pontalina | - | - | 192,00 | - | - | 192,00 |
| 99. Quirinópolis | - | - | - | - | 106,00 | 106,00 |
| 100. Rio Verde | - | - | 1.129,00 | - | - | 1.129,00 |
| 101. Santa Helena | - | - | 110,00 | - | - | 110,00 |
| 102. Tupaciguara | - | - | 3.564,00 | - | - | 3.564,00 |
| 103. Aracruz | - | - | - | - | 248,00 | 248,00 |
| 104. Caravelas | - | - | 1.060,00 | - | - | 1.060,00 |
| 105. Conceição da Barra | - | - | - | - | 2.911,00 | 2.911,00 |
| 106. Linhares | - | - | - | - | 1.378,00 | 1.378,00 |
| 107. Prado | - | - | 4.529,00 | - | - | 4.529,00 |
| 108. São Mateus | - | - | - | - | 4.235,00 | 4.235,00 |
| 109. Fazenda do Gama | - | - | - | - | - | 0,00 |
| 110. Alcobaça | - | - | 11.404,00 | - | 12.671,00 | 24.075,00 |
| 111. Mucuri | - | - | - | - | 1.029,00 | 1.029,00 |
| 112. Nova Viçosa | - | - | - | - | 1.441,00 | 1.441,00 |
| Total | 45.131,00 | 9.987,00 | 48.518,00 | 39.748,00 | 23.913,00 | 174.612,00 |

* As quantidades colocadas entre parênteses não foram necessárias para abastecer as usinas siderúrgicas.

Na Tabela 3, onde se encontram os custos e raios médios de transporte, verifica-se que a usina de João Neiva, ES, apresenta os menores custos e raios médios de transporte, pois o carvão vegetal é adquirido, na totalidade, no norte do Espírito Santo e sul da Bahia, o que concorre para a redução dos custos e raios médios de transporte; somente o município produtor de Alcobaça, BA, é responsável pelo abastecimento de 54,63% do carvão vegetal consumido nesta usina. Ainda os municípios de São Mateus, Conceição da Barra e Linhares, todos no Espírito Santo, abastecem a usina de João Neiva com 36,65% do carvão vegetal consumido; o restante é complementado pelos municípios de Aracruz, ES, Mucuri, BA, e Nova Viçosa, BA.

TABELA 3. Custos e raios médios de transporte de carvão vegetal no abastecimento de carvão vegetal para as usinas da Cimetal Siderurgia S.A., quando esta não produz carvão próprio.

| Usinas | Custo médio (Cr\$/MDC) | Raio médio (km) |
|---------------------|---------------------------|--------------------|
| Sete Lagoas, MG | 341,12 | 290,98 |
| Betim, MG | 685,90 | 685,90 |
| Itaúna, MG | 751,25 | 751,25 |
| Barão de Cocais, MG | 579,40 | 551,81 |
| João Neiva, ES | 311,43 | 259,53 |
| Média geral | 479,25 | 506,55 |

As indústrias siderúrgicas localizadas em Betim, MG, apresentam um custo médio do transporte de Cr\$ 685,90/MDC. O município produtor de Brasília de Minas deverá ser responsável pelo abastecimento de 91% do carvão vegetal consumido pelas siderúrgicas localizadas em Betim. Com essa alta percentagem, portanto, Brasília de Minas tornar-se-á região de influência. Qualquer queda na produção de carvão vegetal deste município poderá alterar os custos médios de transporte nas siderúrgicas de Betim.

Conforme se verifica na Tabela 2, o município produtor 109, Fazenda do Gama, MG, não produz carvão vegetal; entretanto, esta fazenda, que é de propriedade da Cimetal Siderurgia S.A., hoje tem aproximadamente 60.000 hectares cobertos com florestas de eucaliptos, objetivando produzir carvão vegetal para garantir o abastecimento de suas usinas siderúrgicas.

De acordo com a Portaria Normativa DC-10 do IBDF - Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, as indústrias siderúrgicas consumidoras de carvão vegetal têm prazo até 1995 para se tornarem auto-suficientes na produção de carvão vegetal; por isso, as empresas deste ramo estão cumprindo um vasto programa de reflorestamento.

Com o aumento da produção própria de carvão vegetal na Fazenda do Gama para 50.000 MDC/mês, e mantendo constante a oferta dos demais municípios produtores, o custo total foi de Cr\$ 63.282.938,54 e o custo médio de Cr\$ 378,26/MDC.

Na Tabela 4 encontram-se as quantidades ótimas de carvão vegetal que minimizam os custos de transporte, quando a Fazenda do Gama tem oferta aumentada para 50.000 MDC/mês. O número de municí-

pios concorrentes neste caso é de apenas dois, isto é, os municípios que produzem mais carvão vegetal, ou seja, Fazenda do Gama, com 50.000 MDC, e Alcobaça, BA, com 24.075 MDC. Como se observa, com o aumento da oferta total de carvão, vários municípios produtores não enviaram carvão para as usinas, porque a restrição para a quantidade ofertada é maior ou igual à quantidade demandada numa região; assim, não houve necessidade de usar a oferta de todos os municípios.

TABELA 4. Quantidades ótimas de carvão vegetal (MDC/mês) que minimizam os custos de transporte dos municípios produtores até as usinas siderúrgicas, considerando aumento da oferta de carvão vegetal da Fazenda do Gama para 50.000 MDC/mês.

| Municípios | Usinas | | | | | Total |
|---------------------------------|-------------|----------|----------|-----------------|------------|--------------|
| | Sete Lagoas | Betim | Itaúna | Barão de Cocais | João Neiva | |
| 1. Monte Azul | - | - | - | - | - | (6.250,00)* |
| 2. Porteirinha | - | - | - | - | - | (305,00) |
| 3. Rio Pardo de Minas | - | - | - | - | - | (120,00) |
| 4. Bocaiúva | 2.197,00 | - | - | - | - | 2.197,00 |
| 5. Brasília de Minas | - | - | - | - | - | (9.940,00) |
| 6. Claro dos Poções | - | - | - | - | - | 108,00 |
| 7. Grão Mogol | - | - | - | 108,00 | - | (1.070,00) |
| 8. Ibiatã | - | - | - | - | - | (1.778,00) |
| 9. Januária | - | - | - | - | - | (176,00) |
| 10. Joaquim Felício | - | - | - | 161,00 | - | 161,00 |
| 11. Mirabela | - | - | - | 4.920,00 | - | 4.920,00 |
| 12. Montes Claros | - | - | - | 860,00 | - | 860,00 |
| 13. São Francisco | - | - | - | - | - | (2.927,00) |
| 14. São João da Ponte | - | - | - | - | - | (1.008,00) |
| 15. Buriti Alegre | - | - | - | - | - | (327,00) |
| 16. Cachoeira Alta | - | - | 311,00 | - | - | 311,00 |
| 17. Campo Florido | - | - | 3.411,00 | - | - | 3.411,00 |
| 18. Campina Verde | - | - | - | - | - | (620,00) |
| 19. Comendador Gomes | - | - | - | - | - | (338,00) |
| 20. Conceição das Alagoas | - | - | 109,00 | - | - | 109,00 |
| 21. Coromandel | - | - | 160,00 | - | - | 160,00 |
| 22. Iraí de Minas | - | - | 1.022,00 | - | - | 1.022,00 |
| 23. Itapagipe | - | - | 233,00 | - | - | 233,00 |
| 24. Luz | - | - | 395,00 | - | - | 395,00 |
| 25. Monte Alegre de Minas | - | - | 352,00 | - | - | 352,00 |
| 26. Patrocínio | - | - | 109,00 | - | - | 109,00 |
| 27. Prata | - | - | 3.896,00 | - | - | 3.896,00 |
| 28. Sacramento | - | - | 765,00 | - | - | 765,00 |
| 29. Santa Vitória | - | - | - | - | - | (1.904,00) |
| 30. Uberaba | - | - | 166,00 | - | - | 166,00 |
| 31. Uberlândia | - | - | 436,00 | - | - | 436,00 |
| 32. Veríssimo | - | - | - | 492,00 | - | 492,00 |
| 33. Carmo do Cajuru | - | - | 734,00 | - | - | 734,00 |
| 34. Divinópolis | - | - | 445,00 | - | - | 445,00 |
| 35. Igarapé | - | - | 219,00 | - | - | 219,00 |
| 36. Itaúna | - | - | 588,00 | - | - | 588,00 |
| 37. Buenópolis | - | - | 355,00 | - | - | 355,00 |
| 38. Buritizeiro | - | - | - | 3.428,00 | - | 3.428,00 |
| 39. Carbonita | - | 180,00 | - | - | - | 180,00 |
| 40. Contraí | - | - | 819,00 | - | - | 819,00 |
| 41. Cordisburgo | - | - | 186,00 | - | - | 186,00 |
| 42. Corinto | - | - | - | 1.772,00 | - | 1.772,00 |
| 43. Curvelo | 5.600,00 | - | - | - | - | 5.600,00 |
| 44. Diamantina | 5.168,00 | - | - | - | - | 5.168,00 |
| 45. Felício dos Santos | - | - | - | 365,00 | - | 365,00 |
| 46. Inimutaba | - | 595,00 | - | - | - | 595,00 |
| 47. Itamarandiba | - | - | - | 471,00 | - | 471,00 |
| 48. Lassance | - | - | - | 4.562,00 | - | 4.562,00 |
| 49. Morro de Garça | - | - | - | 516,00 | - | 516,00 |
| 50. Morada Nova | - | - | - | 2.594,00 | - | 2.594,00 |
| 51. Papagaio | 3.398,00 | - | - | - | - | 3.398,00 |
| 52. Paraguaçu | - | - | - | 266,00 | - | 266,00 |
| 53. Paraopeba | - | - | - | 598,00 | - | 598,00 |
| 54. Pequi | - | - | 902,00 | - | - | 902,00 |
| 55. Pompéu | - | 2.837,00 | - | - | - | 2.837,00 |
| 56. Presidente Juscelino | - | - | - | 150,00 | - | 150,00 |
| 57. Santa F. de Minas | - | - | - | 100,00 | - | 100,00 |
| 58. Senador Modestino Gonçalves | 865,00 | - | - | - | - | 865,00 |
| 59. Várzea da Palma | 489,00 | - | - | - | - | 489,00 |
| 60. Felixlândia | 2.618,00 | - | - | - | - | 2.618,00 |
| 61. Três Marias | - | - | - | 1.389,00 | - | 1.389,00 |

TABELA 4. Continuação.

| Municípios | Usinas | | | | | Total |
|---------------------------|-------------|----------|-----------|-----------------|------------|--------------|
| | Sete Lagoas | Betim | Itaúna | Barão de Cocais | João Neiva | |
| 62. Janaúba | - | - | - | - | - | (140,00) |
| 63. Manga | - | - | - | - | - | (2.044,00) |
| 64. Varzelândia | - | - | - | - | - | (512,00) |
| 65. Bonfinópolis | - | - | - | - | - | (249,00) |
| 66. João Pinheiro | - | - | - | 6.256,00 | - | 6.256,00 |
| 67. Nova Ponte | - | - | - | 278,00 | - | 278,00 |
| 68. Paracatu | 2.212,00 | - | - | - | - | 2.212,00 |
| 69. Presidente Olegário | 1.658,00 | - | - | - | - | 1.658,00 |
| 70. Unai | - | - | - | - | - | (2.044,00) |
| 71. Vazante | - | 300,00 | - | - | - | 300,00 |
| 72. Espinosa | - | - | - | 344,00 | - | 344,00 |
| 73. Mato Verde | - | - | - | - | - | (906,00) |
| 74. Águas Vermelhas | - | - | - | - | - | (3.150,00) |
| 75. Alvinópolis | - | - | - | 481,00 | - | 481,00 |
| 76. Barão de Cocais | - | - | - | 2.354,00 | - | 2.354,00 |
| 77. Bom Jesus do Amparo | - | - | - | 590,00 | - | 590,00 |
| 78. Itabira | - | - | - | 816,00 | - | 846,00 |
| 79. Itambé do Mato Dentro | - | - | - | 153,00 | - | 153,00 |
| 80. Jequitinhonha | - | - | - | - | - | (252,00) |
| 81. Medina | - | - | - | - | - | (218,00) |
| 82. Pedra Azul | - | - | - | - | - | (2.286,00) |
| 83. Raul Soares | - | - | - | 236,00 | - | 236,00 |
| 84. Rio Casca | - | - | - | 141,00 | - | 141,00 |
| 85. Santa Bárbara | - | - | - | 2.455,00 | - | 2.455,00 |
| 86. São Domingos do Prata | - | - | - | 272,00 | - | 272,00 |
| 87. São Pedro dos Ferros | - | - | - | 151,00 | - | 151,00 |
| 88. Abaeté | - | - | - | 116,00 | - | 116,00 |
| 89. Arinos | - | - | - | - | - | (317,00) |
| 90. Caçu | - | - | - | - | - | (3.411,00) |
| 91. Fazenda Nova | - | 415,00 | - | - | - | 415,00 |
| 92. Iturama | - | - | 617,00 | - | - | 617,00 |
| 93. Jataí | - | - | 1.426,00 | - | - | 1.426,00 |
| 94. Juçara | - | - | - | - | - | (626,00) |
| 95. Luziânia | - | - | - | - | - | (544,00) |
| 96. Mocamedes | - | - | - | 232,00 | - | 232,00 |
| 97. Paranaíba | - | - | - | - | - | (1.378,00) |
| 98. Pontalina | - | - | 192,00 | - | - | 192,00 |
| 99. Quirinópolis | - | - | - | 106,00 | - | 106,00 |
| 100. Rio Verde | - | - | - | - | - | (1.129,00) |
| 101. Santa Helena | - | - | - | - | - | (110,00) |
| 102. Tupaciguara | - | - | 3.564,00 | - | - | 3.564,00 |
| 103. Aracruz | - | - | - | - | 248,00 | 248,00 |
| 104. Caravelas | - | - | - | - | - | (1.060,00) |
| 105. Conceição da Barra | - | - | - | - | 2.911,00 | 2.911,00 |
| 106. Linhares | - | - | - | - | 1.378,00 | 1.378,00 |
| 107. Prado | - | - | - | - | - | (4.529,00) |
| 108. São Mateus | - | - | - | - | 4.235,00 | 4.235,00 |
| 109. Fazenda do Gama | 20.926,00 | 5.660,00 | 21.409,00 | 2.005,00 | - | 50.000,00 |
| 110. Alcobaça | - | - | 5.757,00 | - | 12.671,00 | (24.075,00) |
| 111. Mucuri | - | - | - | - | 1.029,00 | 1.029,00 |
| 112. Nova Viçosa | - | - | - | - | 1.441,00 | 1.441,00 |
| Total | 45.131,00 | 9.987,00 | 48.518,00 | 39.748,00 | 23.913,00 | 224.612,00 |

* As quantidades colocadas entre parênteses não foram necessárias para abastecer as usinas siderúrgicas.

A Fazenda do Gama distribuiu toda a sua oferta entre as siderúrgicas da Cimetal. As usinas siderúrgicas de Sete Lagoas foram beneficiadas com 20.926 MDC, representando 46,37% do consumo total de carvão vegetal. As usinas siderúrgicas de Betim foram beneficiadas com 56,67% do total do carvão consumido. As usinas siderúrgicas de Itaúna e Barão de Cocais foram beneficiadas com 44,12 e 5,04% do total de carvão vegetal consumido, respectivamente.

O outro município concorrente, Alcobaça, distribuiu apenas 76,54% de sua produção de carvão; isso se deve ao fato de que, ao completar a demanda de carvão em João Neiva, o restante torna-se difícil de ser

distribuído a baixos custos; entretanto, ainda satisfaz 52,98% da demanda de carvão nas usinas de João Neiva e 11,86% da demanda de carvão vegetal nas usinas siderúrgicas de Itaúna. O restante de carvão vegetal, 5.647 MDC produzidos em Alcobaça, neste caso, não seria interessante para a empresa adquirir, devido à distância; esta sobra poderia ser destinada às siderúrgicas da Bahia.

Examinando a Tabela 5, observa-se que os custos médios de transporte reduziram-se em aproximadamente 26,7% quando se decidiu produzir 50.000 MDC na Fazenda do Gama, MG; portanto, esta região parece ser área de influência. Qualquer queda na produção provoca alteração nos custos de transporte.

TABELA 5. Custos e raios médios de transporte, quando aumentada a produção de carvão da Fazenda do Gama para 50.000 MDC/mês, e permanecendo inalterada a produção dos demais municípios.

| Usinas | Custos médios (Cr\$/MDC) | Raios médios (km) |
|-----------------|-----------------------------|----------------------|
| Sete Lagoas, MG | 243,75 | 203,13 |
| Betim, MG | 401,70 | 360,25 |
| Itaúna, MG | 525,51 | 491,13 |
| Barão de Cocais | 436,23 | 407,69 |
| João Neiva, ES | 328,31 | 259,53 |
| Média geral | 378,26 | 337,80 |

As usinas localizadas em Sete Lagoas, MG, apresentaram os custos médios mais baixos, enquanto as usinas siderúrgicas de Itaúna, MG, apresentaram os custos médios mais elevados. Isto é devido ao grande consumo de carvão neste município. Embora somente a Fazenda do Gama contribua com 21.409 MDC, os custos e raios médios não se reduziram muito, porque a distância dessa região produtora até Itaúna é de 377 km. Mesmo assim, com o aumento de produção dessa região (Fazenda do Gama), os custos e raios médios não irão diminuir demasiadamente.

A quantidade ótima de carvão vegetal a ser produzida na Fazenda do Gama, que contribuirá para minimizar o custo total de transporte, será de 107.634 MDC/mês, com um custo médio de Cr\$ 327,75/MDC. Qualquer quantidade produzida a mais não contribuirá para reduzir os custos de transporte.

Na Tabela 6, encontram-se os raios médios de transporte de carvão vegetal para todas as usinas, considerando-se os diferentes níveis de produção de carvão vegetal na Fazenda do Gama. Observa-se que o aumento de produção de carvão na Fazenda do Gama não contribui para reduzir os custos de transporte da usina de João Neiva, porque o carvão para esta usina deverá ser adquirido no norte do Espírito Santo e sul da Bahia. A quantidade ofertada é suficiente para lhe satisfazer a demanda. As usinas siderúrgicas localizadas em Betim e Itaúna apresentaram maiores reduções nos raios médios de transporte, porque próximo a estas regiões não há praticamente produção de carvão vegetal. As usinas localizadas em Sete Lagoas apresentaram os menores raios de transporte, por distarem apenas 230 km da Fazenda do Gama.

TABELA 6. Raios médios de transporte de carvão vegetal para as usinas da Címetal Siderurgia, considerando os diferentes níveis de produção de carvão vegetal na Fazenda do Gama.

| Níveis de produção MDC/ mês | Raios médios de transporte (km) | | | | | Média geral |
|-----------------------------------|---------------------------------|--------|--------|-----------------|------------|-------------|
| | Sete Lagoas | Betim | Itaúna | Barão de Cocais | João Neiva | |
| - | 290,98 | 685,90 | 751,25 | 551,81 | 259,53 | 507,89 |
| 1.000 | 289,82 | 686,52 | 745,41 | 512,18 | 259,53 | 498,69 |
| 2.000 | 289,66 | 687,83 | 745,41 | 490,37 | 259,53 | 494,56 |
| 5.000 | 290,18 | 687,83 | 737,24 | 473,47 | 259,53 | 489,65 |
| 10.000 | 276,18 | 687,83 | 680,81 | 494,55 | 259,53 | 479,78 |
| 20.000 | 266,84 | 687,83 | 657,88 | 472,57 | 259,53 | 468,93 |
| 50.000 | 203,13 | 360,25 | 491,13 | 407,69 | 259,53 | 344,34 |
| 100.000 | 197,75 | 347,94 | 357,10 | 312,45 | 259,53 | 294,95 |
| 107.634 * | 197,75 | 347,94 | 356,17 | 312,09 | 259,53 | 294,69 |
| 150.000 | 197,75 | 347,94 | 356,17 | 312,09 | 259,53 | 294,69 |

* Nível ótimo de produção de carvão vegetal na Fazenda do Gama.

CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos, recomenda-se estudar a viabilidade de aumentar a compra de carvão vegetal dos 79 municípios produtores que tiveram suas ofertas de carvão totalmente distribuídas e, dentre estes, selecionar os que poderão contribuir para redução dos custos de transporte, conforme verificado na Tabela 4. Os 33 municípios que estão entre parênteses devem ser mais estudados, porque suas ofertas não foram distribuídas; por isso, deverá ser reduzida a compra de carvão nestes municípios.

O aumento de produção de carvão vegetal na Fazenda do Gama para 50.000 MDC/mês contribuiu significativamente para a redução dos custos e raios médios de transporte, em cerca de 26,70 e 49,95%, respectivamente.

As usinas siderúrgicas localizadas em Sete Lagoas apresentaram os custos e raios médios de transporte mais reduzidos; as localizadas em Itaúna obtiveram os custos e raios médios mais elevados. Isso não quer dizer que se deva aumentar a produção de ferro-gusa das indústrias de Sete Lagoas e reduzir a produção das de Itaúna; esses custos dizem apenas relação a transporte de carvão vegetal. Naquele caso, outros estudos devem ser realizados, tais como transporte de minério e de outras matérias-primas, para que se possa tomar uma decisão mais correta.

Estudar o transporte do carvão vegetal sobre ferrovias é uma alternativa que poderá contribuir sensivelmente para a redução dos custos de transporte; entretanto, deve-se efetuar estudos de armazenagem do carvão e automatização de carga e descarga.

Os níveis de produção própria de carvão vegetal deverão ser mais estudados, porque o nível econômico deverá situar-se abaixo da produção máxima, uma vez que, exemplificando, uma produção de 50.000 MDC/mês proporcionou redução de 26,7% nos custos de transporte. Entretanto, uma produção de 100.000 MDC/mês não reduzirá os custos de transporte na mesma proporção, aspectos que devem ser analisados cuidadosamente, considerando-se os recursos da empresa.

A quantidade ótima de carvão vegetal a ser produzida na Fazenda do Gama que minimizará os custos totais de transporte, será de 107.634 m³ por mês. A partir dessa quantidade qualquer quantidade produzida a mais não contribuirá para reduzir os custos de transporte, com relação ao abastecimento de carvão vegetal nas usinas siderúrgicas da Cimetal Siderurgia S.A.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Cimetal Carvão Ltda. o fornecimento dos dados necessários para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- BAZARAA, S.M. & JARVIS, J. *Linear programming and network flows*. New York, John Wiley & Sons, 1977. 565p.

- BERGER, R. **Minimização do custo de transporte de madeira de eucalipto no Estado de São Paulo.** Piracicaba, ESALQ-USP, 1975. 122p. (Tese Mestrado).
- CINCUNEGUI, J.E. & LOCATELLI, R.L. **O setor siderúrgico no Estado de Minas Gerais - Perspectivas de seu impacto no desenvolvimento regional.** Belo Horizonte, Fundação João Pinheiro, 1979. 225p. (1^o Relatório).
- DANTZIG, G.B. **Linear programming and extensions.** Princeton. Princeton University Press, 1963. 627p.
- FROMM, G. **Transporte e desenvolvimento econômico.** Rio de Janeiro, Victor Publicações, 1968. 241p.
- HILLIER, F.S. & LIEBERMAN, G.J. **Operations research.** San Francisco, Holden-Day, 1974. 800p.
- PEREIRA, A.R.; PAULA JUNIOR, G.G. & WINTER, M.E. **Estudo da viabilidade econômica do transporte de carvão vegetal do vale do Jequitinhonha para Acesita, MG.** Viçosa, SIF, 1980. 39p. (Bol. Técnico Especial).
- PEREIRA, A.R. **Otimização do transporte de carvão vegetal de eucalipto no Estado de Minas Gerais.** Viçosa, UFV, 1980. 105p. Tese Mestrado.