

JAVIER IGNACIO BRAVO CARREÑO

**OTIMIZAÇÃO DE ROTAS DE COLETA DE LEITE A GRANEL EM UM
LATICÍNIO DE MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA

MINAS GERAIS – BRASIL

2014

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

Bravo Carreño, Javier Ignacio, 1979-
B826o Otimização de rotas de coleta de leite a granel em um
2014 laticínio de Minas Gerais / Javier Ignacio Bravo Carreño. –
Viçosa, MG, 2014.
91f. : il. ; 29 cm.

Orientador: Ronaldo Perez.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Leite - Produção. 2. Laticínio. 3. Transporte de material.
4. Custos. 5. Minas Gerais. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos. Programa
de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos.
II. Título.

CDD 22. ed. 338.177

JAVIER IGNACIO BRAVO CARREÑO

**OTIMIZAÇÃO DE ROTAS DE COLETA DE LEITE A GRANEL EM UM
LATICÍNIO DE MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Aprovada: 21 de fevereiro de 2014.

Mauro Nacif Rocha
(Co-orientador)

Roberto Max Protil

Ronaldo Perez
(Orientador)

***“Não importa o quanto a mão aperte o seu
pescoço, se você consegue respirar então
tem uma chance”***

*A minha querida mãe Myriam, meu
exemplo e minha força...*

Ao meu pai Pascual (in memoriam)

As minhas irmãs e irmão

A Carina, meu grande amor

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo amor e as benções

Ao professor Ronaldo Perez pelo apoio e orientações durante todo este tempo.

Aos professores Antônio Fernandes de Carvalho e José Benício Paes Chaves, pelas acertadas contribuições.

Aos professores do departamento de informática Mauro Nacif Rocha e André Gustavo dos Santos, pelo apoio e orientações no fascinante e dispendioso universo da informática.

Ao Departamento de Tecnologia de Alimentos por ter me acolhido e brindado a oportunidade de culminar esta etapa da minha formação.

Aos professores da Universidade Federal de Viçosa com quem teve o privilegio de assistir aulas ou trabalhar. Foi um grande aprendizado.

Aos meus amigos e colegas de laboratório, Juan Eduardo, Juan Camilo, Maria Emília, Jose Jorge, Carina, Alexandre, Danielle, Julia.

Ao meu amigo Harlem, sem o qual não seria possível a conclusão deste trabalho.

Ao meu grande amigo Luis Maria Villalobos... Sem palavras para expressar a gratidão

E muito especialmente a minha família que são os motivos, meios e fim de tudo o que eu faço. Minha mãe que é minha companheira incansável, que é consolo, que é ouvido e que acalma as tempestades de momentos difíceis. Minhas irmãs e suas lindas famílias pelo carinho, pelo apoio e pelo infinito amor. Ao meu irmão por ser um lutador e a Carina por ter me acompanhado com paciência e amor durante esta luta.

RESUMO

CARREÑO, Javier Ignacio Bravo, M. Sc. Universidade Federal de Viçosa, Fevereiro de 2014. **OTIMIZAÇÃO DE ROTAS DE COLETA DE LEITE A GRANEL EM UM LATICÍNIO DE MINAS GERAIS.** Orientador. Ronaldo Perez. Co-orientadores: Antônio Fernandes de Carvalho, André Gustavo dos Santos e Mauro Nacif Rocha.

A coleta de leite cru a granel é uma das operações de maior impacto nos custos operacionais das empresas de laticínios, e por isso as empresas estão, constantemente, em busca de mecanismos que reduzam esses custos. A otimização das rotas de coleta de leite assim como da localização dos tanques de expansão são as áreas de maior interesse para as empresas. Devido à importância do setor leiteiro na economia da região, decidiu-se realizar um estudo que atendesse a necessidade dos pequenos e médios laticínios na área de otimização de rotas de veículos de coleta de leite. No estudo foram levantadas informações de localização geográfica do laticínio e das fazendas, assim como as rotas percorridas pelos veículos. Por outro lado foram levantados os dados de custos fixos e variáveis atuais da operação de coleta de leite cru da empresa. As rotas e informações foram modeladas seguindo o modelo proposto por Nogueira *et al.* (2010) utilizando para tal o software CPLEX da IBM, realizando a otimização das atuais rotas do laticínio, assim como alguns cenários (aumento e queda na oferta de leite, rotas alternativas, eliminação de pontos de pouca oferta). Os resultados apresentaram diminuição significativa nos custos após a otimização das rotas atuais dos laticínios. Dos cenários testados a implementação de rotas alternativas foi a melhor alternativa, promoveu uma diminuição dos custos de 22,24 %. Problemas de resolução de rotas com muitos pontos de coleta foram contornadas fazendo divisão das rotas por setores. Assim conclui-se que a utilização de programação linear inteira gera resultados positivos quando são realizados trabalhos de roteirização com número reduzido de pontos, mas que não é ainda a melhor solução possível.

ABSTRACT

CARREÑO, Javier Ignacio Bravo, M. Sc. Universidade Federal de Viçosa, February 2014. **Optimization of routes of collection of milk in bulk a dairy of Minas Gerais.** Adviser: Ronaldo Perez. Co-advisers: Antônio Fernandes de Carvalho, André Gustavo dos Santos and Mauro Nacif Rocha.

The collection of raw milk in bulk is one of the operations with the biggest impact on the operational costs of dairy companies, and for that the companies are constantly in search of mechanisms to reduce these costs. Optimization of milk collection routes, as well as the location of the expansion tanks are the areas of greatest interest to companies. Due to the importance of the dairy sector in the economy of the region, it was decided to conduct a study that met the needs of small and medium-sized dairy in the specific area of the optimization of vehicles of milk collection routes. In the study were raised geographic location information of dairy and farms, as well as the routes travelled by vehicles. On the other hand were raised the data of fixed costs and actually variables of raw milk collection operation of the company. The routes and information were modeled according to the model proposed by Nogueira et al. (2010) using for that the CPLEX software from IBM, performing the optimization of current routes of dairy, as well as some scenarios (increase and decrease in milk supply, alternative routes, elimination of low spots offer). The results showed a significant decrease in costs after the optimization of the current routes of dairy, the scenarios tested the implementation of alternate routes the best alternative promoted a decreasing in costs of 22,24%. Routes resolution problems with many collection points were evaded doing routes division by sectors. So the conclusion is that the use of whole linear programming generates positive results when are performed scripting works with a reduced number of points, but that is still not the best solution possible.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo Geral:	3
2.2 Objetivos Específicos:	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1 A produção de leite no Brasil e Minas Gerais	4
3.2 A produção de leite no Município de Paula Cândido	6
3.2 Coleta de leite cru a granel	7
4. LOGÍSTICA	11
4.2 Sistemas de informação geográfica (SIG'S).....	11
4.3 Roteamento de veículos em pesquisa operacional.....	13
4.4 PROBLEMA DE ROTEAMENTO DE VEÍCULOS.....	14
4.4.1 Problema do caixeiro viajante.....	17
4.4.2 PRV com janelas de tempo	18
4.4.3 PRV com frota mista e frota heterogênea	19
4.4.4 Problema com múltiplo uso de veículo.....	20
4.4.5 Tipos de veículos usados na coleta de leite	20
5. OTIMIZAÇÃO.....	21
5.1 Métodos heurísticos e métodos exatos de resolução do problema de roteamento de veículos	21
5.2 Heurística de Clark e Wright	23
5.3 Geração de Colunas	24
5.4 Programação Linear em roteamento de veículos	24
5.5 Software de roteirização	24
6. METODOLOGIA.....	30
6.1 COLETA DE DADOS.....	30

6.1.1 Frota	30
6.1.2 Levantamento dos pontos de coleta e das rotas atuais do laticínio	31
6.2 DETERMINAÇÃO DE CUSTOS DE TRANSPORTE RODOVIÁRIO	37
6.3 CUSTOS FIXOS.....	37
6.3.1 Custo administrativo	38
6.3.2 Custo de oportunidade sobre os ativos investidos ou remuneração do capital	38
6.3.3 Depreciação.....	39
6.3.4 Impostos	40
6.3.5 Manutenção	41
6.3.6 Mão de obra.....	42
6.3.7 Seguros	43
6.4 CUSTOS VARIÁVEIS.....	44
6.4.1 Combustível	44
6.4.2 Lavagem	45
6.4.3 Lubrificantes.....	46
6.4.4 Manutenção	46
6.4.5 Pneus	47
6.4.6 Seguro do produto transportado	48
6.5 Custos das rotas atuais do laticínio	49
6.6 OTIMIZAÇÃO DA COLETA.....	51
6.7 CENÁRIOS	54
6.4.1 Aumento em 10 % e 20 % da oferta para os dias 1 e 2.....	54
6.4.2 Diminuição em 10 % e 20 % da oferta para os dias 1 e 2.....	55
6.4.3 Rotas alternativas	55
6.4.4 Otimização por setores	55
6.4.5 Otimização eliminando pontos com pouca oferta.....	56

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
7.1 Custos das rotas otimizadas do laticínio	58
7.2 Aumentos na produção de 10 e 20 %, dias 1 e 2	61
7.3 Queda na produção de 10 e 20 %. dias 1 e 2	61
7.4 Otimização por setores.....	62
7.5 Otimização com rotas Alternativas.....	63
7.6 Otimização eliminando pontos com pouca oferta.....	68
8. CONCLUSÃO.....	72
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73

1. INTRODUÇÃO

Por causa do dinamismo do setor de laticínios, a situação das empresas tem mudado rapidamente nas últimas duas décadas. Estas transformações têm desencadeado políticas acirradas de competição, fechamento ou fusão de pequenas e médias empresas, produto da ineficiência dos processos tradicionais de gerenciamento da cadeia do leite. Grandes empresas multinacionais entraram no mercado com sistemas de gerenciamento nunca antes vistos pela agroindústria desse setor no Brasil. Para elas, o capital para a implementação de grandes fábricas não era um problema, e com uma demanda garantida por derivados lácteos o negócio cresceu rapidamente (Rezende e Borges Junior, 1998; Valle *et al.* 2010).

O mercado nacional de laticínios era caracterizado por empresas pequenas, médias e por cooperativas espalhadas pelo país, sempre perto dos grandes centros urbanos, para permitir o rápido processamento do leite evitando, dessa forma, sua deterioração.

O tratamento mais comum era a pasteurização, seguido da manutenção do produto a baixas temperaturas de armazenamento. Com as novas técnicas de tratamento e conservação como o leite UAT (Ultra Alta Temperatura) e implantação de algumas políticas governamentais, foram criadas as condições para mudar esta antiga forma do negócio do leite. Um produto como o leite UAT, que pode ser estocado à temperatura ambiente durante meses, mudou totalmente o conceito de que os laticínios deviam ficar perto das cidades. Foi assim que as fábricas se deslocaram então para locais mais perto da produção, que foi se deslocando para outras zonas, onde as condições de produção eram melhores.

Os pequenos laticínios, acostumados à antiga forma de trabalhar, viram o mercado sendo conquistado por grandes empresas. A participação desses grupos no mercado bem como seu crescimento, exigiu um aumento da produção dos laticínios e da produção de leite. Tal fato distanciou a produção de leite e aumentou as rotas de coleta.

Estes fatos fazem com que os laticínios enfrentem problemas de organização das rotas, definição das linhas de coleta e definição do tamanho da frota com o objetivo de diminuir os custos totais e ao mesmo tempo melhorar as condições de transporte e qualidade do leite. As pequenas empresas, pela própria natureza econômica, não possuem grandes recursos de capital nem de tecnologia. Para resolver estas questões logísticas estas empresas e cooperativas têm dificuldades de acesso a sistemas modernos

de apoio à tomada de decisões e sistemas de informações geográficas, tão úteis na hora de criar e gerenciar as rotas de coleta de leite.

No Estado de Minas Gerais encontram-se registrados no Serviço de Inspeção Federal trezentos e dezessete estabelecimentos na categoria de *fábrica de laticínios*, dos quais trezentos e dois podem ser considerados como de pequeno e mediano porte, isto representa um grande potencial de aplicação de processos de otimização no estado e no país.

A pesquisa centrou-se nos processos de tomada de decisão sobre a distribuição da frota de caminhões e a definição das rotas de coleta de leite por parte das empresas de laticínios. A empresa nesse processo deve levar em consideração diferentes aspectos para realizar a captação de leite de forma eficiente, buscando minimizar os custos operacionais relacionados.

Na literatura sobre roteirização, encontram-se vários fatores que afetam os custos operacionais. Estes podem estar associados ao tamanho e composição da frota, distribuição dos tanques de armazenagem de leite, volume de leite em cada rota de coleta e sua distância, bem como o estado de conservação e capacidade de receber carga na rota. A ausência de ferramentas computacionais de tomada de decisão e informações geográficas dificultam o planejamento da coleta e eleva o custo, exigindo maior esforço e qualificação de pessoal envolvido.

Nesse sentido, este trabalho procurou uma forma de otimizar os custos de coleta de leite cru a granel, usando uma ferramenta computacional de apoio à tomada de decisões referente ao uso de rotas de coleta de leite, e a escolha de veículos junto a uma empresa de porte médio da Zona da Mata do Estado de Minas Gerais.

O estudo foi baseado em um método de otimização que fornece um valor final exato, mas com um tempo computacional grande. Existem também métodos heurísticos que fornecem soluções aproximadas em tempos computacionais menores, estes métodos podem ser comparados entre eles e decidir qual deveria ser utilizado. Os métodos heurísticos podem ser testados e modificados até conseguir uma solução próxima da ideal, o grau de aceitação de um método heurístico dependera de fatores tais como tempo de execução e proximidade do valor ótimo.

O problema abordado é um problema consiste em um problema de planejamento e otimização de uma frota heterogênea de veículos

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral:

Usar ferramentas de logística para otimizar rotas de coleta de leite cru em um estudo de caso na Zona da Mata – MG.

2.2 Objetivos Específicos:

- Identificar e quantificar os custos de transporte envolvidos no sistema atual de coleta de leite.
- Construir o mapa logístico de rotas do laticínio.
- Otimizar as rotas de coleta de leite do laticínio mediante o uso de programação baseada no uso de modelos de Programação Linear Inteira (PLI).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A produção de leite no Brasil e Minas Gerais

Um dos setores mais dinâmicos do agronegócio brasileiro é sem dúvida o do leite, particularmente nas últimas duas décadas, em que diferentes situações somadas dinamizaram a produção e o consumo de leite e seus derivados. Diferentes autores como Nogueira (2010), Martins *et al.* (2004), Rezende e Borges Junior (1998) citam o advento do plano real e a consequente estabilização da economia, a entrada das grandes empresas multinacionais como a Parmalat e a Nestle (REZENDE, 1998) e a compra ou fusão de empresas locais, o aumento no consumo interno e as importações de produtos, e o abandono da regulamentação dos preços das matérias primas como fatores concorrentes para isto.

A produção brasileira de leite (*figura 1*), no período que vai de janeiro a dezembro de 2012 foi de aproximadamente 22,3 bilhões de litros, sendo industrializados aproximadamente 22,2 bilhões de litros (SIDRA, 2013).

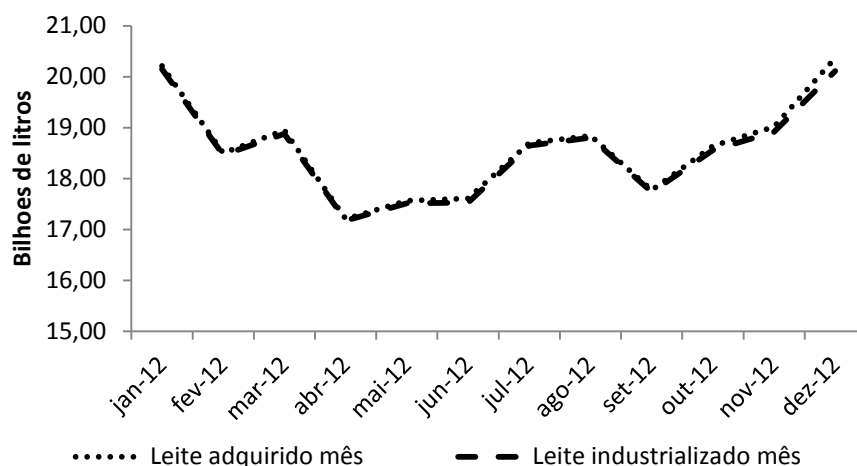


Figura 1 - Produção de leite no Brasil
Fonte: SIDRA – IBGE, 2012.

No mesmo período, o Estado de Minas Gerais (*figura 2*) teve uma produção de 5,57 bilhões de litros de leite (SIDRA, 2013). Do leite produzido, aproximadamente 99,28 % é industrializado (5,53 bilhões de litros). Isto significa que toda essa quantidade de leite é movimentada através de rodovias e estradas de chão. Daí a importância de uma adequada organização do processo de coleta e transporte.

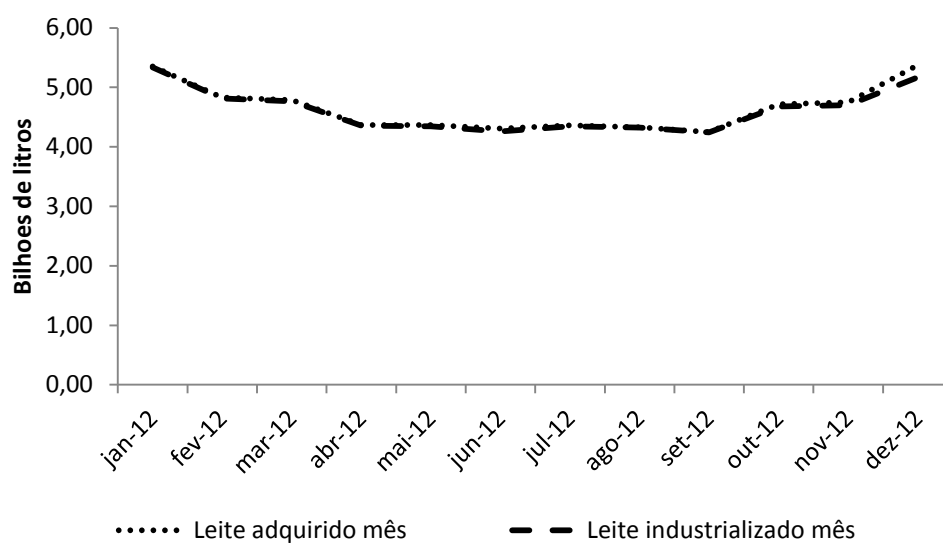


Figura 2 - Produção de leite no Estado de Minas Gerais.
Fonte: SIDRA – IBGE, 2012.

O comportamento do preço do leite pago ao produtor para o ano de 2012 teve variações consideráveis ao longo do ano, apresentando dois picos no preço do leite nos meses de maio e novembro (*figura 3*). Tanto o Brasil quanto Minas Gerais tiveram um comportamento parecido, mas com preços mais altos no estado.

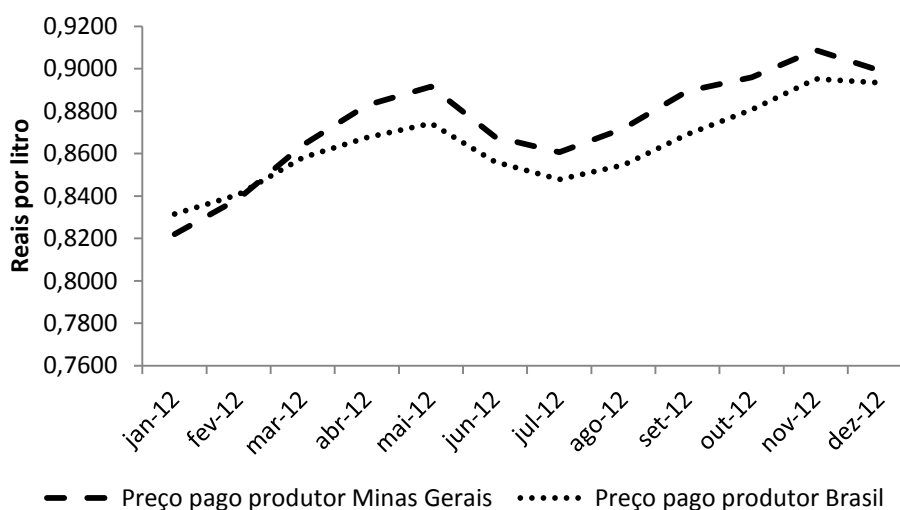


Figura 3 – Preço do leite pago ao produtor Brasil e Minas Gerais ano 2012.
Fonte: CEPEA- ESALQ-USP, 2014.

3.2 A produção de leite no Município de Paula Cândido

No município de Paula Cândido, Zona da Mata – MG, segundo IBGE (2011), a produção de leite no ano de 2011 foi de aproximadamente 4,8 milhões de litros. Nos últimos cinco anos o volume de produção tem mostrado variações. A *figura 4* mostra este comportamento. No estado a produção de leite por município é muito variável. A *figura 5* mostra a distribuição da produção do leite por município no Estado de Minas Gerais.

O laticínio estudado encontra-se classificado como pequeno laticínio segundo a relação de estabelecimentos do Serviço de Inspeção Federal na categoria: *Fabrica de Laticínios*; classe: *Est. Leite e Deriv. LT7* (5.000 a 10.000 litros), mas para efeitos do presente estudo foi considerado como laticínio de mediano porte, na mesma categoria, na classe: *Est. Leite e Deriv. LT5* (20.000 a 50.000 litros).

O Laticínio tem abrangência em 13 municípios: Piranga, Lamin, Senhora Oliveira, Cipotânea, Brás Pires, Alto Rio Doce, Dolores do Turvo, Rosário da Limeira, Muriaé, Mirai, Eugénopolis, Antnio Prado de Minas e Patrocínio de Muriaé. O total de leite produzido por estes municípios somou 73,2 milhões de litros no ano de 2011.

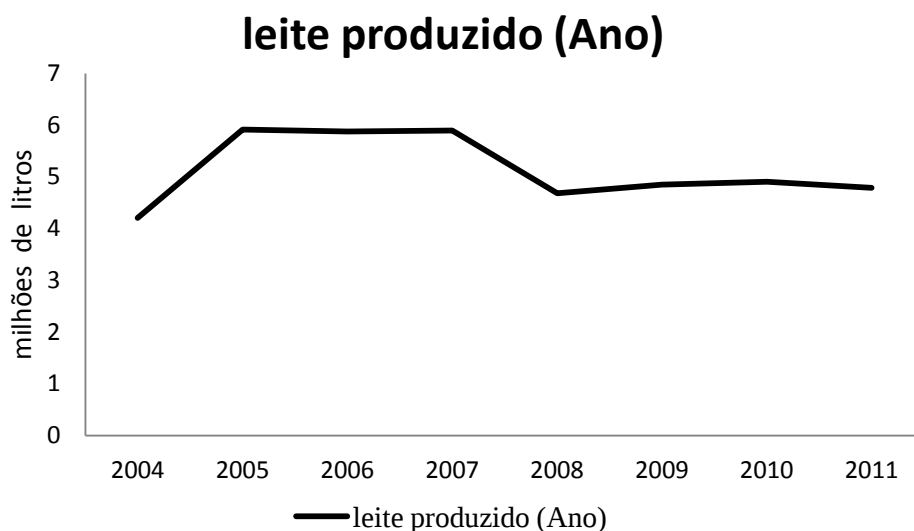


Figura 4 - Produção de leite no Município de Paula Cândido
Fonte: IBGE - Cidades, 2012.

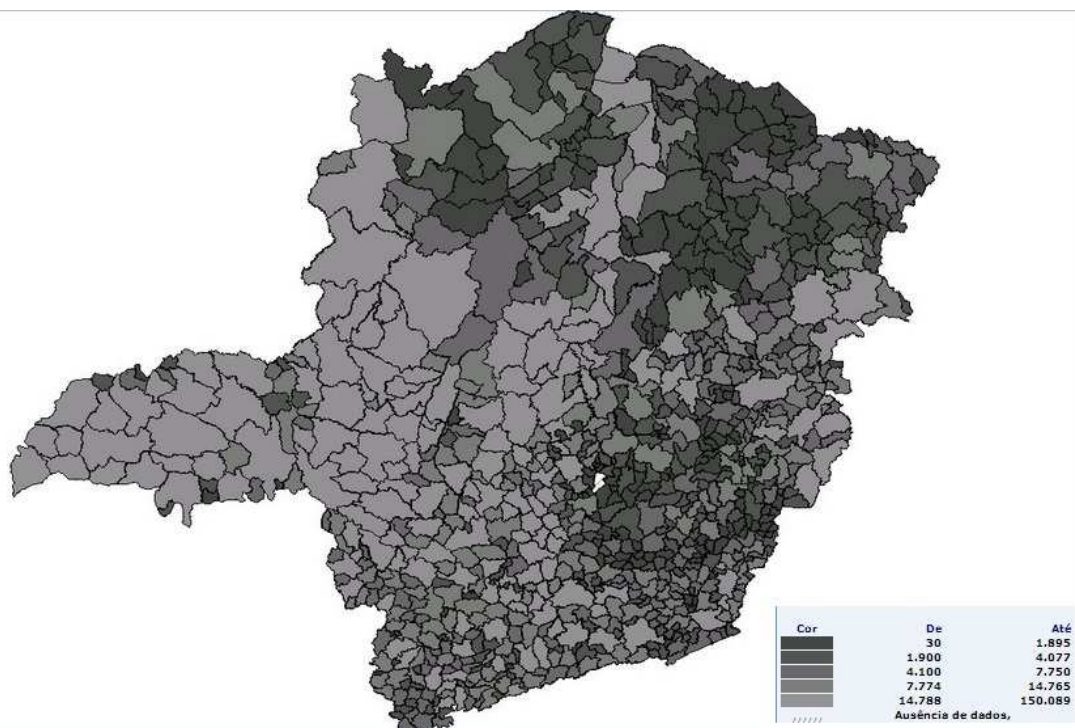


Figura 5 - Disponibilidade de leite por município no Estado de Minas Gerais (em mil litros). Fonte: IBGE, 2012.

3.2 Coleta de leite cru a granel

O transporte do leite cru das propriedades rurais até as fábricas foi realizado por décadas e até a primeira metade dos anos 90's de uma forma tradicional, utilizando para tal latões de metal, os quais eram cheios de leite recém-ordenhado e depois levados em caminhões até uma estação de captação ou um laticínio, sem nenhum controle de temperatura (MARTINS, 2004).

No sistema tradicional mostrado na *figura 6*, o leite devia ser entregue rapidamente no laticínio para evitar a deterioração. Após ordenhado era armazenado nos latões que ficavam expostos ao sol, elevando a temperatura do produto, diminuindo suas propriedades nutritivas e expondo o produto à ação de microrganismos. Este era transportado até o laticínio todos os dias. O transporte podia ser feito pelo proprietário do leite em veículos próprios, pela empresa com sua própria frota ou por terceiros.

A granelização na coleta de leite iniciou nos Estados Unidos no ano de 1940 no estado da Califórnia (DA SILVA, 2000). Teve uma grande mudança, pois em 1950 todo o leite dos EUA passou a ser coletado a granel. Na Inglaterra a mudança teve seu início

na década de 70's, na América do sul, na Argentina começou no final da década dos 80's e início da década de 90's (SANT'ANNA, 2000).

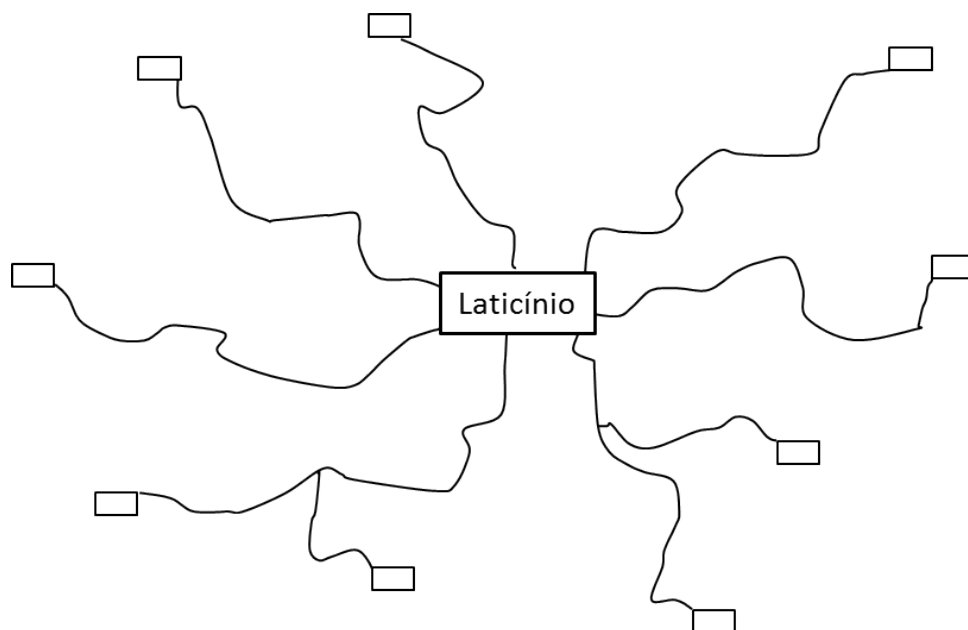


Figura 6 - Sistema tradicional de entrega de leite.

Fonte: Autor (ilustrativa).

No Brasil, a coleta de leite a granel teve seu início, segundo Martins *et al.* (2004) na segunda metade da década de noventa, expandindo-se de forma rápida, inclusive considerado um dos mais acelerados do mundo. O processo consiste em recolher o produto cru diretamente de tanques de refrigeração das fazendas, utilizando um caminhão provido de um tanque isotérmico (NOGUEIRA *et al.* 2010).

O sistema é baseado no princípio de que ainda nas fazendas o leite pode ser estocado em tanques de expansão e mantido a baixas temperaturas, da ordem de 4 a 5 °C, podendo ser mantida nessas condições por até 48 horas antes de ser transportado para a indústria (FERREIRA e SANTOS, 2010). Neste processo mostrado na *figura 7*, um caminhão pode coletar leite armazenado em diferentes fazendas percorrendo distâncias maiores, e transportando um maior volume de leite. A implementação da coleta de leite a granel obedece ao Programa Nacional de Qualidade do Leite (PNQL), instituído pelo Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento para melhorar a qualidade do leite comercializado no país.

A possibilidade de armazenar o leite cru resfriado permite a coleta em dias alternados, ou seja, o leite pode ser coletado de dois em dois dias, trazendo uma consequente diminuição no custo do frete, pois se elimina um dia de coleta, aumentando o volume transportado (DE SOUZA, 20006). Isto possibilita a ordenha duas vezes ao

dia, em rebanhos de alta produtividade, aumentando a produtividade na fazenda (REZENDE, 1998).



Figura 7 - Coleta de leite a partir de rotas.
Fonte: Autor (ilustrativa).

Um impacto da granelização do leite é exigência da expansão da produção para compensar os custos de instalação e manutenção de tanques de expansão nas fazendas.

Dessa forma o tempo de coleta já não constitui mais um limitante, e o leite e seus derivados podem ser transportados distâncias mais longas, ao mesmo tempo em que aumenta o poder das grandes empresas e diminui o poder das pequenas empresas e cooperativas (NOGUEIRA, 2010).

Ainda há variação entre as quantidades de leite produzidas ao longo do ano; problemas de estradas na época das chuvas durante o verão exigem uma reorganização das rotas ou inclusão de novos veículos para coleta. Portanto, demanda organização e planejamento por parte dos laticínios.

A granelização tem sido um dos fatores de maior ameaça para o pequeno produtor, sendo obrigado a fazer mudanças no seu sistema de produção a fim de cumprir a legislação e os padrões de qualidade exigidos pelas empresas para o pagamento por qualidade.

3.3 Custos de transporte rodoviário de leite cru.

Sobrinho *et al.* (1995) relatam que nos anos 90's, os custos de coleta de leite no Brasil no primeiro percurso representa dentre 4 % a 25 % do preço do leite recebido pelos produtores, atingindo até 40 % em algumas regiões do país. Correia *et al.* (2012), em estudo realizado em sete laticínios da Zona da Mata mineira relatam custos de coleta de 2,66 % até 15 % do preço do leite recebido pelo produtor em julho de 2011.

O transporte rodoviário é o modal mais utilizado na coleta de leite cru. É, segundo Bazet Filho *et al.* (2011), um dos modais mais caros, afetado pelos custos de mão-de-obra, e influenciado pelo estado de pavimentação das estradas e topografia. Um estudo detalhado dos custos da operação de coleta de leite, discriminando os custos diretos e indiretos pode ser observado no trabalho desenvolvido por Correia *et al.* (2012).

4. LOGÍSTICA

Uma definição aceita pelos profissionais da área da logística é a do *Concil of Logistics Managements* dos Estados Unidos, citada por Ballou (2006, p.27), que define a logística como “o processo de planejamento, implantação e controle de fluxo eficiente e eficaz de mercadorias, serviços e das informações relativas desde o ponto de origem até o ponto de consumo com o propósito de atender as exigências dos clientes”.

Por meio da logística na coleta de leite é possível melhorar as condições de trabalho mediante a redução do número de postos de resfriamento, redução no número de rotas, aumento na carga transportada por veículo e ganhos na qualidade da matéria prima (MARTINS, 2004).

4.2 Sistemas de informação geográfica (SIG'S)

Uma das ferramentas atuais com papel importante na logística são os sistemas de Informação Geográfica, que foram criados para o tratamento de dados referenciados espacialmente (*figura 8*), manipulando dados obtidos de fontes tais como mapas e imagens de satélite entre outros, usando e combinando diversos tipos de informações para a realização de diferentes tipos de análises (GALVÃO *et al.* 1997). Um SIG combina várias tecnologias para análise e manipulação de informações referenciadas espacialmente, dentre elas destacam-se a cartografia digital, as bases de dados e processamento digital de imagens. Uma destas tecnologias é o Sistema de Posicionamento Global (GPS).

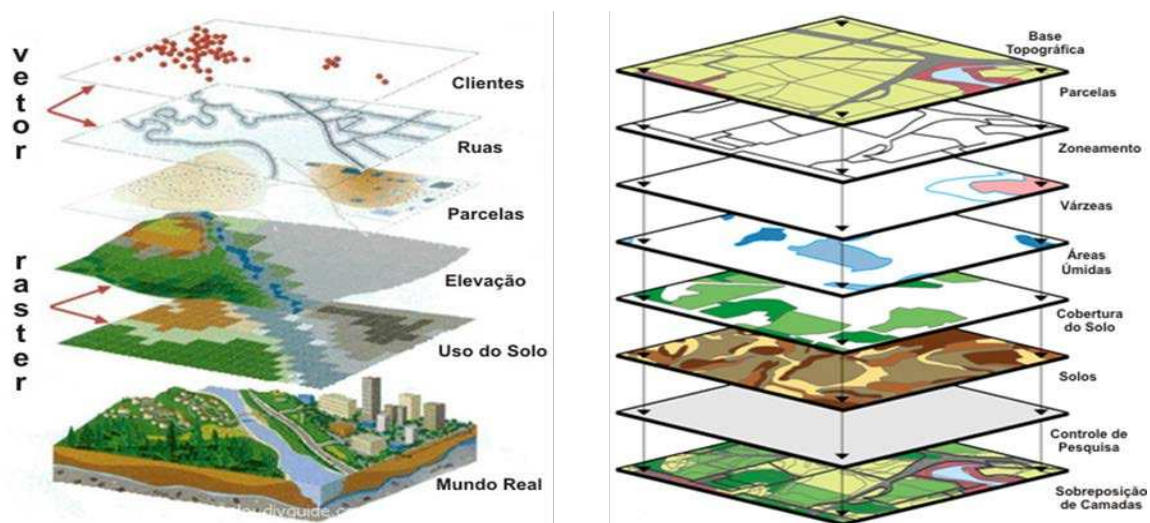


Figura 8 - Informações de um Sistema de Informação Geográfica.
Fonte: Ministério dos Transportes - BIT Sistema de Informações Geográficas (2012).

O GPS ou NAVISTAR-GPS é um sistema de navegação por ondas de rádio desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América. Foi desenvolvido como um aplicativo militar de navegação das Forças Armadas. Como seu nome indica é um aplicativo de abrangência global e que facilita todas as atividades que necessitem geoposicionamento. Exemplos dessas atividades são a agricultura, o controle de frotas, a navegação, o posicionamento geodésico, etc.

O GPS consiste na medida de distâncias entre o usuário e quatro satélites. Conhecendo as coordenadas dos satélites é possível calcular as coordenadas do usuário. No sistema de GPS há dois tipos de serviço, um de uso civil e outro de uso militar. A diferença está na exatidão dos dados, que para uso civil pode chegar a 95 % de exatidão, enquanto os de uso militar podem chegar quase que a 100 %. Essa diminuição da exatidão é intencional e é devida a questões de segurança. O uso civil é gratuito em todo o planeta (MONICO, 2000).

O uso dos SIG'S e da tecnologia GPS possibilita criar mapas com a localização de clientes distribuídos espacialmente e combiná-los com mapas pré-estabelecidos de ruas e estradas, podendo criar uma programação de entrega e coleta levando em consideração a estrutura do trânsito. Isto possibilita a criação de múltiplas alternativas de deslocamento (rotas alternas) flexibilizando o processo de distribuição de rotas para a frota de veículos.

O aparelho de GPS fornece a posição das propriedades em unidades de Latitude e Longitude. A latitude é medida respeito à linha do Equador e pode ser Norte ou Sul (em ocasiões a latitude é representada pelos símbolos + quando é norte e – quando é sul). Já a longitude é medida respeito do meridiano de Greenwich (*figura 9*).

Estas coordenadas são de muita importância, pois permitem localizar as propriedades sistemas de informação geográfica, podendo verificar entre outras coisas proximidade com estradas principais e secundárias. Adicionalmente podem ser identificadas possíveis rotas alternativas entre as propriedades, muito úteis caso alguma das estradas usadas habitualmente esteja impossibilitada para transitar ou represente uma diminuição nos custos da rota.

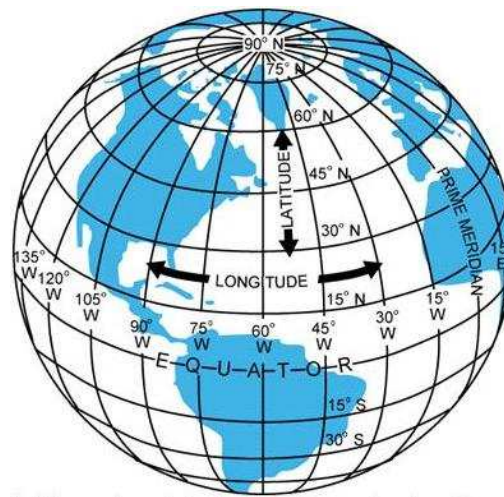


Figura 9 - Longitude e Latitude
Fonte: Dauntless-soft, 2014.

4.3 Roteamento de veículos em pesquisa operacional

O problema de roteamento de veículos (PRV) tem sido amplamente estudado pelos profissionais de diversas áreas, especialmente pelos profissionais da pesquisa operacional e a logística. Este problema às vezes fica tão complexo que precisa de algoritmos computacionais que encontrem uma solução em tempo curto e com adequada aproximação da solução ideal (SALAS, 2010).

Nogueira (2010), citando Znamensky *et al.* (1999), relata as principais características que dificultam o problema de roteamento de veículos e sua resolução por métodos exatos: *i)* Limitações na capacidade de transporte do veículo; *ii)* restrições de precedência, ou seja o veículo deve sair de um lugar de origem determinado para depois chegar a um lugar de destino; *iii)* o tempo computacional de resolução deve ser compatível com o tempo disponível para a tomada da decisão; *iv)* frota heterogênea de veículos; *v)* restrições de tempo (janelas de tempo). Heinen (2005) também inclui uma restrição de capacidade de combustível do caminhão. Esta restrição garante que a capacidade do reservatório de combustível do veículo é suficiente para rodar sem ficar sem combustível.

O planejamento das rotas de transporte é um problema de tomada de decisão, pois é possível escolher uma alternativa (a melhor) dentre muitas soluções possíveis; mas nos problemas reais essa escolha pode ficar demasiado complicada ou demorada devido à complexidade e quantidade de informações disponíveis que devem ser processadas. Por isso é cada vez mais frequente o uso de métodos quantitativos e

ferramentas computacionais para obter a solução de problemas reais que possuem um grande número de variáveis e alternativas de solução (FERREIRA, 2010; FONSECA, 2005).

Guimarães (2005) considera que um problema real de roteirização pode ser definido basicamente por três dimensões fundamentais, a saber: decisões, objetivos e restrições. As decisões estão representadas pela alocação dos clientes (neste caso as fazendas) que devem ser visitados, pelos caminhões e motoristas que farão as visitas em uma forma sequencial e programada. Os objetivos fundamentais são a prestação de um serviço de alto nível e a manutenção dos custos operacionais e de capital o mais baixo possível, e, finalmente, realizar tudo dentro de certas restrições específicas, por exemplo: uso dos recursos disponíveis para a realização das rotas, cumprimento dos compromissos com os clientes, respeito à legislação trabalhista no que tem a ver com a jornada dos motoristas e ajudantes e respeitar as restrições derivadas das leis de trânsito.

A otimização de um problema de roteamento de veículos pode chegar a ser muito árdua, pois ao incrementar o número de restrições, aumenta a complexidade do mesmo em termos das múltiplas combinações possíveis, as quais geram uma grande quantidade de soluções.

4.4 PROBLEMA DE ROTEAMENTO DE VEÍCULOS

O problema de roteamento de veículos PRV (*VRP* pela sigla em inglês) está presente nas empresas de transporte, logística, coleta ou distribuição. Ele consiste basicamente em determinar a melhor rota (ou conjunto de rotas) a partir de um número determinado de rotas preexistentes que atendem às demandas de clientes preestabelecidos (*figura 10*), partindo de um ou múltiplos depósitos, usando os diferentes veículos disponíveis, completando a rota no menor tempo e ao mínimo custo possível, procurando a solução ótima ou a mais próxima desta, utilizando para tal fim uma série de ferramentas computacionais que auxiliam e apoiam a tomada de decisões (HEINEN, 2006; SALAS, 2010; FERREIRA, 2010, NOGUEIRA, 2010).

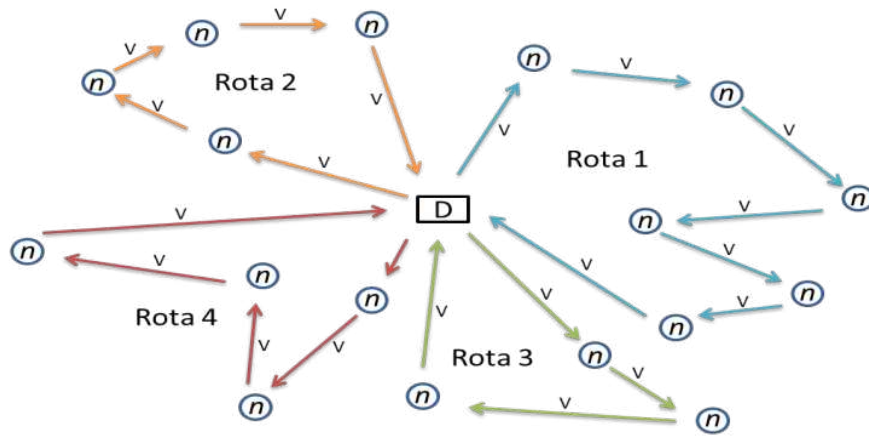


Figura 10 - Problema genérico de roteamento de veículos.
Fonte: Autor.

Um problema de roteamento de veículos clássico leva em consideração um número n de clientes distribuídos espacialmente com uma demanda de entrega/coleta associada a cada um, sujeito a um conjunto de restrições laterais. Genericamente o problema pode ser descrito pela *equação 1* (DA SILVA, 2000).

A função objetiva minimizar os custos totais de uma frota de veículos, que podem ser iguais (frota homogênea) ou diferentes um do outro (frota heterogênea).

$$\text{Minimizar } \sum_{v=1}^{nv} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}^v \quad \text{Equação (1)}$$

Sujeito às restrições:

$$\sum_v \sum_i x_{ij}^v = 1 \quad (j = 2, \dots, n), \quad \text{Equação (2)}$$

$$\sum_v \sum_i x_{ij}^v = 1 \quad (i = 2, \dots, n), \quad \text{Equação (3)}$$

As restrições (2) e (3) implicam que cada vértice com demanda será atendido por apenas um veículo.

$$\sum_i x_{ip}^v - \sum_j x_{pj}^v = 0 \quad (p = 1, \dots, n) \quad (v = 1, \dots, nv), \quad \text{Equação (4)}$$

A restrição (4) é de continuidade, ou seja, se um dos veículos entra em um vértice com demanda ele deve sair.

$$\sum_i q_i (\sum_j x_{ij}^v) \leq Q^v \quad (v = 1, \dots, nv), \quad \text{Equação (5)}$$

A restrição (5) refere-se à capacidade do veículo.

$$\sum_i t_i^v \sum_j x_{ij}^v + \sum_i \sum_j t_{ij}^v x_{ij}^v \leq T^v \quad (v = 1, \dots, nv), \quad \text{Equação (6)}$$

A restrição (6) refere-se ao tempo total de rota.

$$\sum_i x_{i1}^v \leq 1 \quad (v = 1, \dots, nv), \quad \text{Equação (7)}$$

$$\sum_j x_{1j}^v \leq 1 \quad (v = 1, \dots, nv), \quad \text{Equação (8)}$$

As restrições (7) e (8) cuidam para que a quantidade de veículos não seja excedida.

$$X = (x_{ij}^v) \in S, \quad \text{Equação (9)}$$

A restrição (9) constitui uma proibição de sub-rotas ilegais e, finalmente,

$$x_{ij}^v \in \{0,1\} \quad (i,j = 1, \dots, n)(v = 1, \dots, nv). \quad \text{Equação (10)}$$

a restrição (10) define as variáveis de decisão do modelo, em que:

n = número de vértices com demanda incluindo o depósito;

nv = número de veículos;

v = veículo;

Q^v = capacidade do veículo v ;

i, j = vértices de inicial e final de um arco (nós);

q_i = demanda no vértice i , onde $q_1 = 0$ e $q_i \leq Q^v, \forall i, v$;

T^v = tempo máximo permitido para o veículo v ;

t_i^v = tempo necessário para o veículo v entregar ou receber no vértice i (tempo de serviço em i por v);

t_{ij}^v = tempo de percurso do veículo v entre os vértices i e j ;

$x_{ij}^v \begin{cases} 1, \text{ se a ligação } ij \text{ é usada pelo veículo } v \\ 0, \text{ Caso contrario;} \end{cases}$

p = percurso (rota);

c = custo da rota;

t = tempo;

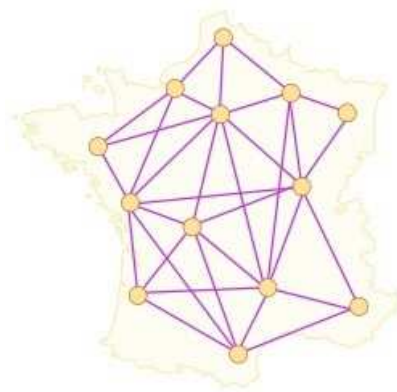
T = tempo máximo;

S = conjunto formado pelas restrições de quebras de sub-rotas ilegais que não incluem o vértice origem.

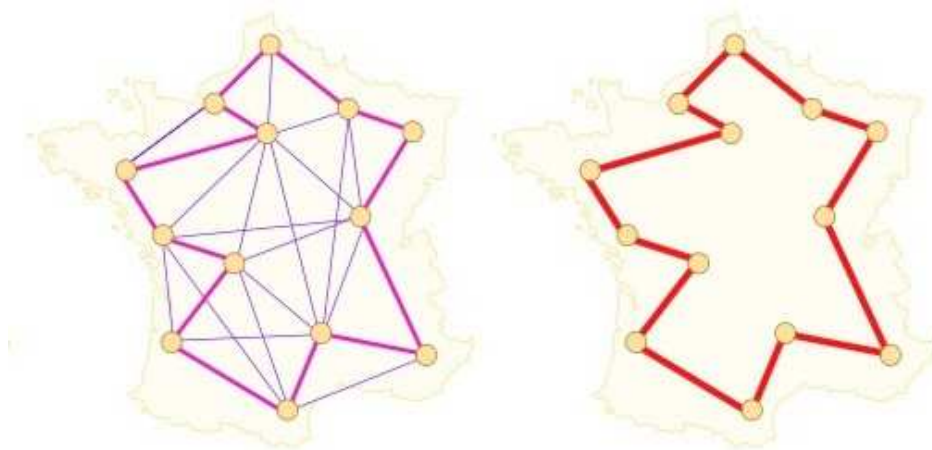
4.4.1 Problema do caixeiro viajante

O problema do caixeiro viajante (“traveling salesman problem”) é considerado o primeiro problema de roteirização a ser estudado. Seu objetivo é encontrar a menor rota para um caixeiro viajante que parte de uma cidade e deve passar por um conjunto de cidades, passando somente uma vez por cidade e logo retornando à cidade de origem (MALAQUIAS, 2006). Em outras palavras “o objetivo deste problema é atender a demanda de todas as cidades no horizonte de planejamento minimizando a distância percorrida” (GONÇALVES, 2005).

O algoritmo para a resolução deste problema consiste na construção de rotas simultâneas, cuja característica principal é o conceito da economia, obtido mediante a ligação de dois nós de forma sucessiva em um grafo. Deste modo com cada iteração se produz uma troca nas rotas procurando um conjunto melhor de rotas. Neste problema é usado apenas um veículo que tem que visitar todas as cidades, porém é necessário que a capacidade do veículo seja igual ou superior ao total dos produtos que devem ser entregues nas respectivas cidades visitadas (CARDOSO, 2009). Já para Miura (2008), neste problema não há restrições de tipo capacidade do veículo. Uma representação gráfica do problema do caixeiro viajante é apresentada na Figura 10. Na *figura 11a* pode ser observado um número de cidades a serem visitadas com as respectivas possíveis combinações de caminhos a serem percorridos; Já na *figura 11b* observa-se uma das possíveis escolhas de caminhos, selecionados de forma a passar por todas as cidades sem repetir nenhuma no trajeto, voltando finalmente ao ponto de partida.



a) Combinação de possíveis trajetos do problema do caixeiro viajante



b) Possível solução ótima ao problema do caixeiro viajante

Figura 11 - a) Combinação de possíveis trajetos do problema do caixeiro viajante,
b) Possível solução ótima ao problema do caixeiro viajante.

Fonte: Logística Descomplicada, 2013.

4.4.2 PRV com janelas de tempo

O PRV com janelas de tempo é uma variante do problema de roteamento de veículos tradicional, neste caso é introduzida uma restrição que determina que cada cliente deve ser servido dentro de um intervalo de tempo determinado, ou seja, o serviço só começa e termina na hora estipulada pelo cliente para receber ou entregar as mercadorias; no caso de um veículo chegar antes da hora marcada, ele tem de aguardar, e após atender o cliente o veículo tem de sair num tempo menor ou igual ao tempo estipulado (CARDOSO, 2009). A empresa que presta o serviço de transporte está obrigada a respeitar os horários de coleta e entrega de suas cargas. Estes horários podem ser pré-estabelecidos por agendamento com o cliente ou no caso de matérias primas perecíveis por suas datas de validade (LEMOS, 2009).

4.4.3 PRV com frota mista e frota heterogênea

O Problema de roteamento de veículos com frota heterogênea é uma variação do PRV clássico, em que a frota é composta por diferentes tipos de veículos. Segundo Miura (2008), estas diferenças podem ser relacionadas a: “veículos com capacidades diferentes, custos diferentes, ou alguma outra característica que se faz necessária sua distinção de acordo com a necessidade do problema estudado.”

“O problema de dimensionamento e roteirização de uma frota heterogênea de veículos consistem em definir simultaneamente as rotas e a composição da frota que minimizem o custo total de atendimento de um conjunto de pontos, compreendendo tanto os custos proporcionais às distâncias percorridas pelos veículos quanto os custos fixos dos veículos utilizados. Busca-se determinar qual a configuração ideal de veículos, em termos de tamanhos e frotas, bem como o roteiro de cada veículo, de forma a minimizar o custo total (TEIXEIRA & CUNHA, 2002)”.

Nos problemas de roteamento com frotas heterogêneas devem-se ponderar os custos fixos dos veículos contra o custo variável com a distância percorrida. Ainda Teixeira e Cunha (2002) afirmam que: “é importante determinar se é melhor utilizar mais veículos de menor capacidade, percorrendo uma distância total menor ou menos veículos de maior capacidade, percorrendo uma distância total maior de forma a otimizar o custo total”.

Andrade (2003) faz uma diferenciação entre os termos frota mista e frota heterogênea:

“Na frota heterogênea o número total de cada tipo de veículo é pré-determinado, não podendo ultrapassar este valor. Já na frota mista, o número de veículos é ilimitado, ou seja, a solução do problema indicara quantos veículos de cada tipo (capacidade) serão necessários”.

Os problemas de roteirização de veículos de uma frota mista são considerados problemas do tipo NP-difícil e, portanto, para sua solução são geralmente utilizados diferentes métodos heurísticos e metaheurísticos tais como busca tabu, geração de colunas, heurística das economias, dentre outras (MIURA, 2008). Teixeira e Cunha (2002) afirmam que a heurística das economias não é adequada para tratar problemas de frotas heterogêneas.

4.4.4 Problema com múltiplo uso de veículo

O problema do múltiplo uso do veículo faz referência à múltipla utilização dos veículos. Isto significa que cada veículo pode ser utilizado para atender as demandas de mais de uma rota.

4.4.5 Tipos de veículos usados na coleta de leite

Caminhão: Na coleta de leite são utilizados basicamente 2 tipos de caminhões: toco e truck (*figura 12*).

	Toco ou caminhão semi-pesado: caminhão que tem eixo simples na carroceria, ou seja, um eixo frontal e outro traseiro de rodagem simples. Sua capacidade é de até 6 toneladas, tem peso bruto máximo de 16 toneladas e comprimento máximo de 14 metros.
	Truck ou caminhão pesado: caminhão que tem o eixo duplo na carroceria, ou seja, dois eixos juntos. O objetivo é poder carregar carga maior e proporcionar melhor desempenho ao veículo. Um dos eixos traseiros deve necessariamente receber a força do motor. Sua capacidade é de 10 a 14 toneladas, possui peso bruto máximo de 23 toneladas e seu comprimento é também de 14 metros, como no caminhão toco.

Figura 12 – Modelos de caminhões para coleta de leite.

Fonte: adaptado de International Foreign Trade, 2013.

Carreta: É uma categoria em que uma parte possui a força motriz (motor), rodas de tração e a cabine do motorista e a outra parte recebe a carga (*figura 13*). A parte motriz recebe o nome de cavalo mecânico, e este pode ser acoplado a diferentes tipos de módulos de carga, chamados de semi-reboque. Alguns modelos são:



Cavalo Mecânico ou caminhão extra-pesado: é o conjunto formado pela cabine, motor e rodas de tração do caminhão com eixo simples (apenas 2 rodas de tração). Pode ser engatado em vários tipos de carretas e semirreboques, para o transporte.



Cavalo Mecânico Trucado ou LS: tem o mesmo conceito do cavalo mecânico, mas com o diferencial de ter eixo duplo em seu conjunto, para poder carregar mais peso. Assim o peso da carga do semirreboque distribui-se por mais rodas, e a pressão exercida sobre cada uma no chão é menor.

Figura 13 – Modelos de carretas para coleta de leite.

Fonte: adaptado de International Foreign Trade, 2013.

5. OTIMIZAÇÃO

5.1 Métodos heurísticos e métodos exatos de resolução do problema de roteamento de veículos

Na resolução de problemas com modelos matemáticos, segundo Arenales et.al. (2007), para formular um modelo matemático, precisam ser consideradas algumas simplificações razoáveis de um sistema real, o qual tem que ser validado. A validação depende do grau de coerência entre a solução do modelo matemático e o contexto original. O modelo matemático é uma representação simplificada de um problema real e deve ser o suficientemente detalhado para captar elementos essenciais do problema. A *figura 14* ilustra um processo de abordagem de solução de um problema mediante o uso de um modelo matemático proposto por Rocha *et al.* (2005).

A ideia geral associada ao termo heurística tem relação com resolver de forma inteligente problemas reais utilizando o conhecimento disponível. O termo pode ter origem na palavra grega *eureka* expressada por Arquimedes quando descobriu seu famoso princípio. Assim uma heurística pode ser considerada uma técnica ou um método que procura boas soluções (perto da solução ótima) com um custo computacional razoável sem poder garantir a solução ótima (DAZA *et al.* 2009).

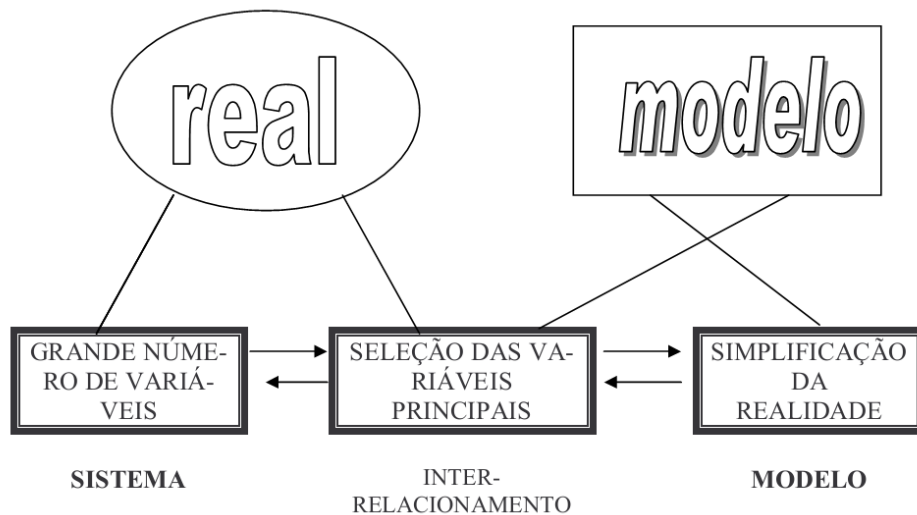


Figura 14 - Processo de modelagem.
 Fonte: Rocha *et al.* (2005).

Para Andrade (2003), os métodos heurísticos para PRV podem ser classificados em quatro classes:

- 🌸 **Métodos construtivos:** as rotas estão inicialmente vazias e vão se formando a cada nova iteração. Dois critérios podem ser empregados na formação das rotas. Estes são sequenciais e paralelos em que as rotas podem ser formadas de maneira individual ou simultânea. Exemplos destes métodos são as heurísticas de Clarke e Wright e o algoritmo de inserção de Mole e Jameson.
- 🌸 **Métodos de melhoria iterativa:** partindo de uma solução inicial viável procura-se melhorá-la após cada iteração, gerando soluções com menores custos. Exemplo desta metodologia são algoritmos baseados na troca *k-opt*.
- 🌸 **Metaheurísticas:** como por exemplo, busca Tabu, Simulated Annealing, Algoritmos Genéticos e GRASP.
- 🌸 **Heurísticas de Duas Fases:** uma consiste no agrupamento dos clientes com base em algum critério, e a segunda na otimização das rotas.

- Agrupa primeiro e roteia depois;
- Roteia primeiro e agrupa depois.

5.2 Heurística de Clark e Wright

Chamada também heurística das economias, foi inicialmente desenvolvida para resolver o problema clássico de roteamento de veículos (MARTINS *et al.* 2004). A heurística de Clark e Wright é uma das mais conhecidas e usadas nos problemas práticos de roteamentos de veículos, embora possua suas limitações. O mencionado algoritmo possui alta simplicidade e velocidade de resolução, não contém parâmetros e é de fácil implementação. A heurística de Clark e Wright começa com tantas rotas quanto clientes tenha o problema, o próximo passo é combinar as rotas, a combinação de menor custo e que respeite as restrições de capacidade é a escolhida. O processo se repete até quando não seja mais possível combinar rotas sem violar as restrições (MALAQUIAS, 2006).

O algoritmo de Clark e Wright é um processo iterativo, possibilitando uma rápida seleção de uma rota ótima ou quase ótima. O algoritmo baseia-se no princípio das economias, definido como o custo da combinação ou união de duas sub-rotas existentes. Por ser um método iterativo, após cada iteração todas as possíveis rotas entre dois nos i e j são calculadas através da fórmula $S_{ij} = C_{i1} + C_{1j} - C_{ij}$, em que 1 representa o domicílio (depósito ou base). As duas rotas com maior economia de combinação são unidas. Este tipo de função recebe o nome de função Gulosa, pois sempre escolhe a maior economia dentre todas as possíveis. Cada vez que são combinadas duas sub-rotas, as rotas são novamente calculadas e atualizadas para a próxima combinação de sub-rotas, isto é, para a próxima iteração (SARTORI JUNIOR, 2006).

O problema de C&W não trata adequadamente problemas com frotas heterogêneas, onde é necessário ponderar o custo fixo dos veículos utilizados versus o custo variável com a distância percorrida na procura de otimizar o custo total de transporte (TEIXEIRA e CUNHA, 2002). Segundo Bressan *et al.* (2010) a heurística de Clark & Wright busca substituir percursos mais caros dentro de uma rota por percursos com custo menor, este tipo de heurística pode resultar em soluções com uma proximidade de 2 % da solução ótima.

Para Almeida e Oliveira (2006), métodos exatos são aqueles com capacidade de garantir uma solução matematicamente ótima para problemas de roteamento. Utilizados em PRV, produzem resultados eficientes em termos de tempo computacional quando são aplicados a problemas pequenos (máximo 50 clientes); já problemas maiores podem resultar em tempo de processamento computacional muito longo e grande necessidade

de memória. Almeida e Oliveira (2006) ressaltam dois métodos: o método busca em árvore direta e a programação dinâmica.

5.3 Geração de Colunas

A técnica de geração de colunas pode ser aplicada a problemas lineares de grandes dimensões. O algoritmo para resolução oscila entre um subproblema e um problema mestre restrito.

Segundo Santos (2008), o problema é decomposto em dois subproblemas:

- Problema Mestre: é o problema a ser resolvido (neste caso pode ser o número de veículos, número de rotas, número de clientes a visitar), contudo com um número menor de colunas.
- Sub-problema: que gera uma série de novas colunas a partir do problema mestre (novos clientes a serem atendidos), estas colunas quando são somadas ao conjunto de colunas do problema mestre melhora a solução atual.

5.4 Programação Linear em roteamento de veículos

A programação linear sujeita às restrições lineares teve seu início com os estudos de Fourier em 1826, mais só em 1939 Kantorovich fez notar a importância prática destes problemas, embora o auge viesse com George Dantzig na década de 1940, quem em 1947 criou o Algoritmo Simplex para sua resolução (VITOR, 2007).

Segundo Costa (2012), os problemas de programação Linear, pertencem a uma categoria especial de problemas de programação matemática, onde a função objetivo e as restrições podem ser representadas por funções lineares. Segundo o autor, a aplicação da programação linear visa estabelecer um plano otimizado que representa a melhor solução entre todas as soluções possíveis do problema.

5.5 Software de roteirização

Na atualidade existe uma ampla variedade de software para roteirização de veículos, dentre estes temos:

Empresa: **CAD Design-Tecnologia e Inteligência Geográfica**¹

Software: o **SaaS** utiliza de forma on-line e possibilita a consolidação de pedidos, otimização de cargas e rotas, otimização da utilização da frota, geração de roteiros de carga, emissão de relatórios. O aplicativo pode inserir diversas restrições ao sistema dentre elas: janelas de atendimento, restrições de circulação, exigências de equipamentos especiais, frota variada, jornada de trabalho, exigência do plano de gerenciamento de riscos e políticas corporativas.

Empresa: **soluções Veltec**²

Serviço desenvolvido para ser viável em empresas de qualquer porte dando acessibilidade a empresas menores a essa importante ferramenta de otimização de custos e recursos de coletas e entregas. Utilizada na regionalização automática ou fixada pelo usuário, dimensionamento de cargas, edição visual de roteiros em mapas digitais, priorização por custo em relação ao mercado e priorização de rotas por custo e tempo despendido.

Empresa: **IUNIS AGROINFORMÁTICA**³

Software: O **Via Láctea** tem por objetivo fornecer ferramentas e informações para a otimização da logística de captação de leite. O software foi desenvolvido com tecnologia java e trabalha com informações de GPS, apresentado em idioma português e pode ser executado em ambientes Windows ou Linux de qualquer localidade via internet.

Empresa: **RouteSmart Technologies e Itron**⁴

A empresa presta serviços on-demand, com uma interface de roteamento automatizado acessado através do sistema de coleta de campo itron (FCS) interface. **RouteSmart para Itron** suporta usuários com ajustes de gestão para as rotas de leitura estabelecidos, suporta quatro principais casos de uso de roteamento que são comumente

¹ <http://www.rccaddesign.com/novo/produtos.php?cod=45>

² <http://www.veltec.com.br/solucoes.php>

³ <http://www.agroinformatica.com.br/novo/index.html>

⁴ <http://www.routesmart.com/industry-solutions/utilities-route-planning-routing-scheduling-software/solutions/itron-logistics-management-software-optimization-energy-utilities/>

encontrados em um departamento de operações. Estes incluem: Inserir - Locais novos medidores (seqüência zero) para a melhor localização na rota antes de baixar, deixando a seqüência da rota original intacta. *Otimização*: Melhora a seqüência de uma rota. *Divisão*: divide uma rota grande em duas ou mais vias menores. *Consolidação*: Combina e otimiza muitos pequenos percursos pedestres em grandes rotas de condução.

Empresa: **Caliper**⁵

Software: **TransCAD** é o primeiro sistema de informação baseado em SIG projetada especificamente para uso por profissionais de transporte para armazenar, exibir, gerenciar e analisar os dados de transporte. **TransCAD** combina capacidades de modelagem de SIG e transporte em uma única plataforma integrada. **TransCAD** pode ser usado para todos os modos de transporte, em qualquer escala ou nível de detalhe. **TransCAD** fornece um motor poderoso SIG com extensões especiais para transporte, mapeamento, visualização e análise de ferramentas projetadas para aplicações de transporte. Além disso, possui módulos de aplicativos para roteamento, previsão de demanda de viagens, transporte público, logística, localização local e gestão do território.

Empresa: **GFMI Software**⁶

Software: **Delivery** é comercializado em três versões:

Delivery Pedágio: versão básica do roteirizador, que inclui as funcionalidades de roteirização rodoviária, melhor seqüência de cidades do roteiro e valores de pedágio;

Delivery Professional: versão expandida do roteirizador, que inclui as mesmas funcionalidades da versão pedágio mais a funcionalidade de roteamento, que otimiza os pedidos a serem entregues pelos veículos disponíveis;

Delivery Premium: versão expandida do roteirizador, que além das funcionalidades da versão profissional, inclui também a roteirização porta-a-porta (em

⁵ <http://www.caliper.com/tcovu.htm>

⁶ <http://www.gfmi.com.br/>

inglês *door-to-door*), isto é, possui mapas urbanos e rodoviários integrados, possibilitando a roteirização (saída e destino) entre endereços urbanos.

Ghisi *et al.* (2004) relata a utilização das diferentes versões deste software por empresas nacionais e internacionais com presença no país, utilizado principalmente para cálculo da quilometragem para auditar os fretes pagos a transportadores terceirizados, útil para cargas fracionadas.

Empresa: **SEAC (Software Especializado Assessoria e Comércio LTDA)**⁷

Software: o software de roteirização denominado **VisiLog Rotas** permite o planejamento e programação de rotas na plataforma web. Através da otimização do número de veículos e de seus trajetos permite o atendimento de pedidos ou solicitações de serviço com o máximo de economia e eficiência além de contribuir para a diminuição da pegada de carbono. O tratamento de variáveis em tempo real faz com que o **VisiLog Rotas** possa trabalhar com a roteirização estática tradicional, quando os pedidos/solicitações de serviços são conhecidos antecipadamente (antes da saída dos veículos) e acumulados antes do processo de roteirização, como também com os processos de roteirização dinâmica e parcialmente dinâmica, em que os pedidos/solicitações de serviços são recebidos e inseridos de forma otimizada durante um trajeto em curso.

Empresa: **Br express**⁸

Software: **BR inCity & BR onRoad** Realiza rotas por meio de mapas rodoviários e urbanos georeferenciados, contendo informações detalhadas de endereçamento, além disso, relaciona os tipos de veículos capazes de transportar cada produto. Possibilita fazer rotas calculadas com tempos precisos, dada a qualidade dos mapas: velocidades médias são aferidas em campo, e incluem até o tempo gasto em semáforos.

Outras Características:

- Interface Web Multi-usuário: o pessoal de logística, almoxarifado, faturamento, expedição, etc. poderão ter acesso simultâneo às informações;

⁷ <http://www.seacinformatica.com.br/>

⁸ <http://www.brexpress.com.br/geral.cfm?Indice=Roteirizadores&Area=1>

- Totalmente em português;
- Multiplataforma: funciona em ambientes Windows, Linux e Macintosh;
- Utiliza mapas vetoriais em nível de quadra de rua / trechos de rodovia, com todas as informações de mãos de direção, numeração, proibições de conversão etc.;
- Todos os mapas são mantidos atualizados automaticamente;
- Importa dados de qualquer banco de informações ou sistema de controle operacional, em formatos texto (.txt), XML (Web Services) ou ODBC;
- Instalação corporativa (em servidor na própria empresa) ou acesso via site BR express sem restrições quanto ao tamanho da frota, total de entregas etc.

Empresa: **Routing**⁹

Software: **RoadShow** é um software de roteirização que permite análises rápidas e precisas quanto ao aproveitamento ideal dos recursos envolvidos no processo de distribuição. Apresenta um ambiente amigável e intuitivo, valendo-se de uma série de recursos gráficos que incluem os mapas detalhados da região de atuação e das facilidades operacionais do ambiente Windows. Proporciona ao usuário a visualização de sua estratégia de vendas e integra-se facilmente ao sistema corporativo. Dispõe de localização automática de endereços e apresenta na tela a posição dos veículos em rota comparada à planejada.

Empresa: **LogOne**

Software: **Road Net5000** totalmente traduzido para o português, o software permite que sejam estabelecidas faixas de horários específicas, nas quais ocorre aumento ou diminuição no tempo de deslocamento do veículo – horários de rush. Com essa informação, é possível prever com antecedência problemas viários, evitando que os caminhões se desloquem nos horários de pico. Por trabalhar em rede, o **RoadNet**

⁹ <http://routing.com.br/roadshow/>

armazena todos os registros de roteirizações anteriores em um banco de dados, disponibilizando, assim, relatórios para comparações e análises a qualquer momento. Além disso, permite que sejam criados diversos ambientes de trabalho, que são denominados Regiões, cada uma delas possui um cadastro de clientes com todas as suas características e particularidades, o que possibilita que cada uma seja tratada de forma distinta.

6. METODOLOGIA

A presente investigação foi realizada no Laboratório da Inovação do Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Viçosa, em parceria com o laboratório de Informática, do Departamento de Informática e do Centro de Bioenergia da mesma instituição. Os dados foram coletados das atuais rotas de coleta de leite de um laticínio da Zona da Mata mineira – MG.

6.1 COLETA DE DADOS

Para desenvolver a pesquisa, foi implementada uma metodologia que facilitou a obtenção e manipulação dos dados referentes à frota de veículos. O levantamento dos dados foi feito inicialmente coletando informações da frota, seguido das informações correspondentes à localização geográfica dos pontos de coleta e rotas atuais do laticínio e finalmente dos custos fixos e variáveis associados à operação de coleta.

As fazendas que fornecem o leite cru ao laticínio estão localizadas no estado de Minas Gerais, zona da Mata Mineira. Encontram-se espalhadas por vários municípios do Estado, alguns a distâncias consideráveis, chegando inclusive perto do estado de Rio de Janeiro, ficando a mais próxima a 1,8 km e o mais distante a 156,59 km.

Esta situação pode ser explicada pela acirrada competição dos laticínios pela captação do leite das fazendas. No entanto o fato do leite ser resfriado na propriedade imediatamente após a ordenha permite aos laticínios coletar leite em longas distâncias sem comprometer a qualidade, para isso é necessário que o resfriamento nas fazendas seja efetuado rapidamente e que a temperatura seja mantida na faixa dos 4°C até o momento de ser recolhido pelo caminhão.

6.1.1 Frota

Os veículos usados na coleta são da marca Mercedes Benz e Ford, equipados com tanque isotérmicos de diferentes capacidades. Na *tabela 1* são detalhadas as informações dos veículos de forma individual

Tabela 1. Veículos usados pelo laticínio

Veículo	Marca	Modelo	Capacidade do tanque
1	Mercedes Benz	L1518	9000
2	Mercedes Benz	L1518	9000
3	Mercedes Benz	L1518	9000
4	Mercedes Benz	L1517 3E	12900
5	Ford	Cargo 1717 ETb 2p	8300
6	Mercedes Benz	709	4000

6.1.2 Levantamento dos pontos de coleta e das rotas atuais do laticínio

Os pontos de coleta e as rotas atuais foram levantadas com ajuda de um dos motoristas do laticínio, para tal foi usado um GPS marca Garmin GPSmap 60CSx. Em cada ponto de coleta foi registrado nome e identificação do produtor (ou cooperativa), assim como capacidade do tanque de resfriamento e oferta de leite. Foram identificadas as rotas alternativas usadas pelos motoristas em diferentes circunstâncias.

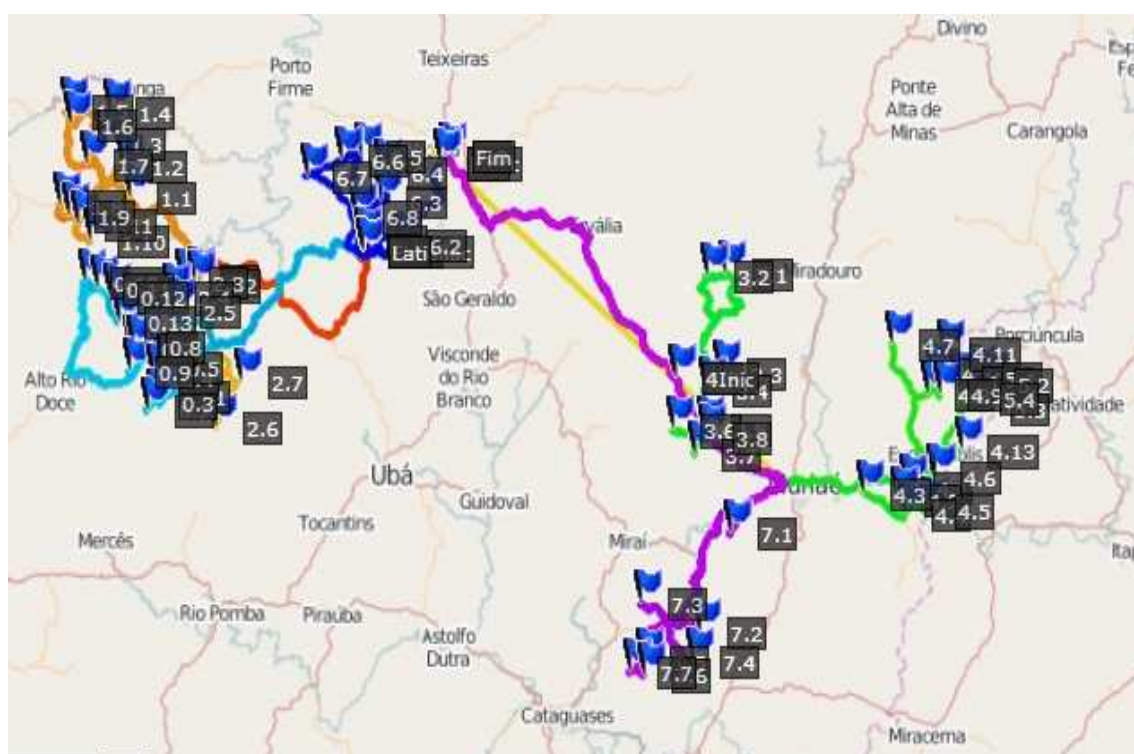


Figura 15 - Pontos de Coleta
Fonte: autor

As coordenadas geográficas dos pontos mostrados na *figura 15* são apresentadas na *tabela 2*, e são de muita importância, pois permitem localizar as propriedades em SIG's para o posterior tratamento dos dados, existem vários SIG's gratuitos, por

exemplo o Google Earth que está disponível na internet, e o gvSig que pode ser instalado no computador. É possível verificar entre outras coisas proximidade com estradas principais e secundárias.

Adicionalmente podem ser identificadas possíveis rotas alternativas entre as propriedades, muito úteis caso alguma das estradas usadas habitualmente esteja impossibilitada para transitar ou seu uso represente uma diminuição nos custos da rota.

Tabela 2 - Coordenadas geográficas das fazendas que fornecem leite à empresa.

Ponto	Coordenadas	Altitude	Ponto	Coordenadas	Altitude
Laticínio	S20 52.241 W42 59.050	717 m	3.5	S21 04.269 W42 30.391	583 m
0.1	S21 01.995 W43 15.521	761 m	3.6	S21 04.285 W42 32.948	680 m
0.2	S21 02.989 W43 16.932	742 m	3.7	S21 05.840 W42 31.170	641 m
0.3	S21 02.420 W43 16.604	727 m	3.8	S21 04.737 W42 30.363	628 m
0.4	S21 00.711 W43 16.533	713 m	3.9	S21 00.693 W42 32.704	730 m
0.5	S20 59.967 W43 16.183	715 m	4.1	S21 08.101 W42 13.481	271 m
0.6	S20 58.784 W43 18.413	753 m	4.2	S21 08.969 W42 14.261	208 m
0.7	S20 58.810 W43 18.222	732 m	4.3	S21 08.494 W42 17.058	194 m
0.8	S20 58.621 W43 17.635	723 m	4.4	S21 09.908 W42 13.681	192 m
0.9	S21 00.354 W43 18.508	750 m	4.5	S21 09.741 W42 11.729	183 m
0.1	S20 54.251 W43 22.232	699 m	4.6	S21 07.466 W42 11.210	196 m
0.11	S20 54.690 W43 21.248	694 m	4.7	S20 58.439 W42 14.677	433 m
0.12	S20 55.221 W43 20.105	694 m	4.8	S21 01.794 W42 11.740	252 m
0.13	S20 56.941 W43 19.431	723 m	4.9	S21 01.823 W42 10.701	348 m
1.1	S20 48.558 W43 18.460	757 m	4.1	S21 00.411 W42 11.439	373 m
1.2	S20 46.482 W43 19.099	687 m	4.11	S20 59.125 W42 10.497	431 m
1.3	S20 44.941 W43 20.925	780 m	4.12	S21 00.993 W42 09.554	322 m
1.4	S20 42.841 W43 20.177	680 m	4.13	S21 05.693 W42 09.005	285 m
1.5	S20 42.745 W43 23.737	675 m	5.1	S21 00.677 W42 07.773	330 m
1.6	S20 43.662 W43 23.402	730 m	5.2	S21 01.202 W42 06.809	312 m
1.7	S20 46.312 W43 22.036	761 m	5.3	S21 02.793 W42 07.094	361 m
1.8	S20 49.093 W43 24.301	787 m	5.4	S21 02.122 W42 07.949	246 m
1.9	S20 49.827 W43 23.592	801 m	6.1	S20 51.445 W42 59.151	724 m
1.10	S20 51.504 W43 21.745	775 m	6.2	S20 51.738 W42 55.859	714 m
1.11	S20 50.332 W43 22.777	787 m	6.3	S20 48.883 W42 57.499	670 m

Continuação

Ponto	Coordenadas	Altitude	Ponto	Coordenadas	Altitude
2.1	S20 54.193 W43 13.141	664 m	6.4	S20 46.848 W42 57.446	650 m
2.2	S20 54.504 W43 13.030	650 m	6.5	S20 45.727 W42 59.190	648 m
2.3	S20 54.328 W43 14.117	656 m	6.6	S20 46.056 W43 00.748	674 m
2.4	S20 55.345 W43 15.219	689 m	6.7	S20 47.097 W43 03.675	715 m
2.5	S20 56.275 W43 14.744	686 m	6.8	S20 49.882 W42 59.548	686 m
2.6	S21 04.049 W43 11.274	774 m	7.1	S21 11.253 W42 28.236	230 m
2.7	S21 00.949 W43 09.171	783 m	7.2	S21 17.879 W42 30.819	272 m
3.1	S20 53.735 W42 28.599	749 m	7.3	S21 15.945 W42 35.722	230 m
3.2	S20 53.853 W42 30.164	756 m	7.4	S21 19.857 W42 31.340	248 m
3.3	S21 00.422 W42 29.150	607 m	7.5	S21 19.827 W42 35.590	202 m
3.4	S21 01.517 W42 30.375	581 m	7.6	S21 20.757 W42 35.461	193 m

Além das coordenadas, o aparelho de GPS permite gravar as rotas percorridas pelos diferentes veículos, facilitando a identificação das estradas transitadas. O laticínio possui oito rotas (*tabela 3*), a saber: rota 0, rota 1, rota 2, rota 3, rota 4, rota 5, rota 6, rota 7, cada uma delas com vários pontos de coleta, descritos na *tabela 2*.

As rotas quatro e cinco são colhidas pelo mesmo caminhão, e pela sua proximidade podem ser consideradas como uma rota só.

Tabela 3. Rotas e pontos de coleta associados.

Rota 0	Rota 1	Rota 2	Rota 3	Rota 4	Rota 5	Rota 6	Rota 7
0.1	1.1	2.1	3.1	4.1	5.1	6.1	7.1
0.2	1.2	2.2	3.2	4.3	5.2	6.2	7.2
0.3	1.3	2.3	3.3	4.4	5.3	6.3	7.3
0.4	1.4	2.4	3.7	4.5	5.4	6.4	7.4
0.5	1.5	2.5	3.8	4.6	***	6.5	7.5
0.6	1.6	2.6	3.9	4.7	***	6.6	7.6
0.7	1.7	2.7	***	4.8	***	6.7	7.7
0.8	1.8	***	***	4.9	***	6.8	***
0.9	1.9	***	***	4.10	***	***	***
0.10	1.10	***	***	4.11	***	***	***
0.11	1.11	***	***	4.12	***	***	***
0.12	***	***	***	4.13	***	***	***
0.13	***	***	***	***	***	***	***

As figuras das rotas visualizadas no Google Earth são apresentadas a continuação.

As figuras 16 a 21 representam visualmente a distribuição dos pontos de coleta de cada uma das rotas percorridas pelos caminhões na operação de coleta de leite.



Figura 16 - Pontos Rota 1
Fonte: autor



Figura 17 - Pontos Rota 0 e 2
 Fonte: autor



Figura 18 - Pontos Rota 3
 Fonte: autor



Figura 19 - Pontos Rota 4 e 5
Fonte: autor

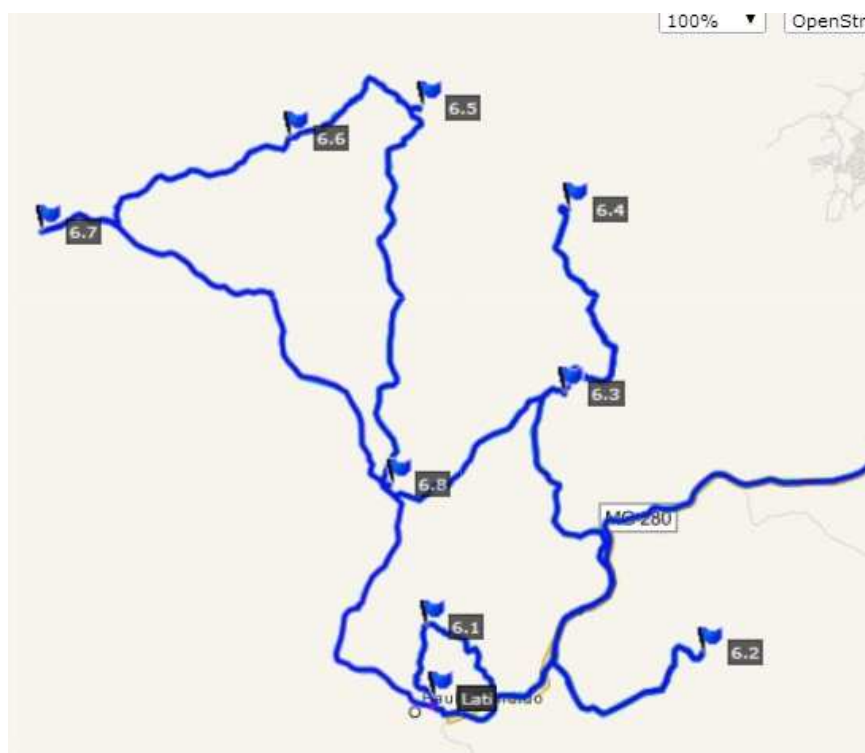


Figura 20 - Pontos Rota 6
Fonte: autor



Figura 21 - Pontos Rota 7
Fonte: autor

6.2 DETERMINAÇÃO DE CUSTOS DE TRANSPORTE RODOVIÁRIO

O cálculo de custo seguiu o modelo utilizado por Correia *et al.* (2012) e Magalhaes *et al.* (2009).

A avaliação dos custos de cada caminhão foi feita mediante o cálculo dos custos fixos e variáveis. São custos fixos o pessoal (motoristas e ajudantes), a depreciação, os custos administrativos, a remuneração de capital, a manutenção - oficina própria (parte fixa), impostos (licenciamento, IPVA, DPVAT, seguro obrigatório, seguro do veículo, custos administrativos). Os custos variáveis estão representados por combustíveis, lubrificantes, pneus, manutenção – oficina própria, lavagem, seguro do produto transportado. E finalmente o custo total, que consiste na soma dos custos fixos e variáveis.

6.3 CUSTOS FIXOS

Segundo Magalhaes *et al.* (2009) denominam-se custos fixos aqueles que não variam em função da produção e que são constantes sem importar o uso do equipamento. Para Silva (2009) custos fixos são aqueles que são constantes mês a mês, e excetuando as variações de preço ou salariais podem ser calculados mensal (R\$/mês)

ou anualmente (R\$/ano), podendo ser divididos mais a frente pelos quilômetros rodados (R\$/km). Estes custos podem até serem divididos pelo peso transportado (R\$/kg ou R\$/Ton) ou pelo volume transportado (R\$/l ou R\$/m³).

6.3.1 Custo administrativo

O custo administrativo (C_{Adm}) é calculado através da equação 11, sendo n_{func} o numero de funcionários indiretamente envolvidos no transporte do leite, CTG representa o custo total despendido da gerência, incluído os encargos sociais (mensal), t_T à taxa de tempo despendido para gerenciar o setor de transporte em relação ao tempo total de trabalho da gerência (mensal), e finalmente n_c o numero de caminhões da empresa responsáveis pela coleta que a empresa possui.

Foi considerado um valor de duas horas por dia do valor de um salário mínimo (tabela 3), considerando que não tem funcionário dedicado exclusivamente para o gerenciamento da frota.

$$C_{Adm} = \frac{n_{func} \cdot CTG \cdot t_T}{n_c} \quad \text{Equação (11)}$$

Tabela 3. Custo administrativo

	Salario Mês R\$
Administrativo	164,03

6.3.2 Custo de oportunidade sobre os ativos investidos ou remuneração do capital

Neto *et al.* (2006) e Denardin (2004) afirmam que o custo de oportunidade pode ser entendido como uma comparação entre o investimento aceito e a melhor alternativa rejeitada, podendo oferecer elementos relevantes para avaliar a decisão. Caso a alternativa escolhida supere a segunda melhor a escolha foi acertada e haverá lucro. Se ocorrer o contrario, pode ser considerado como prejuízo e evidencia-se que a ação escolhida não maximizara os benefícios possíveis.

A contabilidade das empresas raramente considera os custos de oportunidade nos sistemas formais de informação contábil, principalmente no que se refere à elaboração dos demonstrativos contábeis externos, exigidos pela contabilidade financeira, societária e tributária. Assim desta forma são limitados os registros somente a eventos de natureza econômica, e não incluem as opções que foram abandonadas, por tanto não guardando informações do que poderia ter acontecido (SANTOS, 1995).

Para Correia *et al.*(2012) o custo de oportunidade não é propriamente uma despesa. Representa o que a empresa poderia ter recebido caso tivesse investido no mercado financeiro, caso o capital empregado em veículos e equipamentos de transporte não tivesse sido utilizado para aquisição.

Não mensurar o custo de oportunidade pode causar prejuízos a empresa desde o ponto de vista da tomada de decisões, um exemplo pode ser: comprar um caminhão de maior tamanho ou dois de tamanho menor?, o volume de leite a ser coletado por os novos veículos vale a pena?. Devem ser consideradas independentemente cada uma das opções, pois a decisão final incide nos custos fixos e variáveis do laticínio, o lucro obtido deve ser superior as despesas, pois também pode acontecer que o volume de leite a ser coletado não é o suficiente para pagar as despesas de comprar mais veículos. Nesse caso o laticínio pode decidir por investir o valor da compra dos caminhões na compra de melhores equipamentos para produção de queijo por exemplo.

O laticínio não reportou mensuração do custo de oportunidade, mas seria interessante considerar o custo de oportunidade por exemplo, na compra de novos equipamentos ou veículos.

6.3.3 Depreciação

Considera-se depreciação a perda do valor de bens com o decorrer do período esperado de vida útil, em função de situações tais como desgaste, danos ou obsolescência. Na receita federal podem ser achadas as diversas percentagens de depreciação dos diferentes bens. O calculo da depreciação foi feito mediante a *equação 12*, onde D_n representa a depreciação (R\$/mês), N os veículos ou equipamentos, VA o valor de aquisição, VR o valor residual e vu a vida útil em meses (*tabela 4*).

$$D_N = \frac{VA - VR}{vu} \quad \text{Equação (12)}$$

A depreciação foi calculada levando em consideração o valor de aquisição, o valor residual e a vida útil em meses reportados pelo laticínio. Na *tabela 5* são apresentadas as depreciações dos caminhões e dos tanques isotérmicos instalados em cada um deles.

Tabela 4 Valor de aquisição, vida útil e valor residual dos caminhões

	Valor de aquisição em R\$	Vida útil em meses	Valor residual em R\$
CLU 9280	R\$ 82500.00	60	R\$ 19.577,64
GSY 3253	R\$ 81000.00	60	R\$ 19.221,68
GSY 3260	R\$ 77000.00	60	R\$ 18.272,46
GPQ 6975	R\$ 75000.00	48	R\$ 23.730,47
HBN 8537	R\$ 107000.00	48	R\$ 33.855,47
LDA 3509	R\$ 36229.00	48	R\$ 11.463,08

Tabela 5. Depreciação de caminhões e tanques

	Depr. Caminhão R\$/Mês	Depr. Tanque R\$/Mês
CLU 9280	1.048,71	368,64
GSY 3253	1.029,64	505,92
GSY 3260	978,79	368,64
GPQ 6975	1.068,12	498,45
HBN 8537	1.523,84	505,92
LDA 3509	515,96	348,92

6.3.4 Impostos

Os impostos obrigatórios são o Imposto de Propriedade de Veículos Automotores - IPVA e o Seguro Obrigatório de Danos Pessoais Causados por Veículos Automotores de Via Terrestre – DPVAT, assim como as taxas e multas. Tanto o IPVA

quanto o DPVAT são pagos anualmente numa única quota ou em parcelas segundo tabelas (SEGURO DPVAT, 2013).

A *equação 13* representa o total de impostos e taxas a ser pagas por cada um dos veículos, este valor é anual e dividido por 12 para expressa-lo como mensal. Onde I é o total de impostos, LIC é o valor total do licenciamento; $IPVA$ é o imposto sobre a propriedade de veículos automotores; $DPVAT$ é o seguro obrigatório.

$$I = LIC + IPVA + DPVAT \quad \text{Equação (13)}$$

Para cada veículo foi calculado o total e mensal do imposto, somando o valor anual em reais do IPVA, da Taxa de Licenciamento e o Seguro do veículo (*tabela 6*).

Tabela 6. Impostos para cada veículo

PLACA	IPVA	SEGURO	TAXA	TOTAL	MENSAL
	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$
CLU 9280	67.9	105.68	66.38	239.96	19.99
GPQ 6975	83.32	105.68	66.38	255.38	21.28
GSY 3253	92.33	105.68	66.38	264.39	22.03
GSY 3260	92.33	105.68	66.38	264.39	22.03
HBN 8537	991.38	105.68	66.38	1163.44	96.95
LDA 3509	97.19	105.68	66.38	269.25	22.44

6.3.5 Manutenção

A manutenção como custo fixo ocorre quando a empresa conta com oficina própria, a manutenção pode ser aplicada sobre veículos, equipamentos ou ambos, e é feita por pessoal com algum nível de qualificação que gera um custo fixo basicamente pelo salario que deve ser pago, ou seja, é função do tamanho e numero de funcionários, assim como do horário de trabalho destes. As vantagens de uma oficina própria são explicadas pelo fato da velocidade de atendimento e resolução de problemas dos veículos e equipamentos associados, mas também pode ser um ponto critico de saída de dinheiro se não fosse mantida sob controle, somado da necessidade de compra de equipamentos e adequação de uma área da empresa para tais fins. O calculo desta despesa pode ser explicado mediante a *equação 14*, onde Man_{fixa} é o custo da mão de

obra; n_{mec} é o numero de mecânicos; S_{mec} é o salario dos mecânicos; E são os encargos no valor de $(0,725 * S_{mec})$; n_c o numero de caminhões e finalmente C as comissões.

$$Man_{fixa} = \frac{n_{mec}(S_{mec} + E) + C}{n_c} \quad \text{Equação (14)}$$

A empresa forneceu o salário do mecânico (*tabela 7*), no valor apresentado já estão considerados os encargos sociais e comissões. O valor das peças e demais materiais utilizados para manutenção são considerados como custos variáveis, pois variam dependendo de problemas com os veículos.

Tabela 7. Salário do mecânico

	SALARIO
Mecânico	R\$1.397,50

6.3.6 Mão de obra

No referente a transporte do leite, a mão de obra está representada por motoristas e ajudantes, este item é resultante de salários, encargos sociais e benefícios (vale de alimentação, etc.). É função do numero de trabalhadores desta área e dos encargos e despesas que cada um destes gera. A *equação 15* descreve a composição mão de obra dentro dos custos fixos, onde MDO é a mão de obra de motoristas e ajudantes; S_m e S_c corresponde a mão de obra do motorista e do ajudante respetivamente; E os encargos sociais; C as comissões (R\$/mês), n_m e n_{Aj} o numero de motoristas e ajudantes e finalmente n_c o numero de caminhões.

$$MOD = \frac{n_m(S_m + E) + n_{Aj}(S_{Aj} + E) + C}{n_c} \quad \text{Equação (15)}$$

A *tabela 8* apresenta o gasto mensal com mão de obra, consta de motoristas, ajudantes e administrativos. Os salários dos motoristas são diferentes, mas para efeito do calculo foi utilizada a média. O salário dos dois ajudantes também é diferente, neste

caso também foi utilizada a média. Os valores apresentados já incluem os encargos sociais e comissões

Tabela 8. Salário de motoristas e ajudantes

MOTORISTA	SALARIO R\$
Motorista 1	1.229,80
Motorista 2	1.091,07
Motorista 3	1.091,07
Motorista 4	1.091,07
Motorista 5	1.091,07
Motorista 4	1.116,61
Motorista 6	1.443,00
Motorista 7	1.032,00
AJUDANTE	SALARIO
Ajudante 1	692,18
Ajudante 2	686,29

6.3.7 Seguros

Considerasse seguro a uma taxa anual paga pela empresa a uma seguradora por veículos e por cargas.

O seguro de veículos (S_v) e o seguro de equipamentos (S_e) podem ser considerados como um premio anual pago à seguradora para ressarcimento por eventuais sinistros que possam ocorrer com os veículos e equipamentos. Para o calculo deste premio anual, as seguradoras consideram o tipo de veículos e equipamentos, a importância segurada, o custo de apólice e o Imposto Sobre Operações Financeiras (IOF). Do ponto de vista do segurado, este valor representa um valor anual (prêmio), sendo reservado 1/12 por mês.

O Seguro de responsabilidade civil facultativa (Srcf) é também é considerado por Faria & Costa (2007) como outro custo de transporte, segundo os autores o Srcf é um prêmio anual de seguro, pago a uma seguradora, que visa à cobertura de eventuais danos materiais e/ou pessoais causados a terceiros. O prêmio anual é definido pelas seguradoras com base nos níveis de cobertura desejados para danos materiais e pessoais.

Para cada cobertura, há um prêmio anual que deve ser alocado 1/12 por mês. Para contabilizar a parcela mensal dos custos de seguros ao custo de transporte, utiliza-se 1/12 desse montante, conforme a *equação 16*.

$$\text{Seg} = \frac{S_v + S_e + S_{rcf}}{12} \quad \text{Equação (16)}$$

O laticínio paga um pacote de seguros que inclui: - Responsabilidade Civil (Veículos – Danos Materiais); Responsabilidade Civil (Veículos – Danos corporais); Responsabilidade Civil (Veículos – Danos Morais); Acidentes Pessoais p/passageiro (Morte); Acidentes Pessoais p/passageiro (Inv. Permanente). Não é feito pagamento de seguro de carga transportada (*tabela 9*).

Tabela 9. Seguro pago para cada veículo

VEÍCULO	PLACA	VALOR R\$	MENSAL
1	CLU 9280	1.744,97	145,41
2	GSY 3253	1.727,27	143,94
3	GSY 3260	1.479,22	123,27
4	GPQ 6975	1.670,52	139,21
5	HBN 8537	6.573,60	547,80
6	LDA 3509	2.431,00	202,58

6.4 CUSTOS VARIÁVEIS

6.4.1 Combustível

Segundo Gomes *et al.* (2005) após a crise do petróleo acontecida nos anos 70 e a crise de 2004, o elevado preço dos combustíveis fez com que estes tivessem participação mais expressiva nos custos de transporte. O combustível é o exemplo mais claro de custo variável, ele é diferente para cada caminhão, e o consumo está associado às condições de operação dos mesmos: ambiente (seco, chuva), condições das estradas (chão ou asfaltadas), estado do motor, pericia do motorista, etc.

O cálculo do custo mensal de combustível é descrito pela *equação 17*, onde Co é o custo mensal de combustível (R\$/mês); PC é o preço por litro de combustível; U é a

quilometragem media total mensal percorrida por todos os caminhões da frota; e finalmente d é a quilometragem media de todos os caminhões por litro.

$$Co = \frac{PC * U}{d} \quad \text{Equação (17)}$$

Na *tabela 10* são apresentados os custos em reais por quilômetro para cada caminhão. Este valor resulta do quociente entre o custo médio anual por litro (R\$/l) e o rendimento médio anual (km/L).

Tabela 10. Custo de combustível por quilometro

Veículo	Custo por R\$/km
1	0,65
2	0,67
3	0,59
4	0,85
5	0,52
6	0,52

6.4.2 Lavagem

Após cada ciclo de coleta e necessário fazer uma limpeza do tanque para evitar acumulação de material orgânico. O caminhão também deve ser lavado pelo menos uma vez por mês, duas vezes seria recomendável, mas na época de chuva pode ser lavado a critério da empresa, consideremos neste caso uma lavagem cada 15 dias. A *equação 18* apresenta o calculo do custo da lavagem, onde LAV representa o custo mensal de lavagem; V_n é o volume utilizado dos produtos; q_{soda} é a quantidade utilizada de soda; c_n é o custo de cada produto e L_{cam} é o custo da lavagem externa do caminhão que pode ser feita na empresa ou terceirizada.

$$Lav = 30 (V_{(H_2O)quente} * c_{(H_2O)quente} + q_{soda} * c_{soda} + V_{alizarol} * c_{alizarol}) + 2L_{caminhão} \quad \text{Equação (18)}$$

Na metodologia proposta, a lavagem dos caminhões é considerada um custo variável, mas o laticínio compra quantidades fixas mensais de produtos químicos de limpeza e paga uma quantidade fixa de água. Por tanto no cálculo dos custos a lavagem foi considerada um custo fixo, os valores são mostrados na *tabela 11*.

Tabela 11. Custo água de lavagem

	Água	Produtos de Limpeza
Valor R\$	1463,32	996,32

6.4.3 Lubrificantes

Está representado pelo óleo do motor e a transmissão do veículo, segundo Da Silva et al (2009), pode ser calculado multiplicando o preço de um litro de lubrificante pela capacidade do reservatório, e dividir o resultado pelo intervalo entre as trocas de óleo. Já para Magalhaes *et al.* (2009) o custo de lubrificantes pode ser calculado pela *equação 19*, onde *Lu* representa o custo com lubrificantes (R\$/mês); *Co* é o custo com combustível; e *Fc* é um fator de correção adotado pelas empresas segundo o estipulado por Beger et al (2003).

$$Lu = Co * Fc \quad \text{Equação (19)}$$

Corresponde ao custo em reais de óleo por km rodado, o laticínio compra óleo para os motores duas vezes por ano, trocando a cada 15.000 km (*tabela 12*).

6.4.4 Manutenção

Os custos variáveis associados à manutenção numa oficina própria estão representados basicamente pelas peças e acessórios. A *equação 20* representa a média mensal do custo anual.

Tabela 12. Custo com lubrificantes

Veículo	Custo por R\$/km
1	0,018
2	0,018
3	0,018

4	0,0183
5	0,0095
6	0,0183

$$Man_{var} = \frac{Peças + Acessórios + Outros}{12} \quad \text{Equação (20)}$$

Foi considerado um valor da manutenção de veículos similares (*tabela 13*) pois não foi possível achar informações sobre gasto com peças e outros itens de manutenção. A oficina funciona basicamente para troca de óleo, concertos de solda e problemas de baixa complexidade.

Tabela 13. Custo de manutenção

Veículo	Custo por R\$/km
1	0,14
2	0,14
3	0,14
4	0,14
5	0,14
6	0,14

6.4.5 Pneus

O custo com pneus pode ser calculado como se fosse uma depreciação (DA SILVA, 2009) utilizando como base a quilometragem no lugar do tempo. Para isso é necessário dividir o preço de um jogo de pneus (preço por unidade vezes numero de pneus do veículo) pela vida útil em quilômetros dos pneus. Para alongar a vida útil dos pneus, estes podem ser sometidos a varias recapagens, nesse caso basta somar ao preço de cada pneu o preço das sucessivas recapagens, multiplicando o resultado pelo numero de pneus e logo dividi-lo pela vida útil dos pneus levando em consideração as recapagens. E possível que, durante a vida útil dos pneus seja necessário fazer algum tipo de conserto devido a acidentes ou situações, então deve ser incluso este item dentro

do calculo. A *equação 21* representa os custos com pneus Pn ; Ppn é o preço de compra de pneus e acessórios; Pcn é o preço dos concertos e Pr é o preço do recapagem.

$$Pn = (Ppn + Pcn + Pr) \quad \text{Equação (21)}$$

Os pneus novos são utilizados por um período de três meses antes da primeira recapagem, logo apos três meses é feita uma segunda recapagem, que dura aproximadamente outros três meses. Isto quer dizer que um jogo de pneus é usado em total por nove meses antes de ser trocado definitivamente, segundo o pessoal do laticínio os pneus podem ser sometidos até uma quarta recapagem, mas não fica muito confiável e pode dar problemas. Os motoristas relatam que a vida útil dos pneus é muito variável e em ocasiões um pneu novo pode sofrer dano irreparável por causa de pedras afiadas, ferros, tocos, etc.

A *tabela 14* mostra os custos dos pneus em R\$/km.

Tabela 14. Custo com pneus

Veículo	Custo por R\$/km
1	0,24
2	0,22
3	0,23
4	0,33
5	0,19
6	0,18

6.4.6 Seguro do produto transportado

O seguro do produto transportado calcula-se multiplicando o volume transportado pelo custo de seguro de carga cotado pela asseguradora. A *equação 22* mostra o calculo deste custo onde V_{trans} é o volume transportado e c_{seg} o custo de seguro por volume.

$$S_{pt} = V_{trans} * c_{seg} \quad \text{Equação (22)}$$

O laticínio não faz pagamento de seguro de produto transportado

Na operação diária o laticínio enfrenta diferentes desafios na redução dos custos, por uma parte está a fábrica como tal, e por outro lado as operações de coleta de matéria prima e entrega de produto pronto. O presente trabalho é focado na coleta de leite cru a granel e para isto foram levantados os custos das rotas atuais.

6.5 Custos das rotas atuais do laticínio

As distâncias registradas no GPS foram usadas para calcular o custo de cada rota e de cada um dos dois dias de coleta. Com estas medidas foi construída uma matriz global de distância e algumas variações desta, usadas posteriormente no algoritmo de otimização.

Em função da coleta em dias alternados, o laticínio divide as rotas para dois dias, assim alguns pontos são coletados no dia 1 e outros no dia dois. As rotas 0 e 6 tem divididos seus pontos, de forma que é no primeiro dia é coletado o leite em nove dos treze pontos da rota zero e em quatro pontos da rota seis. E no dia seguinte os pontos restantes de cada uma dessas rotas. Na *tabela 15* são apresentados os caminhões com as suas respectivas rotas para cada dia de coleta.

Tabela 15. Caminhões e rotas

	Rota	Caminhão
Dia 1	Rota 0	CLU 9280 (1)
	Rota 1	GSY 3253 (2)
	Rota 3	GSY 3260 (3)
	Rota 4 e 5	HBN 8537 (5)
	Rota 6	LDA 3509 (6)
Caminhões e rotas (continuação)		
Dia 2	Rota 0	CLU 9280 (1)
	Rota 2	GSY 3253 (2)
	Rota 6	LDA 3509 (6)
	Rota 7	HBN 8537 (5)

O resultado dos custos das rotas atuais do laticínio é apresentado na *tabela 16*. Nas figuras 22 e 23 são apresentadas as rotas com seus respectivos valores comparados com o valor total de cada dia.

Tabela 16. Custo em Reais das rotas atuais do laticínio

	Rota	Custo em R\$	Numero de postos	Oferta (l)	R\$/l
Dia 1	Rota 0	233,26	9	3.180	0,073
	Rota 1	328,45	11	6.911	0,048
	Rota 3	327,79	6	7.444	0,044
	Rota 4 e 5	479,93	16	7.171	0,067
	Rota 6	131,47	4	1.780	0,074
	Total	1.500,91	46	26.486,56	0,057
Dia 2	Rota 0	245,80	4	3.800	0,065
	Rota 2	285,77	7	2.797	0,102
	Rota 6	129,27	4	2.820	0,046
	Rota 7	439,47	7	5.250	0,084
	Total	1.100,31	22	14.667	0,075

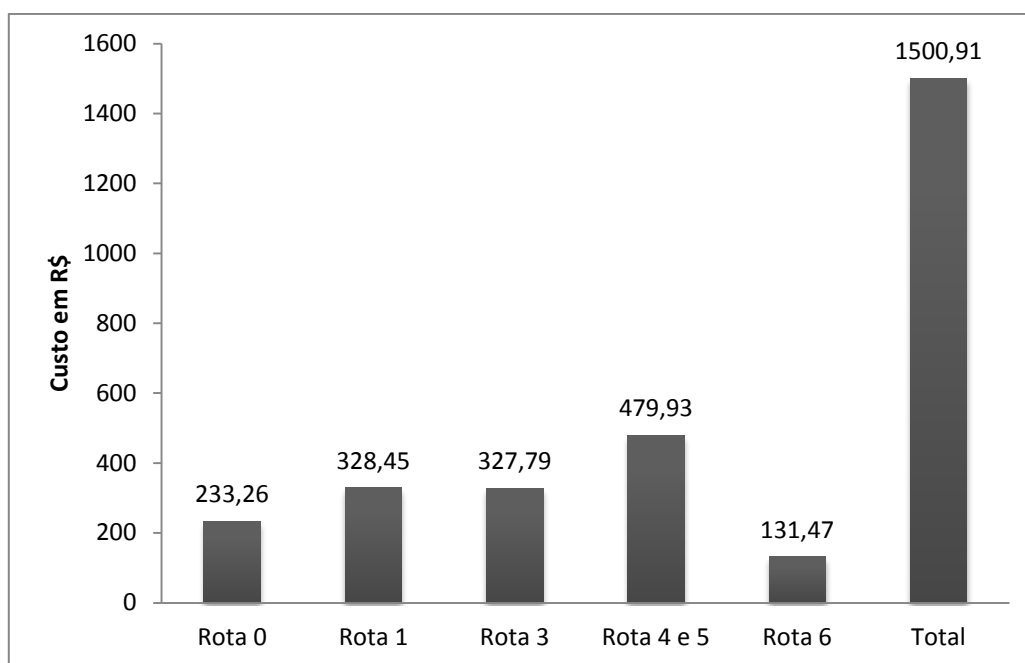


Figura 22 – Custo Atual Laticínio Dia 1

Fonte: autor

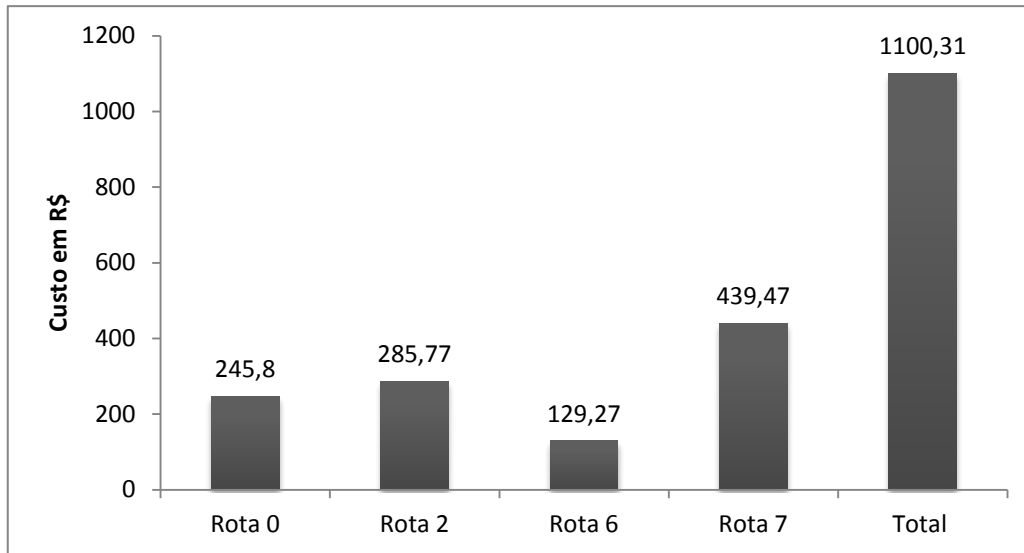


Figura 23 – Custo Atual Laticínio Dia 2
Fonte: autor

6.6 OTIMIZAÇÃO DA COLETA

Os dados coletados, assim como o algoritmo foram escritos na linguagem de programação do software cplex, que segundo Pimenta (2001) é uma ferramenta baseada no método Simplex para resolução de problemas de programação inteira que faz uso da técnica Branch and Bound, a qual consiste na ideia de desenvolver uma enumeração inteligente dos pontos candidatos à solução ótima inteira de um problema. Branch faz referência ao fato do método efetuar partições no espaço das soluções, e Bound pelo fato de buscar a otimização utilizando os limites calculados ao longo da enumeração.

Os testes foram realizados no laboratório de mestrado do departamento de informática, utilizado-se um computador equipado com processador Intel® Core i7™, com 18 GB de memória RAM e Windows 7 de 64 bits. O software usado foi o IBM ILOG CPLEX Optimization Studio Versão 12.5.

Foi usado como base da pesquisa o modelo de roteamento de uma indústria de laticínios proposto por Valle *et al.* (2010) pois resolve um problema de características similares ao processo abordado nesta pesquisa (Equação 23 a 33).

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{v=1}^{nv} (c_{ijv} x_{ijv} + c_f y_v) \quad \text{Equação (23)}$$

Sujeito a:

a) Somente um veículo chega e sai de cada nó:

$$\text{Chegada:} \quad \sum_{j=1}^n \sum_{v=1}^{nv} x_{ijv} = 1 \quad (i = 2, \dots, n) \quad \text{Equação (24)}$$

$$\text{Saída:} \quad \sum_{i=1}^n \sum_{v=1}^{nv} x_{ijv} = 1 \quad (j = 2, \dots, n) \quad \text{Equação (25)}$$

b) Todos os veículos que chegam a um ponto de coleta deve sair dele:

$$\sum_{i=1}^n x_{ilv} - \sum_{j=1}^n x_{l j v} = 0, \quad (l = 1, \dots, n)(v = 1, \dots, nv) \quad \text{Equação (26)}$$

c) Cada veículo, com a sua capacidade própria (frota heterogênea), não deve coletar mais do que sua capacidade:

$$\sum_{i=1}^n q_i \sum_{j=1}^n x_{ijv} \leq y_v Q_v \quad (v = 1, \dots, nv) \quad \text{Equação (27)}$$

d) A data da coleta deve ser superior à disponibilidade do produto:

$$s_{iv} \geq R_i, \quad (i = 1, \dots, n)(v = 1, \dots, nv) \quad \text{Equação (28)}$$

e) A soma da data da última coleta no nó j , com o tempo de processamento de coleta em j e com o tempo gasto no deslocamento entre o nó j e a base, deve ser menor que 48 (quarenta e oito) horas da data do primeiro produto disponível no caminhão v . Estas restrições advêm da necessidade de um produto ser coletado e entregue em até 48 (quarenta e oito) horas da disponibilização do produto.

$$s_{jv} + p_j + \left(\frac{D_{j1}}{v_m} \right) - M \sum_{k=0}^n (1 - x_{ikv}) \leq D_l + R_i \quad \text{Equação (29)}$$

$$(v = 1, \dots, nv)(i = 1, \dots, n)$$

- f) A data de início de processamento em um ponto de coleta j pelo caminhão v deve ser superior à distância percorrida entre i e j mais o tempo de processamento em i mais a data de início do processamento em i :

$$s_{jv} \geq s_{iv} + p_i + \frac{D_{ij}}{V_m} - M(1 - x_{ijv})$$

Equação (30)

$$(i = 2, \dots, n)(j = 2, \dots, n)(v = 1, \dots, nv)$$

- g) Todo veículo só deve passar em um dado ponto de coleta no máximo uma vez, portanto garante a não extrapolação da disponibilidade de veículos:

Chegada:
$$\sum_{j=1}^n x_{ijv} \leq 1, (i = 1, \dots, n)(v = 1, \dots, nv)$$

Equação (31)

Saída:
$$\sum_{i=1}^n x_{ijv} \leq 1, (j = 1, \dots, n)(v = 1, \dots, nv)$$

Equação (32)

- h) Proíbe a formação de sub-rota entre dois pontos de coleta:

$$x_{ijv} + x_{jiv} \leq y_v, (i = 1, \dots, n)(j = 1, \dots, n)(v = 1, \dots, nv)$$

Equação (33)

- i) Variáveis:

$$x_{ijv} \in \{0, 1\} \text{ e } y_v \in \{0, 1\}$$

$$s_{iv} \geq 0$$

O problema de roteamento abordado por Nogueira *et al.* (2010) consiste em: (i) **n**: número de postos de demandas (nós) a serem visitados pelos veículos, os quais partem e retornam a uma base (cidade, depósito); (ii) **V**: número de veículos; (iii) **q_i**: oferta de leite no produtor i , ou seja o que é coletado no nó i ; (iv) **Q_v**: capacidade do caminhão v , (v) **D_{ij}**: Distância em tempo do transporte do veículo entre os nós i e j ; (vi) **P_i**: tempo de processamento da coleta em cada ponto i ; (vii) **C_{ijv}**: Custo por unidade métrica de deslocamento do veículo v ; (viii) **C_v**: custo fixo da frota ser alocada a coleta (poderia ser alocada a distribuição); (ix) **M**: valor muito grande usado para zerar

variáveis na lógica matemática do modelo. (x) R_i : data de disponibilização de leite pelo produtor, (xi) D_i : tempo total máximo permitido pela rota; (xii) V_m : velocidade média do veículo em unidades métricas por unidade de tempo; (xiii) X_{ijv} : variável de decisão que define qual a sequência da viagem pelos nós, com $i, j = 1, 2, \dots, n$ para cada veículo v . (xiv) Y_v : variável de decisão que define se o veículo será utilizado ou não para o suprimento, (xv) S_{iv} : variável de decisão qual o tempo que o veículo v inicia o processo de coleta no produtor i . (xvi) **Minimizar o custo total do roteamento**: minimizar os custos fixos de alocação mais os custos variáveis relacionados ao deslocamento.

Os custos c_{ijv} e c_f da *equação 11* são os custos variáveis e custos fixos respectivamente, estes custos são individuais de cada veículo e foram calculados usando as equações a metodologia proposta por CORREIA *et al.* (2012) e Magalhaes *et al.* (2009), os quais são apresentados na seção de resultados.

6.7 CENÁRIOS

O análise de cenários não é um tema novo, mas vem ganhando cada vez mais força e se estabelecendo como uma alternativa segura frente às instabilidades e incertezas das projeções a médio e longo prazo (SOARES e FILARDI, 2004).

Na elaboração de cenários existem duas abordagens principais que podem ser consideradas: a abordagem projetiva e a abordagem prospectiva. A primeira é caracterizada por restringir-se a variáveis quantitativas, objetivas e conhecidas (explicar o futuro pelo passado) considerando o futuro como único e certo. A segunda abordagem é caracterizada por uma visão global com variações qualitativas, quantificáveis ou não, subjetivas ou não, conhecidas ou não, com ocorrência de futuro múltiplo e incerto, e uma análise intencional onde o avaliador pode utilizar variáveis de opinião tais como julgamentos, pareceres, etc. (ALMEIDA, 2001).

Foram criados diferentes cenários para medir a capacidade do laticínio e da frota de veículos em resolver diferentes situações. Foram rodados testes simulando alguns possíveis cenários, estes foram:

6.4.1 Aumento em 10 % e 20 % da oferta para os dias 1 e 2

O cenário de aumento na oferta de leite é atribuído principalmente por quatro motivos: o primeiro pode ser o aumento da produtividade do rebanho pelo melhoramento genético, o segundo o aumento de cabeças de gado do produtor, o terceiro pelo período de safra, finalmente o quarto pela adesão de produtores depositando leite como no caso de tanques de expansão comunitários ou de cooperativas.

6.4.2 Diminuição em 10 % e 20 % da oferta para os dias 1 e 2

Este cenário pode ser atribuído dentre outras causas, à mudança no uso do solo, isto acontece em regiões de alto custo de manutenção do rebanho onde os produtores trocam a pecuária leiteira por culturas que geram uma melhor renda. Outras causas atribuíveis à diminuição do leite ofertado podem ser o período de seca, doenças, falta de apoio governamental, baixo nível tecnológico dos produtores e mudança na propriedade da terra.

6.4.3 Rotas alternativas

As rotas alternativas são rotas que os veículos podem utilizar por diferentes motivos, dentre os quais destacam-se a redução dos custos de transporte por serem distâncias mais curtas, a substituição de alguma rota em mal estado de conservação, permitir o uso de veículos de tamanho diferente (algumas estradas e/ou pontes não suportam veículos que excedem a capacidade da estrada).

6.4.4 Otimização por setores

A proposta de otimizar por setores nasce da distribuição espacial das rotas observada no Google Earth. Foi possível perceber a existência de duas grandes regiões com concentração de pontos de coleta, uma delas à esquerda e outra à direita do laticínio. Assim os veículos podem coletar o leite de um setor em um dia, e no dia seguinte do outro setor.

6.4.5 Otimização eliminando pontos com pouca oferta

Devido à impossibilidade para rodar testes com muitos pontos, decidiu-se eliminar pontos com oferta de leite menor a 300 litros, assim o dia um passou de 46 para 36 pontos e o dia dois de 22 para 19 pontos.

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

É possível que por meio do uso de técnicas de otimização possam ser diminuídos os custos, e até o tamanho da frota de caminhões. Mas isso deve ser tratado com cuidado, pois pelas informações de motoristas e funcionários os problemas com os veículos podem acontecer com certa frequência, sobre tudo quando se tem veículos mais velhos. Nesses casos ter pelo menos um veículo de reserva pode ser de muita utilidade.

As possíveis rotas alternativas podem ser enxergadas a partir de fotos de satélite e tecnologias como o Google Earth, mas isto deve ser confirmado em terra, pois condições como o estado das estradas, estradas particulares de fazendas, córregos, pontes, etc. podem-se tornar impedimentos para o uso das mesmas.

Do ponto de vista da otimização de rotas de veículos, na atualidade é possível encontrar no mercado diferentes empresas que oferecem serviços deste tipo, mas para as pequenas empresas de laticínios pagar por tal serviço em ocasiões não compensa pelo pouco benefício obtido.

Analisando as informações coletadas foi possível perceber que a maioria dos tanques de expansão das fazendas tem capacidade maior à utilizada, mesmo a coleta sendo efetuada a cada dois dias a maioria dos tanques não utilizam o volume total útil. Nesse sentido seria interessante que os proprietários das fazendas melhorem as relações de cooperação e ajuda mútua com objetivo de diminuir custos de estocagem de leite cru.

Segundo informações recebidas de funcionários do laticínio, a frota de caminhões é abastecida em um único posto de combustível. Mas nunca avaliaram a possibilidade de comprar combustível em outro local e a compra direta de distribuidoras de forma a conseguir preço melhor por grandes volumes de compra.

Um dos principais inconvenientes da pesquisa foi o levantamento dos custos da frota, a organização das notas fiscais foi uma tarefa dispendiosa. Notas fiscais de combustível, peças e concertos em ocasiões careciam de uma identificação que as relacionara com o veículo, para tanto foi necessário distribuir o valor entre a frota toda. É aconselhável incluir nos custos fixos ou variáveis a retificação do motor, pois é uma operação que deve ser realizada a cada certa quantidade de tempo ou de quilômetros percorridos.

Recomenda-se a elaboração de planilhas impressas e eletrônicas para serem preenchidas com os custos dos veículos e logo ingressadas no sistema de forma imediata.

Também é aconselhável levar uma pasta para cada veículo onde sejam armazenadas as notas fiscais por data de serviço.

O problema abordado deve ser avaliado desde diferentes pontos de vista, o modelo usado foi originalmente desenvolvido e testado com poucos pontos, podendo rodar o modelo de forma fácil, roteirizando inclusive para mais de um dia. Já para um número maior de pontos o modelo apresentou algumas limitações, sobre todo respeito ao tamanho do problema, ficando impossível a resolução do modelo com certo número de dados.

Devido ao número de pontos de coleta do laticínio não foi possível rodar o modelo completo para dois dias juntos, também não foi possível rodar o modelo para o dia um de coleta das rotas do laticínio, pois o número de pontos era grande, não entanto pelo fato da coleta ser dividida em dois dias foi possível realizar alguns cenários cujos resultados foram apresentados anteriormente.

Incluir nos custos fixos ou variáveis a retificação do motor, pois é uma operação que deve ser realizada a cada certa quantidade de tempo ou de quilômetros percorridos.

7.1 Custos das rotas otimizadas do laticínio

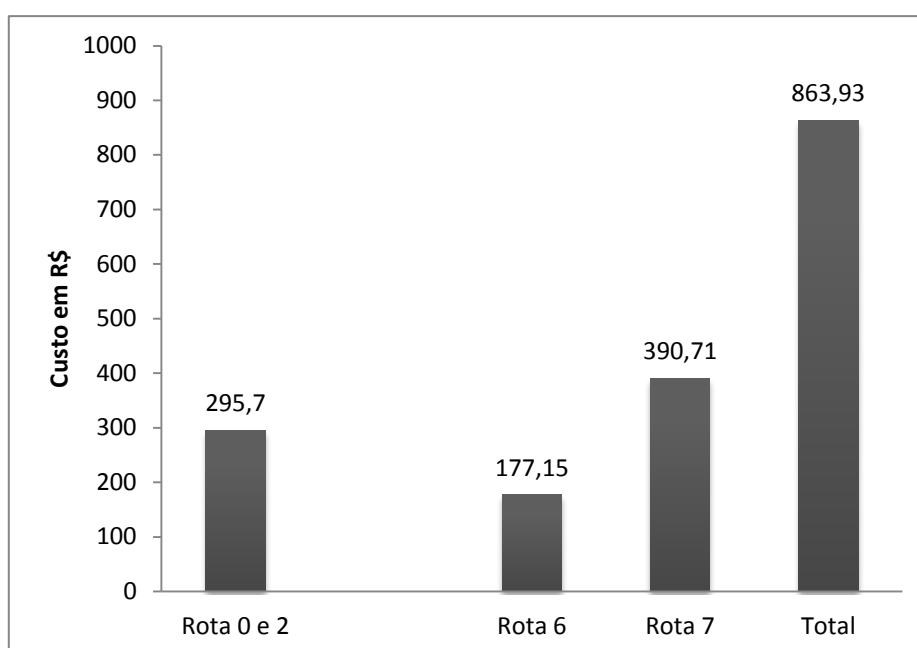
As rotas originais do laticínio foram otimizadas seguindo a metodologia proposta. Testes prévios foram realizados para comprovar o funcionamento do algoritmo de programação, foram realizados testes para duas horas, logo para três horas, o resultado mostrou pouca variação de duas para três horas, logo optou-se por realizar os testes para um tempo de duas horas.

Foi rodado o algoritmo para um período de tempo estabelecido de 2 horas para os dois dias (*tabela 17*). Para o dia 1 e um período de 2 horas não foi achada nenhuma solução factível.

Já para o dia 2 e um período de 2 horas foi encontrada uma solução com uma redução considerável dos custos (*tabela 17, figura 24*).

Tabela 17. Custo das rotas otimizadas do laticínio

	Rota	Custo em R\$	Numero de postos	Oferta (l)	R\$/l
Dia 1	Rota 0	Sem resultado	9	3.180	-
	Rota 1	Sem resultado	11	6.911	-
	Rota 3	Sem resultado	6	7.444	-
	Rota 4 e 5	Sem resultado	16	7.171	-
	Rota 6	Sem resultado	4	1.780	-
	Total	Sem resultado	46	26.486,56	-
Dia 2	Rota 0 e 2	295,70	11	6.597	0,045
	Rota 6	177,15	4	2.820	0,063
	Rota 7	390,71	7	5.250	0,074
	Total	863,93	22	14.667	0,060

**Figura 24** Coleta Otimizada Dia 2

Fonte: autor

Comparando o dia 2 e o dia 2 otimizado (*figura 25*), A diminuição nos custos do dia dois foi de R\$ 236,38 (21,48 %), o número de veículos usados passou de quatro para três. Isto gera uma redução nos custos a cada dois dias o que significa R\$ 43.139,35 por ano.

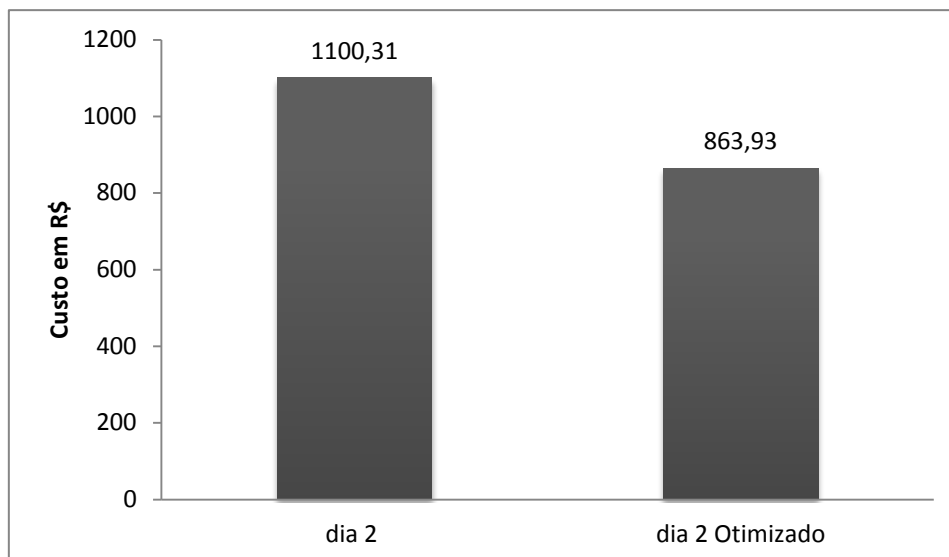


Figura 25 – Comparação de custo entre Dia 2 e Dia 2 otimizado
Fonte: autor

Para tentar resolver a falta de uma solução no dia 1 decidiu-se dividir este dia em dois setores. O Setor 1 com 24 pontos e o Setor 2 com 22 pontos. Foi considerada a proximidade geográfica como critério para esta divisão, o resultado é apresentado na *tabela 18*,

Tabela 18. Custo dia 1 por setores

	Setor	Custo em R\$	Numero de postos	Oferta	R\$/l
Dia 1	1	673,23	24	11.871	0,057
	2	812,37	22	14615	0,056
Total		1.485,6	46	26.486,56	0,056

O resultado de dividir o dia um em dois setores mostrou uma diminuição nos custos de 1,02 % (*figura 26*). Além disso o veículo 3 foi selecionado para trabalhar nos dois setores no mesmo dia. Embora isso pareça um problema, o veículo 2 não foi selecionado, e possuindo as mesmas características que o veículo 3 pode ser usado um ou outro.

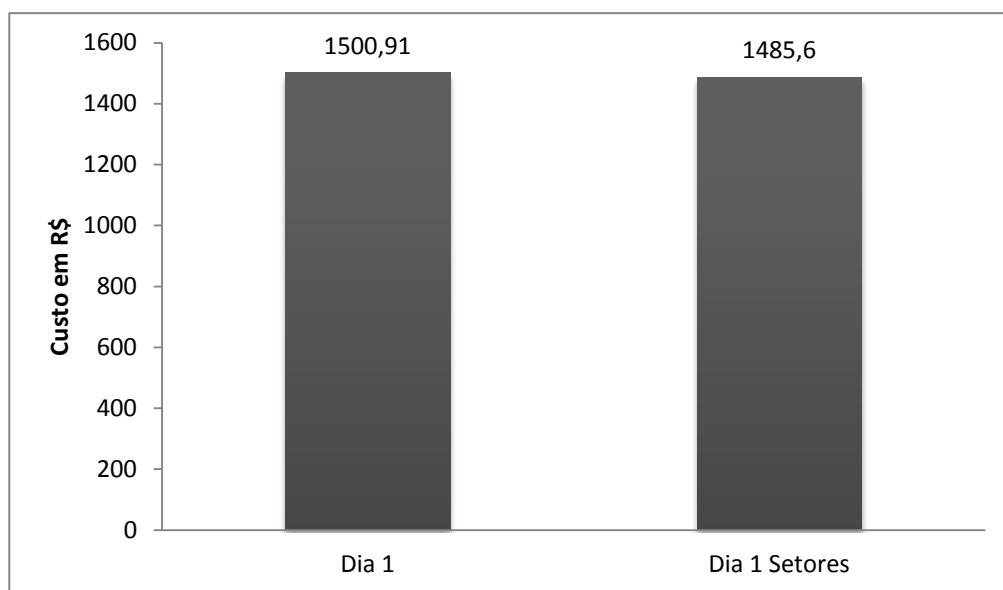


Figura 26 – Comparação de custo entre dia 1 e dia 1 por Setores
Fonte: autor

7.2 Aumentos na produção de 10 e 20 %, dias 1 e 2

O cenário de aumento na oferta de leite é atribuído principalmente por quatro motivos: o primeiro pode ser o aumento da produtividade do rebanho pelo melhoramento genético, o segundo o aumento de cabeças de gado do produtor, o terceiro pelo período de safra, finalmente o quarto pela adesão de produtores depositando leite como no caso de tanques de expansão comunitários ou de cooperativas. A *tabela 19* mostra os resultados após duas horas de teste para aumentos de 10 e 20 % no volume de leite captado.

7.3 Queda na produção de 10 e 20 %. dias 1 e 2

A queda na quantidade de leite oferecida pode ser atribuída, dentre outras causas, à mudança no uso do solo, isto acontece em regiões de alto custo de manutenção do rebanho onde os produtores trocam a pecuária leiteira por culturas que geram uma melhor renda. Outras causas atribuíveis a diminuição do leite ofertado podem ser o período de seca, doenças, falta de apoio governamental, baixo nível tecnológico dos produtores e mudança na propriedade da terra. A *tabela 20* mostra os resultados obtidos após duas horas de teste para quedas de 10 e 20 %.

Tabela 19. Custo das rotas otimizadas com aumento na produção 10 e 20 %

	Rota	Custo em R\$	Numero de postos	Oferta (l)	R\$/l
Dia 1 +10 % 2 horas	Todas	Sem resultado	46	29.136	-
Dia 2 +10 % 2 horas	Todas	863,79	22	16.134	0,053
Dia 1 +20 % 2 horas	Todas	Sem resultado	46	31.784	-
Dia 2 +20 % 2 horas	Todas	863,79	22	17.600	0,050

Tabela 20 - Custo das rotas otimizadas com queda na produção 10 e 20 %

	Rota	Custo em R\$	Número de postos	Oferta (l)	R\$/l
Dia 1 -10 % 2 horas	Todas	Sem resultado	46	23.838	-
Dia 2 -10 % 2 horas	Todas	863,79	22	13.200	0,065
Dia 1 -20 % 2 horas	Todas	Sem resultado	46	21.190	-
Dia 2 -20 % 2 horas	Todas	863,79	22	11.734	0,074

7.4 Otimização por setores

A *figura 27* mostra a distribuição dos pontos de coleta no mapa e justifica a ideia de separar a otimização por setores pois é evidente agrupação de pontos

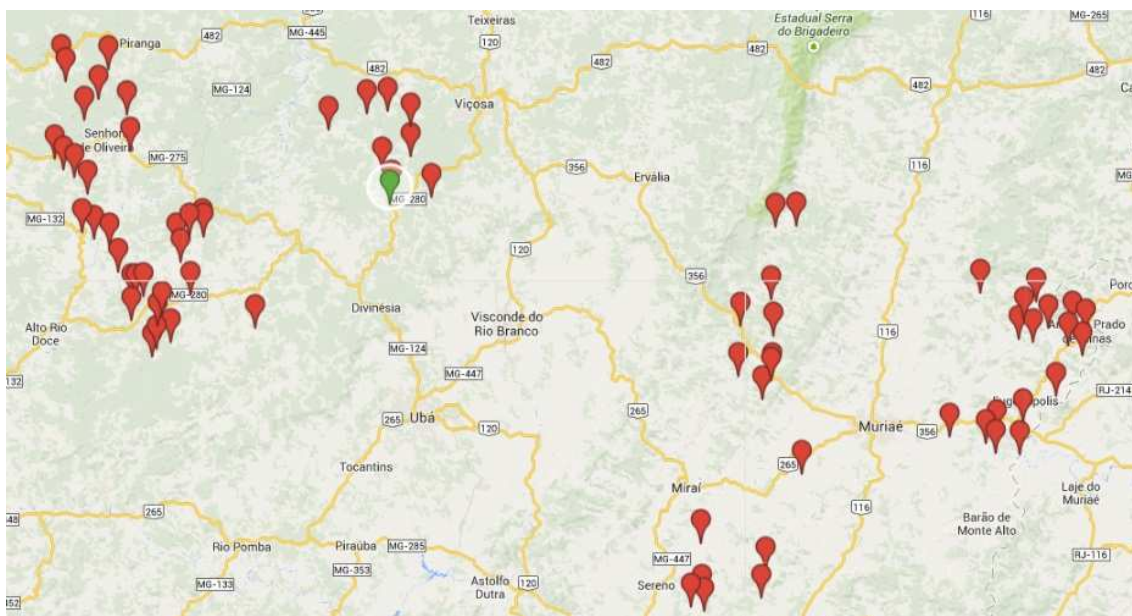


Figura 27 – Agrupação de pontos formando setores
Fonte: autor

A distribuição anterior deixa o primeiro setor com 40 pontos incluindo o laticínio e o setor dois com 30 incluindo o laticínio. Na *tabela 21* são apresentados os valores para este cenário.

Tabela 21. Custo das rotas otimizadas por setores por dia.

	Custo R\$
Sector 1	Sem resultado
Sector 2	1.287,02

7.5 Otimização com rotas Alternativas

As rotas alternativas apresentam um desafio para a otimização do problema. Segundo os dados fornecidos pelo motorista mais experiente do laticínio, são usadas poucas rotas alternativas cujos estados de conservação geralmente são ruins, mas quando necessário acabam sendo a única alternativa. Foi informado que, na época das chuvas, há ocasiões em que é preciso o uso de tratores para puxar os carros ou até mesmo para realizar a coleta do leite.

As *figuras 28 a 33* mostram as rotas alternativas usadas na atualidade e a *tabela 22* mostra os custo com as rotas alternativas otimizadas.



Figura 28 - Alternativas 0.4 e 0.8 para 0.9
 Fonte: autor



Figura 29 - Alternativa 1.2 para 1.3
 Fonte: autor

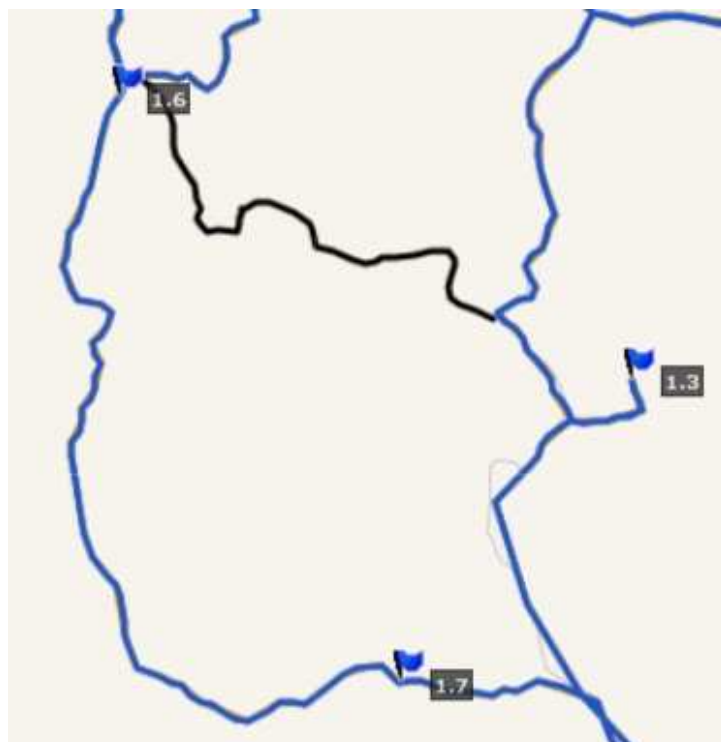


Figura 30 - Alternativa 1.6 para 1.3
Fonte: autor



Figura 31 - Alternativa 4.13 para 5.4
Fonte: autor



Figura 32 - Alternativa 4.11 para 4.7
Fonte: autor



Figura 33 - Alternativa 7.4 para 7.5
Fonte: autor

Tabela 22. Custo das rotas alternativas otimizadas

	Rota	Custo em R\$	Numero de postos	Oferta (l)	R\$/l
Dia 1	Rota 0	Sem resultado	9	3.180	-
	Rota 1	Sem resultado	11	6.911	-
	Rota 3	Sem resultado	6	7.444,04	-
	Rota 4 e 5	Sem resultado	16	7.171,52	-
	Rota 6	Sem resultado	4	1.780	-
	Total	Sem resultado	46	26.486,56	-
Dia 2	Rota 0 e 2	295	11	6.597	0,045
	Rota 6	129,3	4	2.820	0,046
	Rota 7	430,3	7	5.250	0,082
	Total	855,6*¹⁰	22	14.667	0,058

Para as rotas alternativas também foram realizados testes dividindo o dia em dois setores, os resultados obtidos são apresentados na *tabela 23*, os trechos que foram considerados rotas alternativas são apresentados no anexo III.

Tabela 23. Rotas alternativas dia 1 por setores

	Setor	Custo em R\$	Numero de postos
Dia 1	1	655	24
	2	Sem resultado	22
Total		Sem resultado	46

Na operação de coleta com rotas otimizadas, no dia 1 o teste não deu resposta. No dia 2 é possível observar que houve uma diminuição nos custos usando as rotas alternativas, mesmo sendo pouco o valor caiu de R\$ 863,93 para R\$ 855,27, uma diminuição R\$ 8,66 (1,0024 %) a cada dois dias, ou R\$ 1.576,12 por ano.

Já as rotas alternativas do dia 1 por Setores temos que no dia 1 Setor 1 passou de R\$ 673,23 para R\$ 654,99 (2,70 %), uma diminuição de R\$ 18,24 a cada dois dias, ou R\$ 3319,68 por ano.

No dia 1 setor 2 o teste não forneceu nenhuma resposta.

¹⁰ O valor calculado a mão foi de R\$ 854,60 ligeiramente diferente por serem cálculos manuais enquanto o valor reportado foi por testes computacionais

7.6 Otimização eliminando pontos com pouca oferta

Com eliminação de pontos com oferta de leite menor a 300 litros, o dia um passou de 46 para 36 pontos e o dia dois de 22 para 19 pontos. Foram rodados testes para os dias um e dois obtendo os seguintes resultados (*tabela24*).

Tabela 24. Rotas com oferta ≥ 300 l

	Rota	Custo em R\$	Numero de postos	Oferta (l)	R\$/l
Dia 1	Rota 0	Sem resultado	4	2.230	-
	Rota 1	Sem resultado	11	6.911	-
	Rota 3	Sem resultado	5	7.202	-
	Rota 4 e 5	Sem resultado	11	6.393	-
	Rota 6	Sem resultado	4	1.780	-
	Total	Sem resultado	35	24.516	-
Dia 2	Rota 0 e 2	291,26	9	6.190	0,047
	Rota 6	129,88	4	2.820	0,046
	Rota 7	431,72	5	4.950	0,087
	Total	852,26¹¹	18	13.960	0,061

Novamente para o dia um não foi possível obter uma resposta procedeu-se a efetuar o teste para o dia 1 por setores eliminando pontos com oferta inferior a 300 l (*tabela 25, figura 34*).

Tabela 25. Dia 1 por setores oferta ≥ 300

	Setor	Custo em R\$	Numero de postos
Dia 1	1	652,49	19
	2	798,37	16
Total		1450,86	35

¹¹ O valor calculado a mão foi de R\$ 852,86 ligeiramente diferente por serem cálculos manuais enquanto o valor reportado foi por testes computacionais

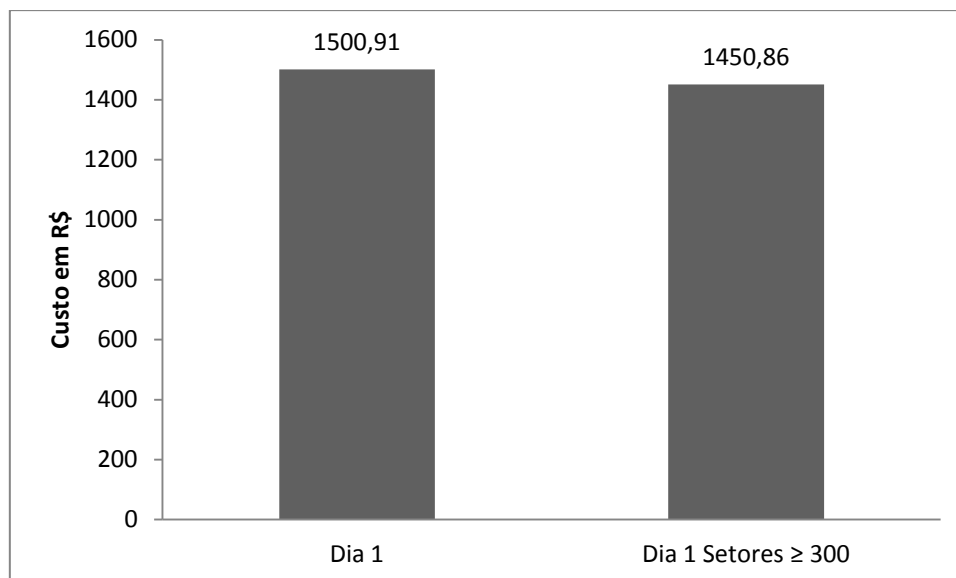


Figura 34 – Comparação custo dia Atual 1 e dia 1 setores ≥ 300 l

Fonte: autor

Fazendo a comparação do dia 1 atual e o dia 1 setores ≥ 300 l o resultado mostra uma diminuição nos custos de R\$ 9.109,1 ao ano com coleta a cada dois dias. Mas olhando desde outra perspectiva passou de 26.486 litros para 24.516 litros, uma diferença de 1970 litros de leite que deixariam de ser coletados por uma economia de R\$ 50.

A melhor solução apresentada pelo estudo para o dia 2 de coleta foi dia 2 rotas alternativas, que permite uma redução anual de R\$ 44.537 colhendo o leite de dois em dois dias.

Para o dia 1, a melhor solução obtida foi dia 1 por Setores eliminando pontos com oferta inferior a 300 l, neste caso a redução dos custos foi de R\$ 9.109 por ano, mas deve ser levado em consideração que uma pequena diminuição nos custos tira da rota uma quantidade considerável de leite, cujo preço por litro transportado seria de 0,025 R\$/l.

É possível observar que as soluções para os diferentes dias correspondem a testes diferentes por tanto a solução sugerida é: rota otimizada dia 2 + rota otimizada dia 1 por setores que permite uma redução anual de R\$ 47.323,42 respeitando o número de postos, embora seja possível combinar os testes segundo critérios pessoais do encarregado da roteirização.

No referente a custo por litro, a otimização por *Rotas Alternativas* apresento o menor valor com R\$ 0,058 para o dia 2, já o dia 1 por setores apresentou o menor valor com R\$ 0,056.

Na *tabela 26* apresenta uma comparação entre as rotas atuais, otimizadas, alternativas e com oferta superior a 300 litros.

Tabela 26 – Comparativo rotas atuais, otimizadas, alternativas e oferta ≥ 300 l

		Atuais		Otimizada		Alternativa otimizada		oferta ≥ 300 l	
		R\$	R\$/l	R\$	R\$/l	R\$	R\$/l	R\$	R\$/l
Dia 1	Rota 0	233,26	0,073	-	-	-	-	-	-
	Rota 1	328,45	0,048	-	-	-	-	-	-
	Rota 3	327,79	0,044	-	-	-	-	-	-
	Rota 4 e 5	479,93	0,067	-	-	-	-	-	-
	Rota 6	131,47	0,074	-	-	-	-	-	-
	Total	1.500,91	0,057	-	-	-	-	-	-
Dia 2	Rota 0	245,8	0,065	295,7	0,045	295	0,045	291,26	0,047
	Rota 2	285,77	0,102						
	Rota 6	129,27	0,046	177,15	0,063	129,3	0,046	129,88	0,046
	Rota 7	439,47	0,084	390,71	0,074	430,3	0,082	431,72	0,087
	Total	1.100,31	0,075	863,93	0,06	855,6	0,058	852,26	0,061

Na tabela anterior pode ser observada a diferença nos custos para o segundo dia de coleta das rotas atuais, otimizadas, alternativas otimizadas e com oferta maior ou igual a 300 litros.

O custo total das rotas percorridas no dia 2 foi de R\$ 1.100,31, para o mesmo dia o valor total das rotas otimizadas foi de R\$ 863,93. Isto é 21,5 % menor do que o valor do custo total atual. O custo total utilizando as rotas alternativas otimizadas foi de 855,6. Isto é 22,2 % menor do que o valor do custo total atual e finalmente o custo total coletando leite em pontos com oferta superior a 300 litros foi de R\$ 852,26, isto é 22,5 % menor do que o valor do custo total atual.

Pensar ia-se que a melhor opção é a que tem pontos de coleta acima de 300 litros por ser a de menor custo total, mas estas informações devem ser estudadas cuidadosamente, pois das opções otimizadas é a de maior valor por litro transportado.

Na *tabela 27* são comparados os valores dos custos atuais, otimizados, aumento e diminuição de 10 e 20 % e os custos por setores. É possível observar que embora o custo em reais para o dia 2 não muda com o aumento ou diminuição do volume coletado, o preço por litro sim. Diminuindo durante o aumento e aumentando quando o volume coletado cai, isto é importante, pois quanto menor for o preço por litro transportado o laticínio tem um ganho maior.

Tabela 27 - Comparativo rotas atuais, otimizadas, aumento, diminuição e setores

		Dia 1		Dia 2	
		R\$	R\$/I	R\$	R\$/I
Atual		1.500,91	0,057	1.100,31	0,075
Otimizada		-	-	863,93	0,06
Otimizada	+ 10 %	-	-	863,79	0,053
Otimizada	+ 20 %	-	-	863,79	0,05
Otimizada	- 10 %	-	-	863,79	0,065
Otimizada	- 20 %	-	-	863,79	0,074
Setor 1			-		
Setor 2		1.287,02			

8. CONCLUSÃO

Conclui-se que o modelo matemático empregado na otimização funcionou bem nos testes com numero reduzido de pontos, fornecendo um valor exato em um período de tempo relativamente curto, assim como uma considerável redução dos custos.

A importância do modelo matemático usado radica na sua possibilidade de aplicação a um problema real de roteamento de veículos em uma indústria de laticínios, pois considera algumas restrições específicas do setor. Também é importante ressaltar o trabalho foi realizado com dados primários coletados diretamente na fonte, o qual contribui com resultados reais ao setor.

Desde o ponto de vista da sua aplicação pratica, o trabalho não pode ser empregado diretamente nos laticínios, pois a modelagem matemática e o tratamento dos dados tem elevado grau de dificuldade, porém o modelo pode ser utilizado como base para o desenvolvimento de uma heurística que permita soluções próximas à solução ótima, mas com um ambiente de trabalho que facilite a operação pelos funcionários das empresas.

Podou-se confirmar que os métodos exatos são de pouca utilidade quando usados diretamente em problemas reais de larga escala, contudo foi de grande importância confirmar que o modelo roda corretamente, ainda mais tratando-se de um modelo aplicado à indústria de laticínios.

Pesquisas futuras podem ser encaminhadas na criação de uma heurística que atenda as restrições do modelo e possa ser usada com grande numero de pontos de coleta.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, C.; OLIVEIRA, D. **Roteamento do veículo de coleta de leite da Laticínios UFV**. Trabalho de conclusão de curso de Engenharia da Produção – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

ALMEIDA, M. **Métodos de Elaboração de Cenários que são Interligados às Abordagens Técnicas do Planejamento Estratégico**. USP, 2001. Disponível em: <<http://www.ead.fea.usp.br/eadonline/grupodepesquisa/publica%C3%A7%C3%B5es/martinho/21.pdf>> Acesso em: 11/05/2014.

ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H. **Pesquisa Operacional**. Elsevier, Rio de Janeiro, 2007.

BALLOU, R. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial**. Porto alegre: Bookman, 2006.

Banco central do brasil. **Taxa Selic diária**. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br/?SELICDIA>> Acesso em: 11/04/2013.

BAZET FILHO, T.; DO PRADO, R.; DA SILVA, M. **Logística de transporte na coleta do leite líquido a granel: estudo de caso em uma indústria multinacional**. XIV SIMPOI – FGV EAESP – Anais, São Paulo, 2011.

BRESSAN, I.; HARAMITA, R.; DA COSTA, S. **Sistema de otimização e alocação de usuários a veículos fretados**. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Anhembimorumbi, São Paulo, 2010.

CARDOSO, S. **Optimização de Rotas e da Frota Associada: O Caso da A. A. Silva**. Universidade Técnica de Lisboa, Dissertação, 2009.

Código de trânsito brasileiro, cap. xii art 131, disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/ctb.htm>>, acesso em: 20/11/2012.

Centro de estudos avançados em economia aplicada (CEPEA- ESALQ/USP), disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br/leite/?page=164>>

CORREIA, L.; PINTO, A.; PEREZ, R.; ALVES, M.; CARVALHO, A. **Custos de coleta de leite e avaliação da eficiência em indústrias de laticínios**. Rev. Inst. Latic. Cândido Tostes, v. 67, n. 388, p. 15-24, 2012.

COSTA, A. **Introdução aos Conceitos de Problemas de Transporte e Roteamento de Veículos**. XXVI S.A.M. – UNIOESTE/ Campus Cascavel, Cascavel, 2012. Disponível em: <<http://projetos.unioeste.br/cursos/cascavel/matematica/xxivsam/Artigos.html>>. Acesso em: 12/04/2013.

DA SILVA, A.; MARTINS, D.; MARTINS, M. **Comparação dos custos de transporte de plantas e flores das propriedades rurais até o ponto de venda utilizando frota própria e terceirizada**. V EMPRO, Viçosa –MG, 2009.

DA SILVA, I.; REIS, R.; GOMES, M. **Custos e otimização de rotas no transporte de a latão e a granel: um estudo de caso**. Organizações Rurais & Agroindustriais, Lavras, v.2, n. 1, 2000.

DAUNTLESS-SOFT, 2014. Disponível em: <<http://www.dauntless-soft.com/PRODUCTS/Freebies/Library/books/AK/8-2.htm>>. Acesso em: 10/03/2014.

DAZA, J. M.; MONTOYA, J. R.; NARDUCCI, F. **Resolución del Problema de Enrutamiento de Vehículos con Limitaciones de Capacidad Utilizando un Procedimiento Metaheurístico de Dos Fases**. Revista EIA, n. 12, p. 23 -38, 2009.

DE SOUZA, J.; CORRÊA, C.; SAMPAIO, R. **Coordenação logística no segmento processador da cadeia do leite na região noroeste do Paraná**. In: 30º encontro da ANPAD, Salvador – BA, 2006.

DENARDIN, A. A. **A Importância do Custo de Oportunidade para a Avaliação de Empreendimentos Baseados na Criação de Valor Econômico (*Economic Value Added* – EVA)**. ConTexto, Porto Alegre, v. 4, n. 6, 2004.

FERREIRA, A. P.; SANTOS, A. C. **Gestão do Processo de Captação de Leite: Um Estudo de Caso na Cooperativa Agrícola Alto Rio Grande Ltda. (CAARG)**. Organizações Rurais & Agroindustriais, Lavras, v. 12, n. 1, p. 46-55, 2010.

FONSECA, A.; SILVA, E. **Planejamento do sistema logístico de distribuição de leite**. Cadernos do CEAM (UnB), Brasília, v. 20, p. 11-27. 2005.

GALVÃO, R.; NETO, J.; FERREIRA FILHO, V.; HENRIQUES, H. **Roteamento de veículos com base em sistemas de informação geográfica**. Gestao & Produção, v. 4, n. 2, p.159-174, 1997.

GHISI, M. A.; CONSOLI, M. A.; MARCHETTO, R. M.; NEVES, M. F. **Usos e Benefícios de Softwares de Roteirização na Gestão de Transportes**. In: VII SEMEAD – FEA/USP, São Paulo, 2004.

GOMES, M. J.; PALHANO, A. W.; SILVA, I. C. **Uma avaliação de Modelos de Cadeias Logísticas de Entrega de Jornais a Assinantes e Coleta de Leite a Granel**. Revista Produção On-Line – Universidade de Santa Catarina, Florianópolis – SC, v.5, n. 1, 2005.

GONÇALVES, L. **Heurísticas GRASP para um problema de roteamento periódico de veículos**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2005.

GUIMARAES, G.; PACHECO, R. **Análise da viabilidade do uso de um software de roteirização de veículos em uma empresa agroindustrial**. XXV ENEGEP, Porto Alegre, RS, p. 770-777, 2005.

HEINEN, M. **Análise e implementação de algoritmos para o roteamento de veículos**. IV SIRC/RS – Anais, Santa Maria/RS, 2005.

HEINEN, M.; OSORIO, F. **Algoritmos genéticos aplicados ao problema de roteamento de veículos**. Uruguiana, v. 30, n. 58, 2006.

IBGE, (2011), Estados – Minas Gerais, disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/temas.php?sigla=mg&tema=pecuaria2011>>, acesso em: 05/04/2013.

IBGE, (2013), Cidades – Paula Cândido. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>, acesso em: 05/04/2013.

IBGE, (2013), Cidades – Paula Cândido – mapas. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/cartograma/mapa.php?uf=31&codMun=314830&tema=prodpec2011&codv=v15&tituloTema=Pecu %E1ria&titulo=Leite %20de %20vaca>>

%20- %20produ %E7 %E3o %20- %20quantidade&unidade=Mil
%20litros&legenda=Source %3A %20IBGE %2C %20Produ %E7 %E3o %20da
%20Pecu %E1ria %20Municipal %202011. %20Rio %20de %20Janeiro %3A
%20IBGE %2C %202012. %20 %0D %0A NOTE %201 %3A %20Zero %20is
%20attributed %20to %20the %20values %20of %20municipalities %20where %2C
%20by %20rounding %2C %20the %20totals %20do %20not %20reach %20the
%20unit %20of %20measure. %20 %20 %0D %0A NOTE %202 %3A %20The
%20expression %20 %3Cb %3E not %20existent %3C %2Fb %3E %20 %20datum
%20is %20attributed %2C %20in %20the %20cases %20in %20which %20there %20is
%20no %20occurrence %20of %20the %20variable %20in %20the %20municipality.
%20 %20 %20 %20 %20 %0D %0A &lang=>. Acesso em: 12/04/2013.

INTERNATIONAL FOREIGN TRADE, **Configurações de caminhões**. Disponível em: <<http://www.internationalforeigntrade.com/page.php?aid=76>>, Acesso em: 01/04/2013.

LOGÍSTICA DESCOMPLICADA. **Serie pesquisa operacional – problema do caixeiro viajante**. Disponível em: <[http://www.logisticadescomplicada.com/serie-pesquisa-operacional- %E2 %80 %93-problema-do-caixeiro-viajante/](http://www.logisticadescomplicada.com/serie-pesquisa-operacional-%E2%80%93-problema-do-caixeiro-viajante/)>. Acesso 01 de abril de 2013.

LEMONS, G. **Otimização de rotas rodoviárias utilizando o algoritmo de Dijkstra e a API do Google Maps**. TCC – Especialização, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2009.

MAGALHAES, E.; PEREZ, R.; PROCACI, I.; MARTINS, D.; MUGLIA, T. **Quantificação dos custos de transporte rodoviário da coleta de leite em tanques de expansão à indústria de laticínios**. In: INGEPRO, v.1, n. 3, p. 54-62, 2009

MALAGUIAS, N. Uso dos algoritmos genéticos para a otimização de rotas de distribuição. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, 2006.

MAPA – Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Instrução Normativa N° 51 de 18 de Setembro de 2002. Disponível em:
<<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=8932>>. Acesso em: 07/11/2012.

MARTINS, R. S.; LOBO, D. S.; ROCHA JUNIOR, W. F.; OLIVEIRA, H. F. **Desenvolvimento de uma Ferramenta para a Gestão da Logística da Captação de Leite de uma Cooperativa Agropecuária.** Gestão & Produção, v.11, n.3, p.429-440, 2004.

Ministério dos Transportes - BIT Sistema de Informações Geográficas. Disponível em: <<http://www2.transportes.gov.br/bit/01-inicial/sig.html>>. Acesso em: 06/12/2012

MIURA, M. **Modelagem Heurística no Problema de Distribuição de Cargas Fracionadas de Cimento.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Logísticos) - Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVISTAR-GPS: Descrição, fundamentos e aplicações.** São Paulo, Editora UNESP, 2000.

NETO, J. L. C; PASSOS, E. S; GOMES, A. P. A; SILVA, A. **Gestão de Custo: Análise do custo de oportunidade e do valor econômico agregado (EVA) na tomada de decisão de curto prazo.** XIII SIMPEP, Bauru, SP, 2006.

PIMENTA, D. **Algoritmo de Otimização para o Problema de Roteamento de Veículos no Transporte Conjunto de Cargas e de Passageiros.** Dissertação mestrado – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.

RECEITA FEDERAL, **Depreciação de bens do ativo imobilizado.** Disponível em: <<http://www.receita.fazenda.gov.br/pessoajuridica/dipj/2005/pergresp2005/pr360a373.htm>>. Acesso em 10/04/2014.

REZENDE, D; BORGES JUNIOR, A. **Trajetórias tecnológicas na coleta de leite: o caso CAARG.** Cad. Adm. Rural, Lavras, v. 10, n. 2, 1998.

ROCHA, M.; RAGGI, L.; SANTOS, H. **INF-280 Pesquisa Operacional I,** Departamento de informática, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2005.

SALAS, Y.; LEDÓN, R.; OSÉS, C.; MACHAD, N. **Asistencia decisional en el proceso de optimización para el enrutamiento de vehículos.** Ingeniería industrial, v. 31, n. 1, La Habana – Cuba, 2010.

SANT'ANNA, D, **Análise de viabilidade e risco de implantação da coleta de leite a granel**. Dissertação de mestrado – programa de pós-graduação em ciência e tecnologia de alimentos – UFV, Viçosa, 2000.

SANTOS, A. **Método de geração de colunas e meta-heurísticas para alocação de tripulação**. Tese doutorado – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

SANTOS, R. **Aplicação do custo de oportunidade às decisões de preço de venda sob o enfoque do custeio direto**, IV Congresso Internacional de Custos, Universidade Estadual de Campinas, 1995.

SARTORI JUNIOR, I. R.; CECHIN, A. L. **Comparação entre métodos exatos e heurísticos para tratar o problema de roteamento de veículos em um ambiente fabril**. In: XXVI ENGEPI, Fortaleza, CE. 2006.

SEGURO DPVAT. **Como, onde e quanto deve pagar**. Disponível em: <<http://www.dpvatsegurodotransito.com.br/como-onde-e-quanto-pagar.aspx>>. Acesso em: 11/04/2013.

SIDRA – Sistema IBGE de Recuperação Automática – Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/default.asp?t=2&z=t&o=1&u1=1&u2=1&u3=1&u4=1&u5=1&u6=1&u7=1&u8=1&u9=1&u10=1&u11=1&u12=3&u13=1&u14=26674&u15=1&u16=1>>. Acesso em: 12/4/2013.

Serviço de Inspeção Federal – Relação de Estabelecimentos. Disponível em: <http://sigsif.agricultura.gov.br/sigsif_cons/lap_estabelec_nacional_rep> Acesso em: 29/07/2013 (usar Internet Explorer).

SOARES, M.; FILARDI, L. **Elaboração de Cenários: Um Estudo de Caso do BNDES**. Alcance, v. 11, n. 1, p. 65-79, 2004.

SOBRINHO, F. F.; COUTINHO, G. H.; COURA, J. D. **Coleta de Leite a Granel**. 1995. 96p. Monografia - Fundação João Pinheiro, Belo Horizonte.

TEIXEIRA, R.; CUNHA, C. **Heurísticas para o problema de dimensionamento e roteirização de uma frota heterogênea utilizando o algoritmo out-of-kilter**. Revista Transportes, v.10, n. 2, 2002.

VALLE, W.; NOGUEIRA, T.; MACHADO, R. **Análise e redução dos custos logísticos da coleta de leite a granel pela utilização de um modelo de roteamento.** ENGEPI 2010, São Carlos – SP, 2010.

VITOR, A. **Determinação do roteamento dos atendimentos de uma empresa de comercialização agrícola – variações de soluções heurísticas.** Dissertação de mestrado – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

ZNAMENSKY, A.; CUNHA, C. **Um modelo para o problema de roteirização e programação do transporte de deficientes.** In: XIII Congresso de pesquisa e ensino em transportes. São Carlos, 1999.

ANEXOS

ANEXO IV Algoritmo de roteirização

Definição das variáveis:

```
int n = xx;(numero de nodos o pontos de coleta, incluindo o laticínio)
int nv = xx;(numero de veículos da frota
float CV[1..nv]= [xx,..., xx];(custo variável de cada veículo)
float d[1..n][1..n] = (matriz de distâncias do problema)
int Q[1..nv] = [xx,..., xx];(capacidade dos veículos)
float q[1..n] = [xx,..., xx]; (oferta de cada ponto)
int M = 100000; (numero infinito)
float p[1..n] = []; (tempo de coleta para cada ponto n)
float rc[1..n] = [0,..., 0];
float cD[1..nv] = [xx,..., xx]; (custo fixo de cada caminhão)
float D1 = 48;
```

Definição das variáveis de decisão

```
dvar boolean x[1..nv][1..n][1..n];
dvar float s[1..n][1..nv];
dvar boolean y[1..nv];
```

Definição da função objetivo:

```
minimize sum(i in 1..n, j in 1..n, v in 1..nv) d[i][j] * x[v][i][j] *
          CV[v] + sum(v in 1..nv) y[v]*cD[v];
```

Restrições do modelo:

```
forall(i in 2..n)
    sum(v in 1..nv, j in 1..n) x[v][i][j] == 1;

forall(i in 2..n)
    sum(v in 1..nv, j in 1..n) x[v][j][i] == 1;

forall(l in 1..n, v in 1..nv)
    sum(i in 1..n) x[v][i][l] - sum(j in 1..n) x[v][l][j] == 0;

forall(v in 1..nv)
    sum(i in 1..n, j in 1..n) q[i]*x[v][i][j] <= Q[v]*y[v];

forall(v in 1..nv, i in 1..n) s[i][v] >= rc[i]
```

```

forall(v in 1..nv, i in 1..n, j in 1..n:i!=j) s[i][v] - s[j][v] <= D1-
p[i];

forall(i in 1..n, j in 2..n, v in 1..nv) s[j][v] >= s[i][v] +
d[i][j]/45 + p[i] - M* (1-x[v][i][j]);

forall(j in 1..n, v in 1..nv) sum(i in 1..n) x[v][i][j] <= 1;
forall(i in 1..n, v in 1..nv) sum(j in 1..n) x[v][i][j] <= 1;
forall(i in 2..n, j in 2..n, v in 1..nv: i!=j) x[v][i][j] + x[v][j][i]
<= y[v];
}

```

Nota: Valle *et al.* 2010 escreveu a equação 30 de forma diferente no artigo e no script do algoritmo ingressado no computador , contudo esta modificação foi testada com os dados usados no artigo e os resultados foram iguais. O script do modelo ingressado no computador foi facilitado pelo autor.