



FACULDADES IBMEC

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM
ADMINISTRAÇÃO E ECONOMIA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
PROFISSIONALIZANTE EM ADMINISTRAÇÃO**

**ROTEIRIZAÇÃO DE TRANSPORTE
TERCEIRIZADO: UM ESTUDO DE
CASO DA INDÚSTRIA DE CIMENTO**

Cleuton Sampaio de Melo Jr

Orientador: *Prof. Dr. Luiz Antonio Silveira Lopes*

Rio de Janeiro, 17 de Fevereiro de 2003.

ROTEIRIZAÇÃO DE TRANSPORTE TERCEIRIZADO: UM ESTUDO DE CASO DA INDÚSTRIA DE CIMENTO

Dissertação Apresentada ao Curso de Mestrado em
Administração do Ibmec, como parte dos requisitos
para obtenção do título de Mestre em Administração.

Área de Concentração: Sistemas de Informação e
Apoio à Decisão.

Orientador: Prof. Dr. LUIZ ANTONIO SILVEIRA LOPES

Rio de Janeiro (RJ)

FEVEREIRO/2003

CLEUTON SAMPAIO

ROTEIRIZAÇÃO DE TRANSPORTE TERCEIRIZADO: UM ESTUDO DE CASO
DA INDÚSTRIA DE CIMENTO.

Dissertação Apresentada ao Curso de Mestrado em
Administração do Ibmec, como parte dos requisitos
para obtenção do título de Mestre em Administração.

Área de Concentração: Sistemas de Informação e
Apoio à Decisão.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Luiz Antônio Silveira Lopes – Orientador

Faculdades IBMEC

Prof. Dr. Luiz Flavio Autran Monteiro Gomes

Faculdades IBMEC

Prof. Dr. Antonio Edmundo Rezende

UFRJ

Rio de Janeiro, 17 de Fevereiro de 2003.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Luis Antônio Silveira Lopes – pela orientação segura, competente e estimulante.

A Lafarge, – pelo apoio prestado na execução deste trabalho.

Aos professores das Faculdades Ibmecc – pela confiança, apoio, reflexões e críticas.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vi
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	ix
1 INTRODUÇÃO.....	10
1.1 JUSTIFICATIVA DO ESTUDO.....	12
1.2 RELEVÂNCIA DO ESTUDO.....	14
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	14
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1 SISTEMA LOGÍSTICO.....	16
2.2 ROTEIRIZAÇÃO.....	19
2.2.1 DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE CLARK & WRIGHT.....	22
2.2.2 AS DISTÂNCIAS UTILIZADAS NA APLICAÇÃO DO MÉTODO.....	24
2.3 ELEMENTOS DE CARTOGRAFIA APLICADOS.....	26
2.3.1 RELACIONAMENTO ENTRE OS MAPAS E O PLANETA.....	27
2.3.2 COORDENADAS SOBRE A ESFERA AUTÁLICA.....	27
2.3.3 DISTÂNCIAS NO GRANDE CÍRCULO.....	29
2.4 GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS.....	31
2.5 SPATIAL DECISION SUPPORT SYSTEMS (SDSS).....	33
3 O PROBLEMA E A METODOLOGIA APLICADA.....	34
3.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	34
3.2 OBJETIVO GERAL.....	37
3.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	37
3.4 METODOLOGIA.....	38
4 ESTUDO DE CASO.....	41
4.1 LIMITES DO ESTUDO.....	45
4.2 RESULTADOS.....	46
4.3 DISCUSSÃO.....	47
5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES.....	50
5.1 CONCLUSÃO.....	50
5.2 RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS POSTERIORES.....	51
6 ANEXOS.....	53
6.1 Pontos considerados e a suas coordenadas obtidas.....	53
6.2 Código x Localização.....	55
6.3 Roteiros encontrados.....	58
6.4 Planilha de entregas reais.....	61
6.5 O método de Clark & Wright.....	64
6.5.1 Implementação no Microsoft Excel.....	65
6.5.2 Entrada de dados.....	66
6.5.3 Implementação do algoritmo.....	68
6.6 Demonstração do cálculo da Distância no Grande Círculo.....	69
6.6.1 Colatitude.....	71
6.6.2 Produto Interno (Dot Product).....	71
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Um grafo.....	21
Figura 2 - Primeira etapa Clark & Wright.....	23
Figura 3 - Segunda etapa.....	23
Figura 4 - Latitude.....	28
Figura 5 - longitude.....	29
Figura 6 - Grande Círculo.....	30
Figura 7 - Zonas de frete da Lafarge.....	43
Figura 8 - Rotas encontradas.....	47
Figura 9 - Parâmetros para o algoritmo.....	66

RESUMO

Uma nova fronteira para aumentar a lucratividade de uma empresa comercial ou industrial é o custo de seu sistema logístico, composto por: estratégia de estoque, estratégia de localização e estratégia de transporte. Dentro deste sistema, o transporte ocupa a posição mais importante, do ponto de vista de impacto sobre os custos.

Existem várias técnicas para racionalizar esses custos, baseadas em G.I.S. (Geographic Information Systems), porém de implementação muito complexa. Neste trabalho pretende-se demonstrar que é possível racionalizar os custos de transporte através do emprego de mecanismos simples, baseados em princípios logísticos consagrados, obtendo resultados razoáveis mesmo em problemas complexos.

O caso em estudo é o da Lafarge, indústria de cimento multinacional, produtora de marcas bem consumidas no Estado do Rio de Janeiro, como o cimento Mauá. A empresa possui centros de distribuição no Rio e Grande Rio, a partir dos quais o produto é despachado para pequenos (modalidade CIF) e grandes (modalidade FOB) consumidores. Como os grandes consumidores buscam diretamente o produto nos centros de distribuição, o maior custo para a Empresa recai sobre a distribuição CIF. Para isso ela utiliza frota terceirizada de transporte, pagando taxas por distância e número de entregas.

É neste contexto operacional que será aplicado o estudo proposto, baseado em fundamentos de roteirização.

Palavras-chave: Logística, Transporte, Roteirização.

ABSTRACT

A new frontier for profits rising in commercial or industrial business is its operations system cost, consisting of stocks, location and transport strategies. In this system, transport ranges from 1/3 to 2/3 of the total operations costs. There are many tools for transport optimization, like Geographic Information Systems, however its implementation difficulties and costs are forbidden for the most small to medium size business.

This work demonstrates transport costs optimization by using simple tools (spreadsheet macros), based on traditional routing works, like the Clark & Wright algorithm (1964), getting good results, even in complex delivery problems.

Keywords: logistics, transport, vehicle routing.

2 INTRODUÇÃO

A atividade logística compreende três áreas de estudo básicas: estoque, armazenagem e transporte. Segundo Paulo Fernando Fleury (Fleury, Avila & Wanke 2000), estima-se que os gastos com atividade logística no Brasil sejam em torno de 17% do PIB, sendo que gastos com transporte respondam por 10% do PIB brasileiro.

Ainda segundo Fleury, os custos logísticos correspondem a 19% do faturamento de uma empresa industrial típica e que a margem, normalmente, gira em torno de 8%. Nota-se que os custos logísticos representam mais do que o dobro da margem, resultando em fator extremamente relevante para o custeio de uma empresa.

Diante dessa relação de custos logísticos versus margem, uma estratégia de transporte eficiente é fator-chave para o sucesso comercial de empresas produtoras e distribuidoras de mercadorias, principalmente quando se trata de produtos com grande peso e baixo valor agregado, como cimento, por exemplo. É um produto que, apesar de existirem preferências por marcas, ainda é qualificado como “commodity”, ou seja, não há muito diferencial quanto a esta ou outra marca.

Como o cimento é um produto de grande densidade e peso, não raro ocupa a capacidade de carga em peso de um caminhão, sem ocupar sua carga volumétrica. Outra característica deste produto é a sua vida útil reduzida, o que impacta ainda mais o processo

de distribuição. O fator realmente diferencial para os clientes desse tipo de empresa é a pontualidade do serviço. Uma boa estratégia de transporte deve estar baseada em decisões corretas como: seleção do modal, consolidação de frete, programação e roteirização de entregas.

Quando se trata de empresas já estabelecidas, como o caso em estudo, já existe uma estratégia de transporte implantada, sendo difícil alterar vários aspectos do sistema logístico. Porém, a roteirização e programação de veículos é um ponto que pode ser otimizado, normalmente com resultados compensatórios.

Segundo Ballou (2001) *“Como os custos de transporte variam tipicamente entre um terço e dois terços do total dos custos logísticos, melhorar a eficiência com a utilização máxima do equipamento e do pessoal do transporte é de grande interesse.”*, assim sendo, mesmo em uma empresa já estabelecida, com seu esquema de transporte implementado, deve ser possível, através do estudo e aplicação de métodos e fundamentos logísticos, otimizar a função transporte através da racionalização dos custos, mesmo com frotas terceirizadas.

Nesse caso pode ser criada uma relação de parceria estratégica entre transportador e cliente, conforme observam Fleury, Avila & Wanke (2000) *“Essas relações de parceria geralmente focam um comprometimento de longo prazo, em que as empresas transportadoras e suas empresas contratantes tornam-se interdependentes em operações, rentabilidade e até mesmo com relação a sua sobrevivência.”*.

Vários enfoques vêm sendo aplicados, ao longo do tempo, ao problema de roteirização, desde algoritmos mais simplificados, como: o problema do Carteiro Chinês, o problema do Caixeiro Viajante, passando pelos trabalhos de Clark & Wright (1964), até

chegar ao uso de aplicações G.I.S. (Geographic Information Systems – Sistemas de Informações Geográficas). Neste trabalho, apesar de ser considerada uma ampla variedade de tratamentos, sempre será focada a solução mais simples, que possa ser implementada com menor custo e no menor prazo possível, criando um impacto mínimo no sistema logístico atual.

2.1 JUSTIFICATIVA DO ESTUDO

O panorama sócio-econômico atual aponta para uma grande mudança na conjuntura econômica. Nesse período (segundo semestre de 2002 e primeiro semestre de 2003) observa-se a crescente necessidade de futuros investimentos em produção, principalmente para exportação. A mudança do modelo de captação de moeda forte, atualmente baseada em aplicações e investimentos estrangeiros diretos, é inegável e passa por um ponto onde há concordância geral: produção e exportação. Logo, mais uma vez, a logística volta a ser tema fundamental em qualquer planejamento de negócios.

Assim sendo, como os custos de transporte são responsáveis por cerca de 2/3 dos custos totais logísticos (2001), as empresas deverão procurar por meios de otimizar sua estratégia de transporte, racionalizando os custos e aproveitando melhor o investimento em máquinas e pessoal alocado nessa área.

Porém, com o aumento da cotação da moeda americana, as ferramentas de apoio logístico como: G.I.S. e S.D.S.S. tiveram seu custo majorado, muitas vezes tornando o investimento proibitivo, além de serem de difícil implementação. A grande dificuldade

para o uso de um sistema G.I.S. é a necessidade de uma base de dados da malha viária, constantemente atualizada, o que, além de oneroso, é extremamente complexo.

Como os principais fundamentos de pesquisa operacional e roteirização já são amplamente conhecidos e, com o advento de planilhas com poder de processamento (como o Microsoft Excel ou o SUN StarCalc), é possível desenvolver e implementar soluções de roteirização de custo relativamente baixo, obtendo resultados compensadores.

Com um pouco de trabalho de geo-codificação (mesmo de maneira aproximada) pode-se automatizar a roteirização e formação de cargas de maneira próxima ao ótimo. Tal estudo pode ser útil para empresas que desejam racionalizar seus custos de transporte em face ao novo cenário econômico nacional.

A idéia deste trabalho surgiu da experiência do autor na aplicação do algoritmo de Clark & Wright em trabalho acadêmico de roteirização de entregas de um supermercado, obtendo custos finais inferiores aos reais. Logo, surgiu a idéia de aprofundar o trabalho, buscando um caso real para implementação. Foi feita a proposta a Lafarge, que aceitou colaborar com este trabalho fornecendo dados reais.

Assim, tal trabalho se encaixa no que é exigido de um Mestrado Profissionalizante, que é a aplicação de conhecimentos acadêmicos ao mundo dos negócios.

2.2 RELEVÂNCIA DO ESTUDO

Várias tendências apontam na direção da integração de empresas diferentes em uma mesma rede logística, todas se beneficiando e complementando as atividades de modo a atender um objetivo integrado.

Na verdade, já existem empresas atuando como integradores logísticos em vários níveis de uma cadeia de suprimentos. Tal conceito vem suplantando a idéia de que o relacionamento em uma cadeia logística tem que ser “perde-ganha”, onde uma empresa perde a outra ganha, buscando o perdedor compensação nas transações futuras.

Segundo Fleury, Avila & Wanke (2000) “*Empresas que buscam construir alianças bem-sucedidas devem estruturar um relacionamento do tipo ganha-ganha com base na exploração conjunta das oportunidades de aumento de eficiência existentes na interface do canal*”, logo, por se tratar de estudo de roteirização de transporte terceirizado, este trabalho tem sua relevância evidenciada ao estar em sintonia com essa tendência.

2.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

No capítulo 2 será feita uma revisão da literatura, mostrando o “estado da arte” das teorias e técnicas aplicadas no trabalho, tratando-se da revisão de conceitos sobre sistema logístico, roteirização (incluindo o método Clark & Wright), coordenadas geográficas, cálculo de distâncias e técnicas mais avançadas, como Geographic

Information Systems (G.I.S. ou Sistemas de Informações Geográficas – S.I.G.) e Spatial Decision Support Systems (ou Sistemas de Apoio a Decisões Espaciais ou Geográficas).

A seguir, no capítulo 3, serão apresentadas as características do problema em estudo, os objetivos do trabalho (geral e específicos) e a metodologia aplicada para sua solução.

No capítulo 4 será apresentado o estudo de caso no qual foi baseado este trabalho, iniciando-se com a descrição detalhada da situação atual, seguindo-se com a apresentação das limitações da aplicação, dos resultados encontrados e concluindo-se com a sua discussão à luz das teorias estudadas.

O capítulo 5 apresenta a conclusão do trabalho, fazendo a comparação entre os objetivos propostos e os resultados alcançados, sendo complementado com as recomendações para superar os limites encontrados neste estudo em futuras aplicações.

Nos anexos, capítulo 6, estão as listagens de variáveis utilizadas e roteiros encontrados.

3 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo busca-se explorar e analisar a fundamentação teórica para este estudo. Há uma revisão de conceitos fundamentais e associação com a literatura tradicional e o estado-da-arte sobre transportes, roteirização e sua influência nos custos logísticos, além de estudos sobre busca de eficiência nesta área.

3.1 SISTEMA LOGÍSTICO

Um sistema logístico é composto pela implementação de estratégia de estoque, estratégia de localização e estratégia de transporte, com o objetivo de manter um nível adequado de serviço ao cliente. Entende-se por nível de serviço adequado ao cliente uma combinação de localização, transporte e estoque que permita um nível de satisfação e fidelização, com a sua conseqüente correspondência no faturamento, compatíveis com o investimento efetuado e a expectativa de negócios futuros. Segundo Ballou:

Baixos níveis de serviço permitem o uso de poucos locais de estoque e transportes menos dispendiosos. Um alto nível de serviços, geralmente, exige exatamente o oposto. No entanto, quando o nível de serviços estiver pressionado pelo seu limite superior, os custos logísticos aumentarão a uma taxa desproporcional ao nível de serviço. Por esse motivo, o primeiro interesse do planejamento logístico deve ser o estabelecimento apropriado do nível de serviço ao cliente.

(Ballou, 2001)

Como estratégia de localização entende-se o posicionamento geográfico dos pontos de estocagem, dos depósitos e dos centros de distribuição. Existem alguns métodos para decisões de localização, desde os mais simples, como o de centro de gravidade onde, segundo Ballou (2001) e Bowersox e Closs (2001) se procura minimizar o custo total de transporte como demonstrado através da seguinte fórmula:

$$\text{Min TC} = \sum V_i R_i D_i$$

Onde:

TC = Custo total do transporte

V_i = Volume no ponto i

R_i = Taxa do transporte ao ponto i

D_i = Distância ao ponto i da instalação a ser localizada.

Assim como existem algoritmos mais complexos, como o Problema dos K-Servos (PKS), descrito em Goldbarg & Luna:

Alguns problemas de localização englobam um aspecto de operação dinâmica que pode transcender ao modelo tradicional de localização, se aproximando de modelos de roteamento. Uma forma de aumentar a capacidade de atendimento de uma facilidade sobre uma rede de demanda é considerar a possibilidade de que ela atenda mais de um ponto. Neste caso, a facilidade deverá, de alguma forma, realizar uma trajetória na rede para possibilitar o contato oferta x consumo. As unidades de atendimento das facilidades são denominadas de servos. Um dos exemplos desse tipo de problema é o que se denomina k-servos (PKS).

(Goldbarg & Luna, 2000)

Em se tratando de estratégias de estoque, apesar do assunto estar relacionado com o objetivo geral do sistema logístico, não é o foco deste trabalho. Porém, pode-se afirmar que a estratégia de estoque está intimamente ligada ao conceito de nível de serviço, que pode ser afetado pela política de estoque escolhida.

Segundo Ballou (2001) existem dois tipos básicos de filosofias de gerenciamento de estoque: “Puxar” e “Empurrar”. Na filosofia “Puxar” cada armazém ou centro de distribuição regional faz seus pedidos à fábrica de acordo com suas necessidades locais. Na filosofia “Empurrar”, a fábrica envia mercadoria aos armazéns de acordo com previsões de venda ou necessidades projetadas de maneira centralizada.

Outro trabalho interessante sobre estoques é o do professor Antonio Galvão Novaes (1989), onde são destacadas várias fórmulas para cálculo de estoque, como: estoque instantâneo, momento de estoque e estoque médio.

Mas são as estratégias e decisões de transporte, como parte do sistema logístico, que interessam mais ao escopo deste trabalho. Mais uma vez busca-se o trabalho de Ballou (2001), onde há boa informação sobre estratégias e decisões de transporte, organizadas de maneira estruturada e objetiva. Questões como seleção de modal, características dos custos de transporte, perfis de tarifas, características de fretes estão muito bem descritas nesse livro.

Outro trabalho muito importante neste aspecto é a coletânea Logística Empresarial, do Centro de Estudos em Logística, da Coppead (Fleury, Wanke, Figueiredo et al, 2000), onde se destacam os trabalhos de Paulo Nazário (Fleury, Wanke, Figueiredo et al, *op.cit*) sobre o papel do transporte na estratégia logística, além de Fleury (*op.cit.*) sobre vantagens competitivas e estratégicas no uso de operadores logísticos.

3.2 ROTEIRIZAÇÃO

Existem muitos trabalhos de qualidade sobre roteirização, desde os baseados em pesquisa operacional, como Goldbarg & Luna (2000), os baseados em algoritmos, como o do professor Galvão Novaes (1989) e os mais completos como o de Ballou (2000). Assim como foram pesquisados vários *papers*, monografias e dissertações importantes, dentre elas destacam-se pela importância para este estudo:

- Um modelo de roteirização para racionalização do atendimento das solicitações de serviço nas empresas de utility: o caso da companhia elétrica de Brasília. De Robertson Moreira de Sá (2001).
- ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS PARA O TRANSPORTE DE ALUNOS DA ZONA RURAL COM AUXÍLIO DE UM SIG. De Maria Fernanda Braga de Almeida e Suely da Penha Sanches (Almeida & Sanches, 2000).

Segundo Novaes (1989) “*Problemas logísticos específicos, envolvendo situações concretas com maior nível de detalhamento, são em geral tratados sobre uma rede de transporte real*”. Ainda segundo o professor Novaes, os nós dessa rede são os pontos de entrega de mercadorias e os depósitos, sendo suas conexões os arcos. O estudo de nós e arcos faz parte da teoria dos grafos.

Para se compreender bem os problemas e soluções de roteirização foi necessário estudar mais sobre teoria dos grafos e uma referência sobre o assunto é o

trabalho de Judith L. Gersting (2001), onde um capítulo inteiro sobre Grafos e suas representações.

Segundo Gersting (2001) “*Um grafo é um conjunto de nós (vértices) e um conjunto de arcos (arestas) tais que cada arco conecta dois nós*”. Para uma definição mais formal, recorre-se ao mesmo trabalho (Gersting, 2001):

Um Grafo é uma tripla ordenada (N, A, g) onde:

N = um conjunto não vazio de nós (vértices)

A = um conjunto de arcos (arestas)

g = uma função que associa cada arco α a um par não ordenado x - y de nós, chamados as extremidades de α .

Na figura 1 está a representação de um Grafo.

Existem Grafos direcionados, onde cada arco tem um sentido ou orientação. Além disso, é possível associar valores ou pesos aos arcos de um grafo, como distâncias em um problema de roteirização.

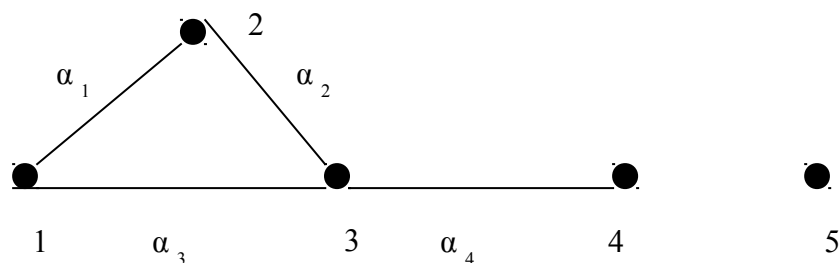


Figura 1 - Um grafo

O problema de roteirização é bem documentado na literatura, sendo constituído por vários tipos de problema relacionados:

- Problema do Carteiro Chinês: visa cobrir com uma passagem todos os arcos de um grafo.
- Problema do Caixeiro Viajante: visa cobrir os nós de uma rede, buscando o trajeto de caminho mínimo.
- Roteirização com restrições múltiplas: visa cobrir os nós de uma rede com múltiplos veículos e restrições operacionais.

Para o problema apresentado neste trabalho é mais adequado se pensar em um problema de roteirização com restrições múltiplas, pois há questões de peso de carga, tempo de viagem, número de entregas e preço de frete.

Para solucionar este problema de roteirização existem algumas heurísticas consagradas, como:

- Método de Clark & Wright (1964), descrito em Goldbarg & Luna (2000), Galvão Novaes (1989), Alvarenga & Novaes (2000), Novaes (2001) e Ballou (2000), também conhecido como o “Método das Economias”.
- Heurística de Mole e Jameson, descrito em Goldbarg & Luna (2000), que tenta reduzir a fragilidade dos nós intermediários.
- Heurísticas em duas fases, como a de Gillet e Miller, descrita também em Goldbarg & Luna (2000).

Neste trabalho adotou-se o método de Clark & Wright, devido à ampla disponibilidade de literatura e aos exemplos de implementação. A título de ilustração existem os trabalhos de Sá (2000) e o de Almeida e Sanches (2000), assim como a experiência anterior do autor que se baseou com sucesso nesse método.

3.2.1 DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE CLARK & WRIGHT

O método de Clark & Wright se divide em três etapas. Primeiramente se calcula a distância e o número de viagens como se fosse empregado um veículo para cada ponto a ser visitado (nó do grafo), conforme a figura 2.

Numa segunda etapa, é calculada a “economia” que seria obtida juntando-se os pares de nós, conforme a figura 3.

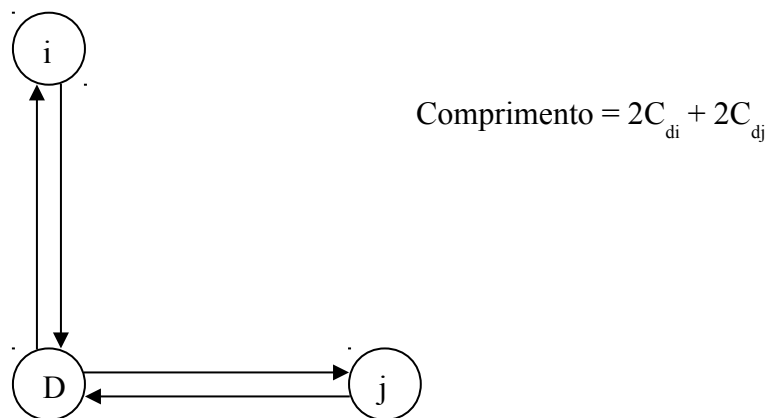


Figura 2 - Primeira etapa Clark & Wright

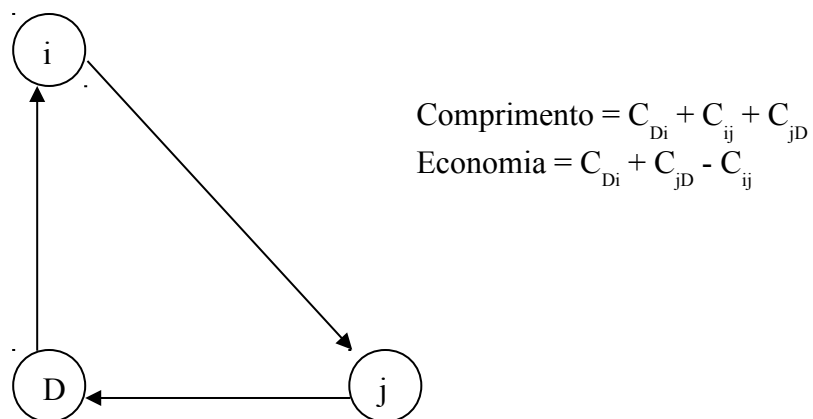


Figura 3 - Segunda etapa

Deve-se calcular as economias para cada par de nós, combinando-os “n” (número de nós ou pontos de entrega) a 2 (C_n^2), depois criando uma lista de economias, classificada em ordem decrescente.

Finalmente, na terceira etapa, deve-se entrar em um processo repetitivo de criação de rotas, iniciando-se com a primeira ligação da lista. Para cada ligação:

- se não houver uma rota definida, iniciar uma rota com os dois nós da ligação;
- se houver uma rota definida, verificar se um dos nós desta ligação é adjacente ao extremo de uma rota já definida, neste caso, verificar se as restrições permitem que se adicione esta ligação à rota;
- se nenhuma rota puder ser expandida, então deve ser criada uma nova rota com a ligação.

O procedimento de Clark & Wright está muito bem definido no trabalho de Galvão Novaes (1989), Novaes (2001) e em Goldbarg & Luna (Goldbarg & Luna, 2000). Em anexo está a descrição do método e a sua implementação, em pseudo-código, feita para este trabalho.

3.2.2 AS DISTÂNCIAS UTILIZADAS NA APLICAÇÃO DO MÉTODO

Normalmente são considerados dois tipos básicos de distâncias: (1) euclidiana ou a distância em linha reta entre dois pontos, e (2) real, ou a distância que considera as passagens por ruas e dificuldades do trajeto.

Quando se trabalha com os nós (ou pontos de entrega) em um mapa plano, as coordenadas são arbitradas de acordo com alguma escala definida. Neste caso, a distância euclidiana entre dois pontos é calculada pelo teorema de Pitágoras, como demonstra Ávila (1998):

$$AB = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

No problema em questão foram utilizadas como coordenadas dos pontos a sua Latitude e Longitude; logo, a distância entre dois pontos não é mais uma linha reta, passando a ser um arco, como será demonstrado posteriormente. Ao invés de denominar a distância calculada como euclidiana, ela será chamada de “distância calculada”. Mais adiante ela poderá ser denominada como “Distância no Grande Círculo” ou DGC.

Quando se trabalha com roteirização de nós visitados (e não de arcos), a distância calculada entre o depósito e os pontos de entrega (e entre os pontos de entrega) não corresponde à distância real, que considera o trajeto (ruas, mãos, trânsito etc). Conforme demonstrado em Novaes (1989), Alvarenga & Novaes (2000) e Novaes (2001), é preciso estabelecer um fator de correção da distância calculada, de modo a aproximá-la da distância real.

Novaes (1989) estabeleceu um método, utilizado neste trabalho, que é a obtenção de uma fórmula de ajuste de linha através de regressão linear simples. Este método consiste em obter a distância real (percorrendo as rotas de automóvel ou caminhão) para alguns pontos e fazer a regressão, tendo como variável independente a distância real. A velocidade média dos veículos, ponto importante do método selecionado, pode ser calculada simplesmente tirando a média de várias viagens reais aos locais.

O ideal é que tanto o fator de correção quanto a velocidade média sejam ajustados por zonas (áreas de entrega), de modo a obter maior precisão nos cálculos, conforme observa Novaes (1989).

Desta forma, o método de Clark & Wright (1964) deve observar as restrições de tempo (baseado no Tempo de Ciclo dos veículos e pessoas) e peso (baseado na capacidade de carga dos veículos).

3.3 ELEMENTOS DE CARTOGRAFIA APLICADOS

A tendência atual e futura de estudos de roteirização aponta para utilização de sistemas de informação geográfica (S.I.G. ou G.I.S.), que utilizam como coordenadas de localização a Latitude e Longitude. Logo, de modo a facilitar o seu futuro desenvolvimento, decidiu-se adotar de imediato as coordenadas geográficas.

Para isso, foram necessários estudos sobre elementos de cartografia, utilizando-se a obra de Robinson (1995). Foi preciso entender como são estabelecidas essas coordenadas e como calcular distâncias entre pontos identificados por elas, já que não se estaria mais utilizando distâncias em um plano.

A opção pelo uso de Latitude e Longitude se deve a dois fatores fundamentais: (1) são identificadores reconhecidos e utilizados mundialmente e (2) possibilitam a utilização de equipamentos de Global Positioning System (G.P.S.), permitindo medição automatizada de coordenadas. Além disso, a maioria dos softwares de roteirização ou geo-processamento utiliza esse sistema de coordenadas.

3.3.1 RELACIONAMENTO ENTRE OS MAPAS E O PLANETA

A Terra pode ser pensada como uma esfera perfeita ou como um elipsóide. Conforme observa Robinson (1995), a Terra não é uma esfera perfeita, mas uma elipsóide, porém, os cartógrafos ainda utilizam uma esfera, com área de superfície igual ao elipsóide, chamada de esfera autálica, como base para confecção de mapas.

Ainda Segundo Robinson (1995), existem várias medições aceitas internacionalmente sobre o tamanho da esfera autálica terrestre. O mais recente é o WGS 84 (World Geodetic System), no qual a Terra é uma esfera com raio de 6.371 km e circunferência de 40.030,20 km.

3.3.2 COORDENADAS SOBRE A ESFERA AUTÁLICA

Para este trabalho assume-se as coordenadas de latitude como baseadas na esfera autálica, de modo a facilitar os cálculos.

Latitude

Segundo Robinson (1995), latitude (autálica) é o ângulo formado por um par de linhas, estendendo-se do Equador até o centro da Terra e do Centro da Terra até o ponto em questão, conforme a figura 4. A latitude mede a posição Norte-Sul, sendo acima do equador as latitudes positivas e abaixo as negativas.

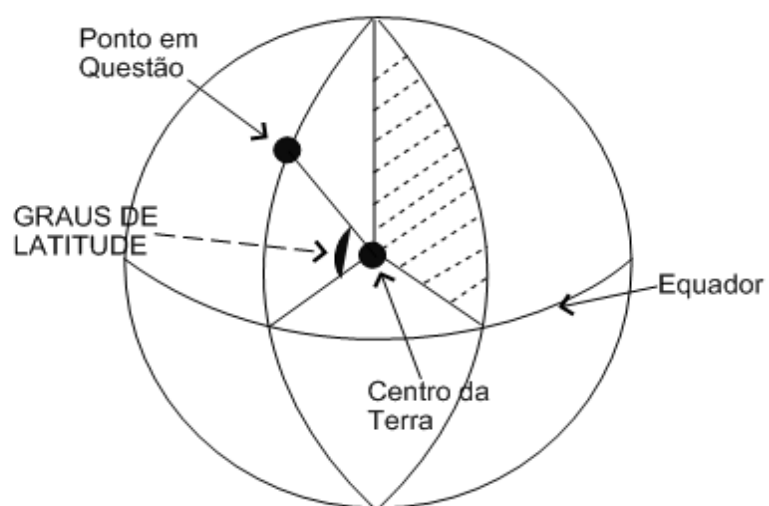


Figura 4 - Latitude

Longitude

Para pensar em longitude é necessário esclarecer o conceito de meridiano. Segundo Robinson (1995) um meridiano é um arco que liga os dois pólos da Terra. Atualmente o meridiano de Greenwich é considerado como origem das longitudes.

Para se obter a longitude de um ponto, imagina-se um meridiano que passe por sua posição, ou meridiano “local”. A seguir, traça-se uma reta da interseção entre o meridiano de Greenwich e o Equador até o centro da Terra, e outra partindo do centro da Terra até a interseção entre o meridiano “local” e o Equador. O ângulo formado pelas duas retas representa os graus de longitude. A longitude mede a distância Leste-Oeste e as localizadas a oeste de Greenwich são negativas. Na figura 5 está exemplificada a longitude.

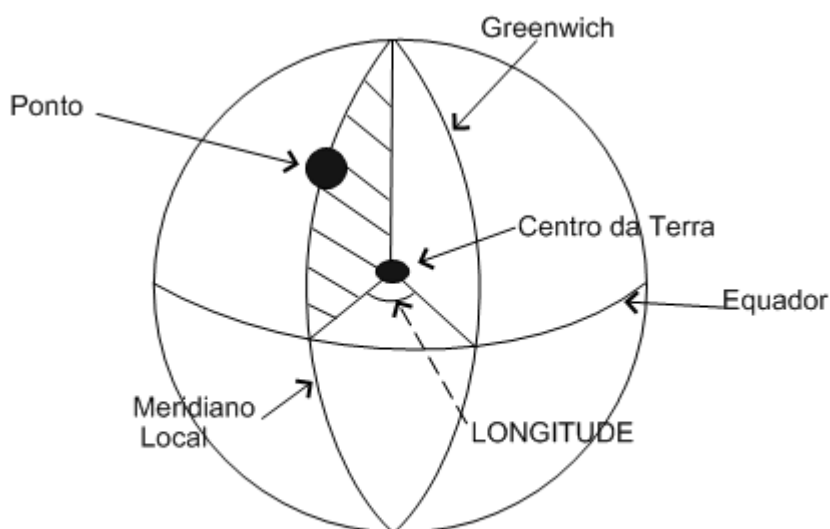


Figura 5 - longitude

3.3.3 DISTÂNCIAS NO GRANDE CÍRCULO

Ainda segundo Robinson (1995) a distância no espaço curvo tridimensional da Terra esférica é um arco localizado diretamente sobre a linha reta no plano. Este arco é formado pela interseção entre a superfície esférica e um plano que una os dois pontos e o centro da terra. O círculo formado pela interseção deste plano com a esfera (que é dividida em dois hemisférios) é chamado de “Grande Círculo”, conforme a figura 6.

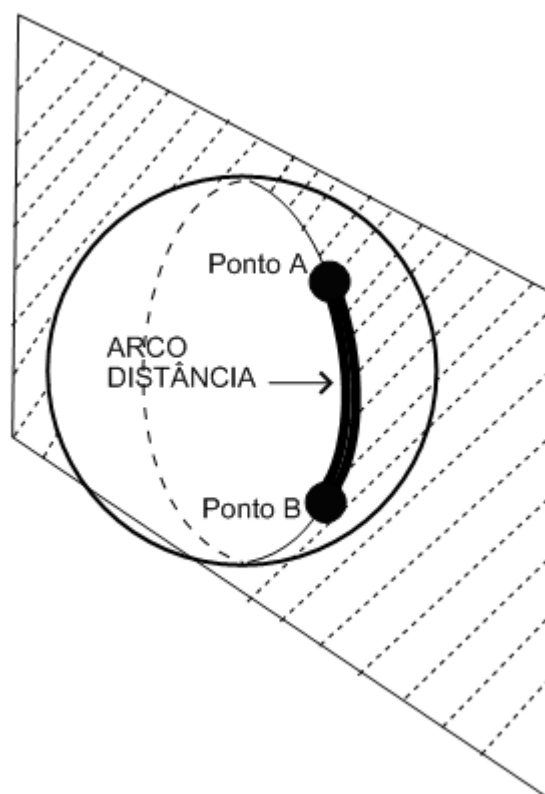


Figura 6 - Grande Círculo

De acordo com Robinson (1995), o cálculo de distâncias no grande círculo é dado pela fórmula (demonstrada nos anexos):

$$\cos D = (\sin a \cdot \sin b) + (\cos a \cdot \cos b \cdot \cos |\delta\lambda|)$$

onde:

D = Arco distância entre dois pontos

“a” e “b” = latitudes dos pontos “A” e “B”

$|\delta\lambda|$ = valor absoluto da diferença entre as longitudes de “A” e “B”

De acordo com a esfera WGS 84, cada grau de latitude corresponde a 111,20 km, logo, basta multiplicar o ângulo encontrado, convertido em graus, por 111,20 para obter a distância em quilômetros entre os dois pontos.

3.4 GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS

Uma grande contribuição para a logística foi o surgimento dos G.I.S. ou sistemas de informação geográfica. Tais sistemas armazenam o mapa digitalizado de uma região, permitindo a utilização de procedimentos computadorizados para localização e roteirização de veículos.

Segundo Paulo Nazário (Fleury, Wanke, Figueiredo et al, 2000), o primeiro sistema de G.I.S. foi desenvolvido no Canadá, em 1962, e se chamava CGIS (Canadá Geographic Information System). Ele era voltado para a realização de inventários territoriais, implicando em aspectos sócio-econômicos e ambientais.

Ainda segundo Paulo Nazário, há a seguinte definição informal de G.I.S.:

Uma definição bastante comum de G.I.S. encontrada na literatura relaciona essa tecnologia com uma ferramenta que associa banco de dados a mapas digitalizados. Conceitos mais amplos que este

são apresentados hoje. Um GIS completo consiste em pelo menos cinco componentes: software, hardware, dados geográficos, pessoal e organização.

(Fleury, Wanke, Figueiredo et al, op.cit.)

As ferramentas GIS foram aplicadas, inicialmente, em medições e trabalhos de cartografia, sendo rapidamente incorporadas aos problemas logísticos (Localização e Roteirização). Porém, mais recentemente, a área de Marketing descobriu no GIS uma excelente ferramenta para identificação do potencial de vendas em diferentes regiões.

A maior dificuldade na implantação de um sistema GIS é a obtenção de um banco de dados cartográficos, que pode ser obtido a partir de imagens digitalizadas, em um demorado processo de identificação, ou com o uso de aparelhos baseados em GPS (Global Positioning System), que recebem sinais de orientação a partir de satélites.

Ainda segundo Paulo Nazário (Fleury, Wanke, Figueiredo et al, 2000) *“Devido à falta de bases, o que se tem observado no mercado brasileiro é o desenvolvimento de bases de dados por empresas que utilizam tecnologia GIS, empresas prestadoras de serviço, prefeituras, governos estaduais e universidades.”*. Sendo este exatamente o problema (falta de bases de dados geográficos) das empresas que desejam implementar rotinas baseadas em GIS.

O processo de transformar referências textuais, como endereços, em coordenadas espaciais é conhecido como “geo-codificação”. Quando se tem pontos de entrega específicos é possível utilizar tecnologia mais primitiva como a digitalização (utilizando um scanner e um mapa impresso) e a medição em escala, com a correspondente transformação em quilômetros. Esse processo foi empregado pelo autor, com sucesso, em trabalho anterior já mencionado.

3.5 SPATIAL DECISION SUPPORT SYSTEMS (SDSS)

São sistemas de apoio à decisão baseados em dados espaciais, utilizando um sistema GIS como fonte de informação. São mais utilizados por empresas de distribuição e logística, como parte integrada a outros componentes de uma tecnologia agora denominada de “c-commerce” (Colaborative Commerce), como: sistemas de ERP (Enterprise Resource Planning) e CRM (Customer Relationship Management).

Nesta área existem os trabalhos de Paulo Nazário (Fleury, Wanke, Figueiredo et al, 2000), além de alguns trabalhos acadêmicos, dentre os quais destaca-se o de Peter B. Keenan (1998), sobre a conceituação fundamental de SDSS, e um bom exemplo de implementação, provido por Tarantilis e Kiranoudis (2002), que mostra o desenvolvimento e implementação de um SDSS para roteamento de veículos na cidade de Atenas.

4 O PROBLEMA E A METODOLOGIA APLICADA

4.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Em uma empresa produtora e distribuidora existem vários processos críticos da cadeia logística em andamento. Para se fabricar o produto em questão, cimento, vários insumos são necessários, assim sendo, é preciso que exista todo um sistema logístico para gerenciar o pedido, a entrega, o uso e o estoque desses componentes. Da mesma forma, na outra ponta, estão os centros de distribuição e os clientes, para os quais deve existir um sistema logístico análogo para distribuição do produto acabado.

Este trabalho focalizou a parte de distribuição física do produto acabado: cimento, em sacos, entregue pelos Centros de Distribuição da Lafarge no estado do Rio de Janeiro.

Embora o cimento possa ser considerado, de certa forma, um produto de baixo valor agregado, o mercado consumidor exige um produto com qualidade e dentro do prazo de validade. Esta procura por qualidade aumentou muito com o advento dos movimentos de conscientização de direitos do consumidor e da adoção das técnicas de

Qualidade Total nos diferentes segmentos industriais. Conforme observam Bowersox e Closs (2001): *“A idéia de zero defeitos em produtos e serviços expandiu-se rapidamente para as operações logísticas. As empresas começaram a compreender que um produto excelente entregue com atraso ou danificado não era aceitável”*.

Então os fatores que influenciam a busca pelo produto cimento são: (1) a disponibilidade e (2) a qualidade. A disponibilidade é um fator muito importante, pois cimento embalado é mais utilizado em pequenas obras ou reformas, onde não existe planejamento de demanda, ao contrário de grandes edificações.

O cliente chega na loja e leva o cimento que houver, desde que esteja em boas condições (não basta estar dentro da validade). No caso do cimento em sacos existe uma tolerância para sua armazenagem e utilização, que pode variar dependendo de sua qualidade. Em geral, segundo informações obtidas na Lafarge, os consumidores consideram o cimento bom se foi fabricado em até um mês, embora sua durabilidade seja de 90 dias. Isto é devido a dúvidas sobre a armazenagem do produto na loja, onde pode estar sujeito a intempéries.

O processo de entrega de pedidos é composto por várias etapas: (1) venda, (2) cruzamento ou montagem de cargas, (3) ordem de serviço para transporte e emissão de documentos fiscais. A venda pode ser feita de duas formas: (1) reativa, quando o Cliente liga para a empresa fazendo seus pedidos ou (2) ativa, quando a empresa procura os Clientes para efetuar vendas. As duas formas podem ser classificadas como as estratégias de controle de estoque “puxado” ou “empurrado”. Conforme levantamentos efetuados, grande parte das vendas ativas é motivada pela necessidade de se completar cargas, de modo a racionalizar os custos de transporte.

Como o foco do estudo é o uso de frota terceirizada, composta por pequenos transportadores autônomos, não são consideradas as despesas de custeio e manutenção da frota, porém torna-se necessário um mecanismo eficiente de racionalização de custos e aproveitamento de transporte que, além de proporcionar redução de custos, permita o acompanhamento de tempos e distâncias cobertas pelos entregadores. Neste estudo foi considerado que a empresa efetua o procedimento de distribuição de cargas manualmente.

Diante desses argumentos as seguintes questões são levantadas:

1. Pode a automatização do procedimento de montagem de cargas implicar em redução de custos e aumento de eficiência do transporte?
2. É possível aplicar métodos tradicionais de logística neste caso em questão para otimizar o transporte?
3. A solução pode ser implementada de maneira simples e de baixo custo?
4. Por fim, é possível estabelecer um controle sobre tempos e distâncias e, talvez, localização dos caminhões, de modo a manter a disponibilidade do produto?

4.2 OBJETIVO GERAL

Após pesquisar na literatura existente, pouco se tem encontrado sobre a aplicação prática de roteirização em frotas terceirizadas. Uma exceção digna é o trabalho de Fleury, Avila e Wanke (2000), que trata da busca da eficiência no transporte terceirizado através de parcerias entre transportadores e clientes.

Atualmente, softwares baseados em G.I.S. e S.D.S.S. (Spatial Decision Support Systems – Sistemas Espaciais de Apoio à Decisão) são considerados ferramentas imprescindíveis à resolução de problemas de transporte; porém, existem bons trabalhos que utilizam técnicas tradicionais aliadas a procedimentos simples de geo-codificação, como a dissertação de Sá (2001) onde é apresentado um caso de roteirização da Companhia Energética de Brasília.

Logo, o objetivo geral deste trabalho é demonstrar a aplicabilidade de métodos tradicionais de roteirização, especificamente o de Clark & Wright (1964), obtendo aumento de eficiência e redução de custos de transporte com frotas terceirizadas.

4.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Dentre os objetivos específicos deste trabalho destacam-se:

- 1 Identificação dos problemas comuns para casos de roteirização;

- 2 Demonstração da praticidade de implementação de sistemas logísticos em planilhas eletrônicas;
- 3 Busca de uma metodologia para roteirização de transporte terceirizado para casos semelhantes ao estudado.

4.4 METODOLOGIA

O estudo em questão pode ser enquadrado como aplicação prática de fundamentos logísticos em um estudo de caso.

Para atingir os objetivos propostos foi realizado inicialmente um estudo de natureza exploratória, de modo a obter, com precisão, dados históricos de entregas, restrições operacionais dos transportadores, regras de negócio da Lafarge e outros dados relevantes ao problema.

Como não se trata de um trabalho de pesquisa convencional, baseado na coleta e análise de dados estatísticos (quantitativa ou qualitativamente), houve uma etapa de desenvolvimento de sistemas, de modo a adequar a implementação do algoritmo Clark & Wright às restrições levantadas.

Finalmente, com o protótipo do algoritmo implementado, foi feito um trabalho de simulação e comparação com dados históricos, visando avaliar se houve aumento de eficiência nos custos observados.

Para conseguir esses resultados foi efetuado um trabalho de levantamento de dados, de geo-codificação e de roteirização dos pedidos do dia 01 de Agosto de 2002, de acordo com as seguintes etapas:

- 1 Levantamento das informações iniciais sobre quantidade de depósitos, capacidade dos caminhões, custos, distâncias, velocidade média e a lista dos pedidos reais do mês de Agosto de 2002. O resumo dos dados levantados será mostrado no Estudo de Caso.
- 2 Geo-codificação dos pontos de entrega, obtendo-se a latitude (esfera autálica) e longitude de cada um. Para isto foram utilizados mapas aerofotogramétricos, com resolução 1:10.000, digitalizados, e o software Maptitude.
- 3 Desenvolvimento de macro em Visual Basic for Applications no Microsoft Excel 2002, implementando-se o algoritmo de Clark & Wright, modificado para calcular distâncias baseadas na fórmula cartográfica de Distância no Grande Círculo (DGC).
- 4 Estimativa de um fator de correção de distâncias de modo a aproximar a DGC da distância real. Para isto foram utilizadas as distâncias fornecidas pelo depósito de Nova Iguaçu e algumas distâncias reais obtidas com o Maplink (<http://maplink.uol.com.br>). Através de um procedimento de regressão linear simples, obteve-se a fórmula a ser aplicada:

- $DR = 1,6169151055693 + 1,37582289116952 \times DGC$

- Onde DR = Distância Real e DGC = Distância no Grande Círculo.

- 5 Estimativa de velocidade média dos caminhões de modo a calcular corretamente o tempo necessário para percorrer as distâncias. Segundo levantamentos, a velocidade média informada é de 40 km/h. Como na literatura foram observados vários exemplos utilizando 30 km/h, a solução encontrada foi utilizar a média: 35 km/h.
- 6 Simulações e ajustes. Foram rodadas várias simulações de modo a ajustar o algoritmo e verificar a precisão das distâncias calculadas. No tópico 4.3 deste trabalho (Discussão) encontra-se a lista de distâncias de controle calculadas e as reais, observando-se um desvio aceitável para os fins deste estudo.
- 7 Análise dos resultados. Nesta etapa foram apresentados e discutidos todos os resultados obtidos, assim como as limitações encontradas.

5 ESTUDO DE CASO

A Lafarge (<http://www.lafarge.com.br>) é o maior produtor mundial de cimento e está presente no Brasil há mais de 40 anos, situando-se entre as cinco maiores empresas do ranking nacional. Trata-se de uma empresa multinacional, de origem francesa, mais conhecida no mercado pela marca dos seus produtos: cimentos MAUÁ e CAMPEÃO. Segundo informações de seu Web Site, no ranking mundial suas posições são:

- 1ª em cimento e coberturas;
- 3ª em concreto e agregados;
- 4ª em gesso.

Além disso, o Grupo Lafarge atua em 75 países, em todos os continentes, empregando 83.000 pessoas. Neste estudo está sendo focalizada apenas a distribuição de cimento em sacos.

A empresa possui três grandes centros de distribuição no Estado do Rio de Janeiro: Nova Iguaçu, São Gonçalo e Realengo, a partir dos quais são feitas as entregas de cimento, em duas modalidades: CIF (entrega por frota terceirizada diretamente nas

revendas) e FOB, na qual os grandes clientes buscam diretamente o cimento nos depósitos.

Foi realizada uma primeira reunião na Lafarge, de modo a delimitar o escopo deste estudo e traçar uma lista de atividades a serem executadas. Como primeiro fruto dessa reunião, ficou claro que o maior problema é representado pelas entregas do tipo CIF. Só no depósito de São Gonçalo são entregues 20.000 sacos por dia, sendo que deste total, 35 cargas (caminhões cheios) representam entregas CIF. Uma carga abrange, em média, três entregas. Cada caminhão comporta até 300 sacos padronizados de 50 kg de cimento e a carga nos depósitos é paletizada (um pallet = 30 sacos). Cada caminhão faz entre duas e três viagens ao dia.

A Lafarge remunera os transportadores com base em uma tabela de preços por tonelada e distância percorrida. A este custo são acrescentados R\$ 7,00 por entrega efetuada (descarga em revenda cliente), caso o número de entregas seja superior a duas por viagem. Para lidar com esses custos, a empresa divide as áreas no entorno do depósito por faixas de frete, conforme a figura 7.

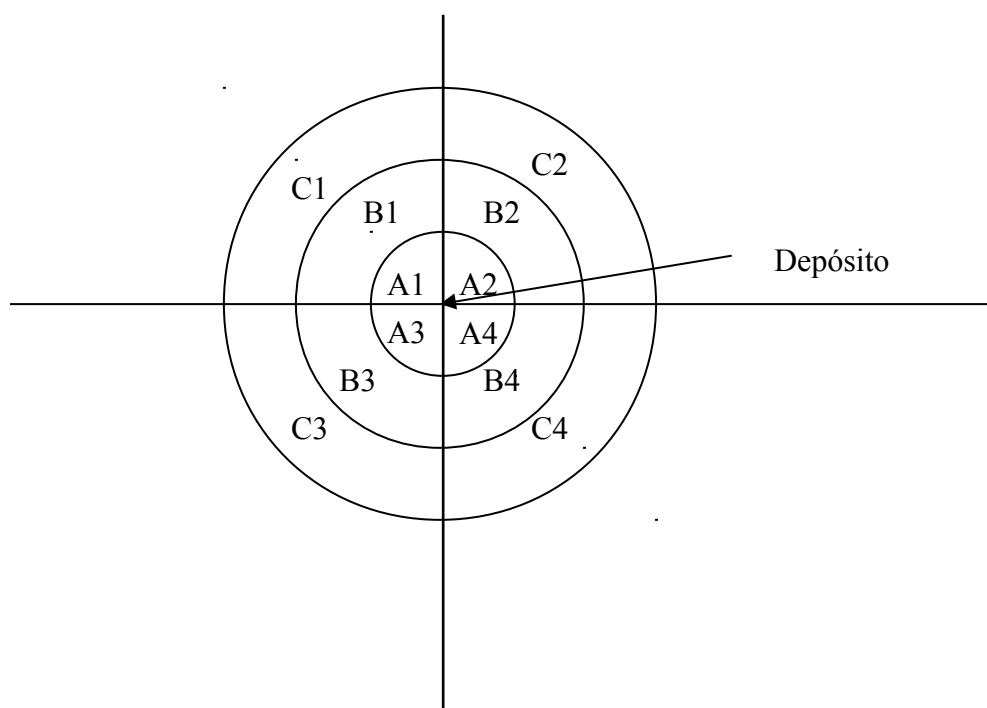


Figura 7 - Zonas de frete da Lafarge

A heurística empregada atualmente consiste em tentar formar cargas com mesma faixa de frete (A1, A2, A3, A4 etc). Se uma carga ficar incompleta, tenta-se complementá-la com entregas de faixa inferior, nunca superior. Em alguns casos, deve-se entrar em contato com os clientes para tentar vender maior quantidade, de modo a aproveitar melhor a capacidade do caminhão.

Este processo de roteirização é feito por um funcionário, diretamente no setor de telemarketing, pois há grande necessidade de negociação com os clientes.

A partir dos levantamentos efetuados na Lafarge, as seguintes informações foram obtidas:

1. cada caminhão faz em média três paradas;

2. as maiores dificuldades são: agrupamento de pedidos de diversas regiões e consolidação de fretes;
3. capacidade de um caminhão: 15 toneladas;
4. clientes FOB buscam a carga diretamente no depósito, para os clientes CIF a Lafarge providencia a entrega;
5. o transporte é terceirizado e existe uma tabela de faixas de frete por região, somando-se ao valor desta tabela os custos de pedágio (se existir) e o prêmio de entrega (R\$ 7,00 por entrega a partir da segunda);
6. tempo de ciclo (disponibilidade dos motoristas e ajudantes): 12 horas;
7. velocidade média: 40 km/h;
8. distâncias reais do depósito de Nova Iguaçu: N.IGUACU X CAXIAS (CIDADE MENINOS) => 25 KM; N.IGUACU X ITACURUÇA => 55KM; N.IGUAÇU X BELFORD ROXO (PARQUE S. JOSE) => 25KM; N. IGUAÇU X S. JOAO MERITI (AGOSTINHO PORTO) => 32 KM; N. IGUAÇU X N. IGUAÇU (POSSE) => 12 KM; N. IGUAÇU X N. IGUAÇU (PARQUE S. JOSE) => 21 KM.

Foram levantados também os dados de entregas de vários dias de Agosto de 2002 do depósito de Nova Iguaçu. Como inexistiam parâmetros para diferenciação da movimentação de carga, foi escolhido aleatoriamente o dia 01 de Agosto de 2002 para simulação de roteirização e seus pontos de entrega foram geo-codificados. Estas informações estão nos anexos deste trabalho.

5.1 LIMITES DO ESTUDO

Durante a execução deste estudo vários fatores impuseram limites aos seus resultados. Porém, considera-se aceitável a aplicação e, conforme será mostrado ao final, pode-se trabalhar para superar as limitações verificadas. Entre elas estão:

- 1 Foram consideradas apenas as entregas de um dia, 01 de Agosto de 2002, de um só depósito, Nova Iguaçu.
- 2 Alguns pontos (15 de um total de 70) não foram localizados durante o processo de geo-codificação, logo, foram excluídos da análise.
- 3 Em alguns casos, o endereço apresenta-se como: “lote x, quadra y” ou “S/N”, em outros, a rua era muito longa e não havia outras referências (número do quarteirão, bairro ou ruas próximas), logo, isto implica em perda de precisão no cálculo de distâncias. Neste caso, optou-se pela maneira conservadora de estimar o mais longe possível.
- 4 Não havia informações suficientes para calcular o fator de correção. Apesar do fator R-quadrado ajustado (R^2) se apresentar bem favorável (0,9576), somente foram utilizadas duas das distâncias informadas, pois para as outras o ponto não foi localizado. Então foram pesquisadas algumas distâncias dentro do município do Rio de Janeiro, de modo a cruzá-lo como fazem os caminhões (Nova Iguaçu – Ramos ou Ilha, por exemplo). Além disso, por falta de informações precisas, foi considerado um fator único para todos os pontos ao invés de calcular fatores diferentes por área (conforme recomenda a literatura).

- 5 A velocidade média aplicada também deveria ser melhor apurada e dividida por área. Um caminhão percorrendo uma estrada em uma região mais afastada pode desenvolver melhor do que dentro da cidade.
- 6 Não foram consideradas restrições baseadas em obstáculos físicos na junção de pontos de entrega. Logo, pontos separados por linhas férreas, rios, morros ou áreas de risco (áreas conflagradas) podem ser incluídos em um mesmo roteiro.

5.2 RESULTADOS

No dia 01 de Agosto, já excluídos os 15 pontos não considerados, o depósito de Nova Iguaçu despachou 24 cargas, sendo que um caminhão (placa KSG9696 na listagem do anexo) fez duas viagens. O custo total calculado nesse dia, excluindo-se os pontos não considerados, foi de **R\$ 2.258,23**.

Em nossa simulação final do mesmo dia, foram despachadas 21 cargas com o custo total (calculado segundo informações obtidas) de **R\$ 1.788,06**. Isto representa uma economia de aproximadamente **21%** nos custos de transporte.

Igualmente foi observado que em vários roteiros houve sobra de tempo disponível, tornando possível o reaproveitamento do mesmo veículo em outros roteiros. Trata-se de um resultado marginal ao trabalho, porém considerado válido para a Lafarge.

A planilha dos resultados contendo as rotas encontradas está em anexo.

5.3 DISCUSSÃO

O método de Clark & Wright (1964) tende a criar rotas em formato de “gota invertida”, que é o melhor para rotas de entregas, conforme Ballou (2000). Na figura 8 são mostradas as rotas, em escala aumentada, de modo a verificar esta característica.

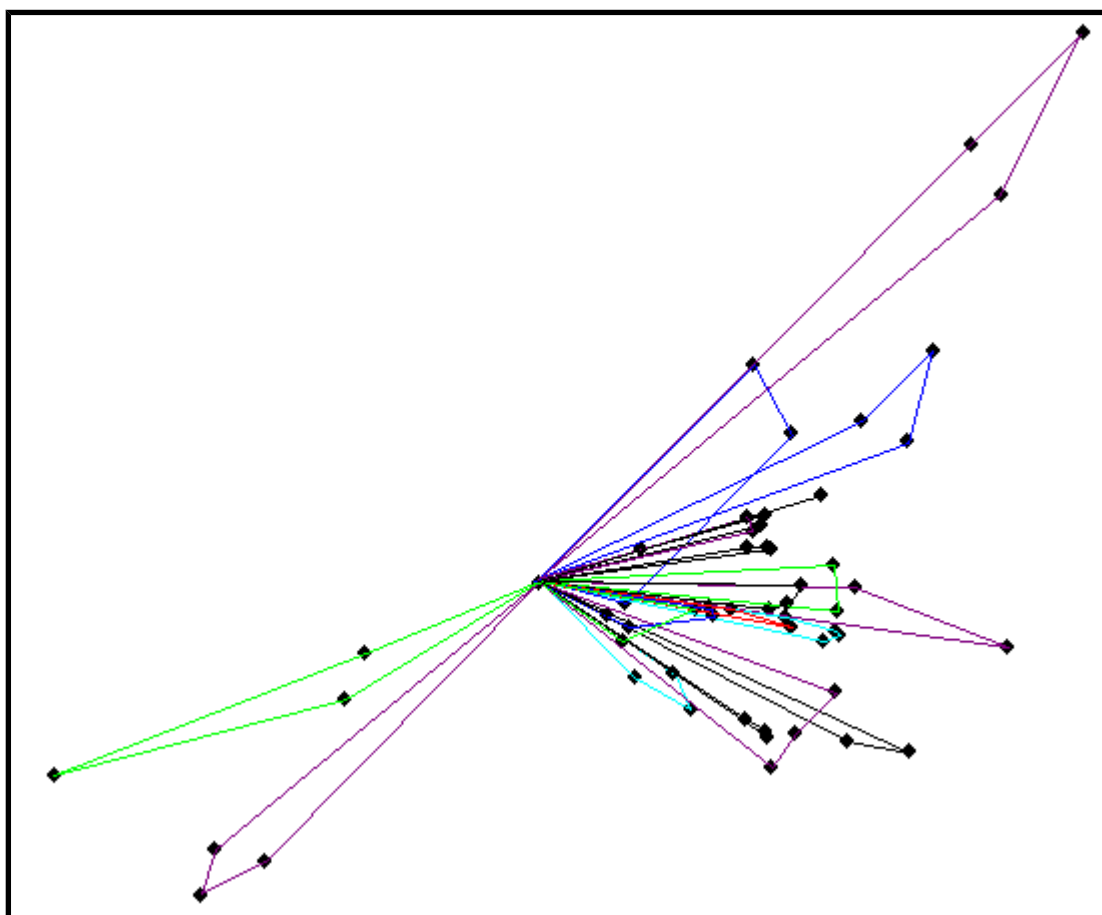


Figura 8 - Rotas encontradas

Listadas todas as rotas encontradas (em anexo) e comparadas com os pontos de entrega do dia 01 de Agosto, verificou-se que nenhum ponto ficou fora de rota. Notou-

se também o efeito do método que cria rotas para pontos não incluídos nos roteiros iniciais, como as seguintes:

Latitude	Longitude	Nó
-22,7601	-43,4777	Início
-22,7106	-43,3035	CAXIAS09
-22,7601	-43,4777	Fim
1,461498	5	
Latitude	Longitude	Nó
-22,7601	-43,4777	Início
-22,7784	-43,4365	NIGUACU05
-22,7601	-43,4777	Fim

Verificou-se, também, que todas as restrições de peso foram obedecidas.

Note-se que na aplicação original do método foi necessária uma alteração: retirar da combinação inicial os pares de pontos cujos pesos excediam as restrições.

Para verificação da precisão de distâncias, foram escolhidos alguns pontos de controle que tiveram suas distâncias calculadas e comparadas com as reais, eis a listagem comparativa:

Trecho	Real	Calculada	Medida no mapa	Ajustada	Ajustada 2 (*)
CD-Cidade dos meninos(Caxias)	25	18,55061443		27,17177	27,13928
CD-BELFORD ROXO (PARQUE S. JOSE)	25	14,82627707		22,63276	22,01525
ANCHIETA01 - MADUREIRA01	9,75	5,753107739	5,57888422	11,57489	9,532172
PENHA02- PENHA01	5,15	3,238790298	3,89922016	8,51058	6,072917
ANCHIETA01 - ILHA01	29,23	20,17227227	18,8962208	29,14816	29,37039
MADUREIRA01- PENHA02	15,66	5,077773864	6,89862028	10,75183	8,603033

Estes pontos foram utilizados para estabelecer o fator de correção de distância através de regressão linear simples. Algumas distâncias reais foram informadas pela Lafarge e outras obtidas através do site Maplink (maplink.uol.com.br) que, infelizmente, não possuía distâncias de outros municípios fora do Rio de Janeiro e Niterói.

As distâncias DGC calculadas foram comparadas com medições feitas em um mapa (escala 1:60.000) e seu valor convertido para quilômetros. Note-se na listagem comparativa a semelhança entre os resultados. A coluna “Ajustada 2”, da listagem anterior, mostra a distância calculada pela fórmula final:

$$D=1,6169151055693 + 1,37582289116952 \times DGC$$

Outra utilização importante do sistema é que, uma vez estabelecidas as rotas, é possível criar um sistema de localização e controle dos caminhões, com verificações (por telefone) junto aos pontos de entrega previstos. Conhecendo-se a velocidade média e as distâncias, pode se estabelecer uma linha de base de normalidade e os desvios podem ser identificados.

Apesar de não levar em consideração os limites de Área e Zona, atualmente utilizados pela Lafarge, foram obtidas rotas coerentes e cujo custo total foi menor que o real. Isto, além das medições de controle efetuadas, demonstra a confiabilidade do método de Clark & Wright para a solução deste problema.

6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

6.1 CONCLUSÃO

Com o novo procedimento obteve-se um resultado ligeiramente melhor que o real, com a vantagem de ser um processo totalmente automatizado e que pode ser integrado ao sistema de pedidos da LAFARGE, minimizando a chance de erros.

Assim sendo, de acordo com os dados obtidos, acredita-se que o trabalho atingiu o objetivo geral porque demonstrou, com sucesso, a aplicabilidade de métodos tradicionais de roteirização (Clark & Wright) em um problema logístico, obtendo aumento de eficiência, com a automatização do procedimento e redução de custos de transporte com frotas terceirizadas em cerca de **21%** (apenas em um único dia).

Também pode-se concluir que ele atingiu os objetivos específicos porque:

- 1 identificou os problemas comuns para casos de roteirização, como dados necessários, obtenção de coordenadas, estimativa de fator de correção de distâncias entre outros;

- 2 demonstrou a praticidade de implementação de sistemas logísticos em planilhas eletrônicas, pois a linguagem VBA, utilizada pela Macro no Excel, é de fácil aprendizado e amplamente conhecida no mercado, além da entrada de dados em planilhas ser prática e de fácil integração com quaisquer outros softwares;
- 3 propôs uma metodologia para roteirização de transporte terceirizado para casos semelhantes ao estudado, pois foram delineadas, em detalhes, todas as etapas necessárias para implementação deste trabalho em outras empresas.

Como resultado adicional, pode-se utilizar o produto da roteirização como base para um sistema de controle da frota, conforme foi mencionado na discussão dos resultados.

6.2 RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS POSTERIORES

- 1 Melhorar a geo-codificação de forma a aumentar a precisão das coordenadas dos pontos. Isto pode ser feito de duas maneiras: (1) utilizando-se um equipamento portátil de GPS e visitam-se os pontos para a coleta das coordenadas (deve-se salientar que o GPS oferecido ao público – Standard Position Service - possuía precisão em torno de 100 m, sendo que atualmente está em 10 m); ou (2) obtendo-se maiores informações sobre a localização dos pontos (distâncias de esquinas, distâncias de marcos importantes) para buscar novamente a sua posição no mapa.
- 2 Efetuar levantamentos precisos de distâncias percorridas e tempos. Devem ser consideradas apenas as distâncias do depósito até o primeiro ponto. Esta relação de distâncias e tempos deve ter dados de pelo menos 10 viagens a cada ponto.

Com essa lista devem ser recalculados o fator de correção de distância e a velocidade média e ambos devem ser aplicados por área no algoritmo.

- 3 Implementar a restrição de junções de pontos problemáticos no mesmo roteiro. Isto depende muito de trabalho de campo, de modo a levantar os vários tipos de barreiras entre os pontos de entrega. Existem várias soluções para este problema, como a incluir listas de impedimento (pontos que não podem estar no mesmo roteiro), polígonos de impedimento (pontos separados por eles não podem estar no mesmo roteiro) ou mesmo a roteirização por áreas delimitadas pelas barreiras físicas.
- 4 O sucesso de um procedimento de roteirização depende muito da consolidação de fretes. Talvez seja necessário um estudo sobre os procedimentos atuais de modo a recomendar medidas para permitir essa consolidação.
- 5 Desenvolver um sistema de controle que, utilizando os roteiros criados, permita saber a localização estimada dos caminhões, estabelecendo um padrão de normalidade e os desvios. Com isto, pode-se aumentar o controle sobre as entregas, evitando alguns dos problemas definidos no início deste trabalho.

7 ANEXOS

7.1 Pontos considerados e a suas coordenadas obtidas

Depósito: Latitude -22,760103, Longitude -43,477747

Cliente	Latitude(*)	Longitude(*)	Peso(t)
ANCHIETA01	-22,836	-43,38082	4,5
ANCHIETA02	-22,8329	-43,38445	5,5
BELROXO01	-22,7401	-43,35009	1,5
BELROXO02	-22,7279	-43,34098	7,5
BELROXO03	-22,7307	-43,34627	5
BELROXO04	-22,7224	-43,349004	5
BELROXO05	-22,7409	-43,33467	10
BELROXO06	-22,7403	-43,337862	2,5
BELROXO07	-22,7408	-43,415224	5
BELROXO08	-22,7222	-43,339075	5
CAXIAS01	-22,79	-43,292625	2
CAXIAS02	-22,6363	-43,346374	2,5
CAXIAS03	-22,7721	-43,324394	2,5
CAXIAS04	-22,7853	-43,322103	7,5
CAXIAS05	-22,6756	-43,321808	5
CAXIAS06	-22,628	-43,23482	2,5
CAXIAS07	-22,7626	-43,283486	5
CAXIAS08	-22,7616	-43,316721	6,5
CAXIAS09	-22,7106	-43,303487	15
CAXIAS10	-22,7797	-43,326141	1,5
CAXIAS11	-22,68	-43,251284	2,5
CAXIAS12	-22,7505	-43,29626	5
CAXIAS13	-22,6686	-43,278822	10
CAXIAS14	-22,7882	-43,295239	5
CAXIAS15	-22,7763	-43,293505	10
CAXIAS16	-22,7939	-43,302819	5
ILHA01	-22,7973	-43,188547	10
IRAJA01	-22,8451	-43,338116	1,5
IRAJA02	-22,848	-43,337435	1,5
IRAJA03	-22,8383	-43,350774	10
IRAJA04	-22,8461	-43,319986	2,5
ITAGUAÍ01	-22,8706	-43,776936	6
MADUREIRA01	-22,8652	-43,33446	2,5
NIGUACU04	-22,8006	-43,585565	2,5

NIGUACU05	-22,7784	-43,436494	5
NIGUACU06	-22,7861	-43,422503	5
NIGUACU07	-22,7934	-43,426714	5
NIGUACU08	-22,827	-43,598414	2,5
NIGUACU10	-22,7717	-43,424397	5
NILOPOLIS01	-22,8124	-43,394816	2,5
NILOPOLIS02	-22,8136	-43,418965	2,5
PENHA01	-22,8227	-43,295791	10
PENHA02	-22,8508	-43,287426	2,5
PETROPOLIS01	-22,5104	-43,210706	7
PETROPOLIS02	-22,4472	-43,142087	5
PETROPOLIS03	-22,5393	-43,192939	3
RAMOS01	-22,8567	-43,249304	11
SCRUZ01	-22,9186	-43,64743	2,5
SCRUZ02	-22,9383	-43,686558	6,5
SCRUZ03	-22,9127	-43,677735	5
SJMERITI01	-22,7753	-43,359764	5
SJMERITI02	-22,7756	-43,382133	10
SJMERITI04	-22,7794	-43,37117	5
SJMERITI05	-22,7756	-43,336159	3
SJMERITI07	-22,7748	-43,372543	5

7.2 Código x Localização

CLIENTE	AREA	ZONA
ANCHIETA01	ANCHIETA	GUADALUPE
ANCHIETA02	ANCHIETA	GUADALUPE
BELROXO01	BELFORD ROXO	JARDIM REDENTOR
BELROXO02	BELFORD ROXO	LOTE QUINZE
BELROXO03	BELFORD ROXO	LOTE QUINZE
BELROXO04	BELFORD ROXO	MANGUEIRAS
BELROXO05	BELFORD ROXO	PARQUE SAO JOSE
BELROXO06	BELFORD ROXO	PARQUE SAO JOSE
BELROXO07	BELFORD ROXO	SAO FRANCISCO
BELROXO08	BELFORD ROXO	VILA JOLAR
CAXIAS01	DUQUE DE CAXIAS	BEIRA MAR
CAXIAS02	DUQUE DE CAXIAS	CAPIVARI
CAXIAS03	DUQUE DE CAXIAS	CENTENARIO
CAXIAS04	DUQUE DE CAXIAS	CENTRO
CAXIAS05	DUQUE DE CAXIAS	CIDADE DOS MENINOS
CAXIAS06	DUQUE DE CAXIAS	IMBARIE
CAXIAS07	DUQUE DE CAXIAS	JARDIM GRAMACHO
CAXIAS08	DUQUE DE CAXIAS	JARDIM OLAVO BILAC
CAXIAS09	DUQUE DE CAXIAS	PILAR
CAXIAS10	DUQUE DE CAXIAS	PIRIQUITO
CAXIAS11	DUQUE DE CAXIAS	SARACURUNA
CAXIAS12	DUQUE DE CAXIAS	SARAPUI
CAXIAS13	DUQUE DE CAXIAS	VILA MARIA HELENA
CAXIAS14	DUQUE DE CAXIAS	VILA OITO DE MAIO
CAXIAS15	DUQUE DE CAXIAS	VILA SAO LUIS

CAXIAS16	DUQUE DE CAXIAS	VINTE E CINCO DE AGOSTO
DEPOSITO	NOVA IGUAÇU	JARDIM ALVORADA
ILHA01	ILHA DO GOVERNADOR	TAUA
IRAJA01	IRAJA	COLEGIO
IRAJA02	IRAJA	COLEGIO
IRAJA03	IRAJA	HONORIO GURGEL
IRAJA04	IRAJA	IRAJA
ITAGUAI01	ITAGUAI	BRISA MAR
MADUREIRA01	MADUREIRA	MADUREIRA
NIGUACU01	NOVA IGUACU	AUSTIM
NIGUACU02	NOVA IGUACU	AUSTIM
NIGUACU03	NOVA IGUACU	DOM BOSCO
NIGUACU04	NOVA IGUACU	MARAPICU
NIGUACU05	NOVA IGUACU	MESQUITA
NIGUACU06	NOVA IGUACU	MESQUITA
NIGUACU07	NOVA IGUACU	MESQUITA
NIGUACU08	NOVA IGUACU	PARAISO
NIGUACU09	NOVA IGUACU	POSSE
NIGUACU10	NOVA IGUACU	SANTO ELIAS
NIGUACU11	NOVA IGUACU	TINGUA
NIGUACU12	NOVA IGUACU	VILA DE CAVA
NILOPOLIS01	NILOPOLIS	OLINDA
NILOPOLIS02	NILOPOLIS	OLINDA
PATY01	PATY DO ALFERES	ARCOZELO
PENHA01	PENHA	CORDOVIL
PENHA02	PENHA	OLARIA
PETROPOLIS01	PETROPOLIS	BINGEN
PETROPOLIS02	PETROPOLIS	CORREAS
PETROPOLIS03	PETROPOLIS	SÃO SEBASTIÃO

QUEIMADOS01	QUEIMADOS	CENTRO
QUEIMADOS02	QUEIMADOS	CENTRO
QUEIMADOS03	QUEIMADOS	SANTO EXPEDITO
RAMOS01	RAMOS	BONSUCESSO
RAMOS02	RAMOS	HIGIENOPOLIS
RAMOS03	RAMOS	RAMOS
SCRUZ01	SANTA CRUZ	PACIENCIA
SCRUZ02	SANTA CRUZ	SANTA CRUZ
SCRUZ03	SANTA CRUZ	SANTA CRUZ
SEROPEDICA01	SEROPÉDICA	CENTRO
SJMERITI01	SAO JOAO DE MERITI	COELHO DA ROCHA
SJMERITI02	SAO JOAO DE MERITI	COELHO DA ROCHA
SJMERITI03	SAO JOAO DE MERITI	JARDIM IRIS
SJMERITI04	SAO JOAO DE MERITI	JARDIM MERITI
SJMERITI05	SAO JOAO DE MERITI	JARDIM METROPOLE
SJMERITI06	SAO JOAO DE MERITI	VILAR DOS TELES
SJMERITI07	SAO JOAO DE MERITI	VILAR DOS TELES

7.3 Roteiros encontrados

Tempo	Peso							
7,062126	15							
Latitude	Longitude	Nó	Peso	Frete	Pedagio	Premios	Total	14,66
-22,7601	-43,4777	Início						
-22,5104	-43,2107	PETROPOLIS01	7	102,62		7	226,9	
-22,4472	-43,1421	PETROPOLIS02	5	73,3				
-22,5393	-43,1929	PETROPOLIS03	3	43,98				
-22,7601	-43,4777	Fim						
5,50065	14							
Latitude	Longitude	Nó	Peso					
-22,7601	-43,4777	Início	Peso	Frete	Pedagio	Premios	Total	7
-22,9186	-43,6474	SCRUZ01	2,5	17,5		7	105	
-22,9383	-43,6866	SCRUZ02	6,5	45,5				
-22,9127	-43,6777	SCRUZ03	5	35				
-22,7601	-43,4777	Fim						
5,546986	15							
Latitude	Longitude	Nó	Peso					
-22,7601	-43,4777	Início	Peso	Frete	Pedagio	Premios	Total	5,4
-22,6686	-43,2788	CAXIAS13	10	54		7	88	
-22,628	-43,2348	CAXIAS06	2,5	13,5				
-22,68	-43,2513	CAXIAS11	2,5	13,5				
-22,7601	-43,4777	Fim						
4,170362	13,5							
Latitude	Longitude	Nó	Peso					
-22,7601	-43,4777	Início	Peso	Frete	Pedagio	Premios	Total	Frete
-22,8508	-43,2874	PENHA02	2,5	13,5			86,76	5,4
-22,8567	-43,2493	RAMOS01	11	73,26				6,66
-22,7601	-43,4777	Fim						
4,510123	15							
Latitude	Longitude	Nó	Peso					
-22,7601	-43,4777	Início	Peso	Frete	Pedagio	Premios	Total	Frete
-22,7626	-43,2835	CAXIAS07	5	27			101	5,4
-22,7973	-43,1885	ILHA01	10	74				7,4
-22,7601	-43,4777	Fim						
5,755959	13,5							
Latitude	Longitude	Nó	Peso					
-22,7601	-43,4777	Início	Peso	Frete	Pedagio	Premios	Total	Frete
-22,7939	-43,3028	CAXIAS16	5	27		14	86,9	5,4
-22,79	-43,2926	CAXIAS01	2	10,8				
-22,7882	-43,2952	CAXIAS14	5	27				
-22,7797	-43,3261	CAXIAS10	1,5	8,1				
-22,7601	-43,4777	Fim						
4,948301	15							
Latitude	Longitude	Nó	Peso					
-22,7601	-43,4777	Início	Peso	Frete	Pedagio	Premios	Total	Frete
-22,8652	-43,3345	MADUREIRA01	2,5	15		7	91	6
-22,8461	-43,32	IRAJA04	2,5	15				6
-22,8227	-43,2958	PENHA01	10	54				5,4
-22,7601	-43,4777	Fim						
3,730774	15							
Latitude	Longitude	Nó	Peso					

-22,7601	-43,4777	Início	Peso	Frete	Pedagio	Premios	Total	Frete
-22,7505	-43,2963	CAXIAS12	5	27			81	5,4
-22,7763	-43,2935	CAXIAS15	10	54				
-22,7601	-43,4777	Fim						
4,555665	13							
Latitude	Longitude	Nó	Peso					
-22,7601	-43,4777	Início	Peso	Frete	Pedagio	Premios	Total	Frete
-22,8383	-43,3508	IRAJA03	10	60		7	85	6
-22,8451	-43,3381	IRAJA01	1,5	9				
-22,848	-43,3374	IRAJA02	1,5	9				
-22,7601	-43,4777	Fim						
4,95106	12,5							
Latitude	Longitude	Nó	Peso					
-22,7601	-43,4777	Início	Peso	Frete	Pedagio	Premios	Total	Frete
-22,6363	-43,3464	CAXIAS02	2,5	13,5		7	67,5	5,4
-22,6756	-43,3218	CAXIAS05	5	27				
-22,7717	-43,4244	NIGUACU10	5	20				4
-22,7601	-43,4777	Fim						
4,513871	12							
Latitude	Longitude	Nó	Peso					
-22,7601	-43,4777	Início	Peso	Frete	Pedagio	Premios	Total	Frete
-22,7756	-43,3362	SJMERITI05	3	24		7	79,6	8
-22,7721	-43,3244	CAXIAS03	2,5	13,5				5,4
-22,7616	-43,3167	CAXIAS08	6,5	35,1				
-22,7601	-43,4777	Fim						
4,352076	14							
Latitude	Longitude	Nó	Peso					
-22,7601	-43,4777	Início	Peso	Frete	Pedagio	Premios	Total	Frete
-22,7409	-43,3347	BELROXO05	10	40		7	63	4
-22,7403	-43,3379	BELROXO06	2,5	10				
-22,7401	-43,3501	BELROXO01	1,5	6				
-22,7601	-43,4777	Fim						
3,316901	12,5							
Latitude	Longitude	Nó	Peso					
-22,7601	-43,4777	Início	Peso	Frete	Pedagio	Premios	Total	Frete
-22,7279	-43,341	BELROXO02	7,5	30			50	4
-22,7222	-43,3391	BELROXO08	5	20				
-22,7601	-43,4777	Fim						
5,794715	11							
Latitude	Longitude	Nó	Peso					
-22,7601	-43,4777	Início	Peso	Frete	Pedagio	Premios	Total	Frete
-22,8006	-43,5856	NIGUACU04	2,5	10		7	71,4	4
-22,8706	-43,7769	ITAGUAI01	6	44,4				7,4
-22,827	-43,5984	NIGUACU08	2,5	10				4
-22,7601	-43,4777	Fim						
4,312634	15							
Latitude	Longitude	Nó	Peso					
-22,7601	-43,4777	Início	Peso	Frete	Pedagio	Premios	Total	Frete
-22,7307	-43,3463	BELROXO03	5	20		7	67	4
-22,7224	-43,349	BELROXO04	5	20				
-22,7408	-43,4152	BELROXO07	5	20				
-22,7601	-43,4777	Fim						
5,269124	15							

Latitude	Longitude	Nó	Peso					
-22,7601	-43,4777	Início	Peso	Frete	Pedagio	Premios	Total	Frete
-22,8124	-43,3948	NILOPOLIS01	2,5	11,5		14	83	4,6
-22,836	-43,3808	ANCHIETA01	4,5	20,7				
-22,8329	-43,3845	ANCHIETA02	5,5	25,3				
-22,8136	-43,419	NILOPOLIS02	2,5	11,5				
-22,7601	-43,4777	Fim						
3,413643	12,5							
Latitude	Longitude	Nó	Peso					
-22,7601	-43,4777	Início	Peso	Frete	Pedagio	Premios	Total	Frete
-22,7853	-43,3221	CAXIAS04	7,5	40,5			73,8	5,4
-22,7753	-43,3598	SJMERITI01	5	33,3				6,66
-22,7601	-43,4777	Fim						
4,093364	15							
Latitude	Longitude	Nó	Peso					
-22,7601	-43,4777	Início	Peso	Frete	Pedagio	Premios	Total	Frete
-22,7861	-43,4225	NIGUACU06	5	20		7	93,6	4
-22,7794	-43,3712	SJMERITI04	5	33,3				6,66
-22,7748	-43,3725	SJMERITI07	5	33,3				
-22,7601	-43,4777	Fim						
2,977566	15							
Latitude	Longitude	Nó	Peso					
-22,7601	-43,4777	Início	Peso	Frete	Pedagio	Premios	Total	Frete
-22,7934	-43,4267	NIGUACU07	5	20			86,6	4
-22,7756	-43,3821	SJMERITI02	10	66,6				6,66
-22,7601	-43,4777	Fim						
2,562538	15							
Latitude	Longitude	Nó	Peso					
-22,7601	-43,4777	Início	Peso	Frete	Pedagio	Premios	Total	Frete
-22,7106	-43,3035	CAXIAS09	15	81			81	5,4
-22,7601	-43,4777	Fim						
1,461498	5							
Latitude	Longitude	Nó	Peso					
-22,7601	-43,4777	Início	Peso	Frete	Pedagio	Premios	Total	Frete
-22,7784	-43,4365	NIGUACU05	5	20			20	4
-22,7601	-43,4777	Fim						
						Total	R\$ 1.788,06	

7.4 Planilha de entregas reais

De acordo com solicitação da Lafarge foi omitido o endereço dos clientes.

Descrição Área	Descrição Zona	Número da Carga	Vol (t)	Frete bruto (R\$)
BELFORD ROXO	LOTE QUINZE	50	7,50	43,00
DUQUE DE CAXIAS	CENTRO	50	2,50	16,00
DUQUE DE CAXIAS	CENTRO	50	2,50	16,00
DUQUE DE CAXIAS	CENTRO	50	2,50	16,00
DUQUE DE CAXIAS	CENTENARIO	51	2,50	27,50
DUQUE DE CAXIAS	SARAPUI	51	5,00	47,50
DUQUE DE CAXIAS	JARDIM GRAMACHO	51	5,00	47,50
DUQUE DE CAXIAS	CAPIVARI	51	2,50	27,50
DUQUE DE CAXIAS	VILA SAO LUIS	52	10,00	73,28
DUQUE DE CAXIAS	SARACURUNA	52	2,50	23,31
DUQUE DE CAXIAS	VINTE E CINCO DE AGOSTO	53	5,00	38,30
DUQUE DE CAXIAS	CIDADE DOS MENINOS	53	2,50	21,65
DUQUE DE CAXIAS	CIDADE DOS MENINOS	53	2,50	21,65
SAO JOAO DE MERITI	JARDIM METROPOLE	54	3,00	29,00
DUQUE DE CAXIAS	VILA MARIA HELENA	54	10,00	85,00
DUQUE DE CAXIAS	IMBARIE	54	1,00	25,00
DUQUE DE CAXIAS	IMBARIE	54	1,50	29,00
BELFORD ROXO	MANGUEIRAS	58	5,00	31,00
BELFORD ROXO	SAO FRANCISCO	58	2,50	17,50
BELFORD ROXO	SAO FRANCISCO	58	2,50	17,50
BELFORD ROXO	LOTE QUINZE	58	2,50	17,50
BELFORD ROXO	LOTE QUINZE	58	2,50	17,50
PETROPOLIS	CORREAS	66	1,00	18,00

PETROPOLIS	CORREAS	66	4,00	61,98
PETROPOLIS	BINGEN	66	1,00	18,06
PETROPOLIS	BINGEN	66	3,00	47,32
PETROPOLIS	BINGEN	66	3,00	47,32
PETROPOLIS	SÃO SEBASTIÃO	66	3,00	47,32
NOVA IGUACU	PARAISO	70	2,50	16,00
BELFORD ROXO	PARQUE SAO JOSE	70	5,00	26,00
BELFORD ROXO	PARQUE SAO JOSE	70	5,00	26,00
BELFORD ROXO	PARQUE SAO JOSE	70	2,50	16,00
BELFORD ROXO	JARDIM REDENTOR	70	1,50	12,00
NOVA IGUACU	MESQUITA	71	5,00	25,00
NOVA IGUACU	MESQUITA	71	2,50	15,00
NOVA IGUACU	MESQUITA	71	2,50	15,00
DUQUE DE CAXIAS	PILAR	72	5,00	33,00
DUQUE DE CAXIAS	PILAR	72	5,00	33,00
DUQUE DE CAXIAS	PILAR	72	5,00	33,00
SAO JOAO DE MERITI	COELHO DA ROCHA	74	1,50	11,87
SAO JOAO DE MERITI	COELHO DA ROCHA	74	3,50	21,03
SAO JOAO DE MERITI	VILAR DOS TELES	74	5,00	27,90
DUQUE DE CAXIAS	PIRIQUITO	81	1,50	15,96
SAO JOAO DE MERITI	JARDIM MERITI	81	5,00	39,20
DUQUE DE CAXIAS	JARDIM OLAVO BILAC	81	1,50	15,96
DUQUE DE CAXIAS	JARDIM OLAVO BILAC	81	5,00	39,20
DUQUE DE CAXIAS	BEIRA MAR	81	2,00	19,28
DUQUE DE CAXIAS	VILA OITO DE MAIO	85	2,50	19,15
DUQUE DE CAXIAS	VILA OITO DE MAIO	85	2,50	19,15
SAO JOAO DE MERITI	COELHO DA ROCHA	85	5,00	35,80
SAO JOAO DE MERITI	COELHO DA ROCHA	85	5,00	35,80
SANTA CRUZ	SANTA CRUZ	86	5,00	40,00
ITAGUAI	BRISA MAR	87	1,00	11,40
ITAGUAI	BRISA MAR	87	2,50	22,50

ITAGUAI	BRISA MAR	87	2,50	22,50
SANTA CRUZ	SANTA CRUZ	87	6,50	52,10
SANTA CRUZ	PACIENCIA	87	2,50	22,50
PENHA	CORDOVIL	88	10,00	70,68
IRAJA	IRAJA	88	2,50	22,66
PENHA	OLARIA	88	2,50	22,66
NILOPOLIS	OLINDA	89	2,50	19,00
NILOPOLIS	OLINDA	89	2,50	19,00
ANCHIETA	GUADALUPE	89	4,50	28,20
ANCHIETA	GUADALUPE	89	5,50	32,80
NOVA IGUACU	MESQUITA	91	1,00	9,40
NOVA IGUACU	MESQUITA	91	4,00	25,60
BELFORD ROXO	VILA JOLAR	91	5,00	31,00
ILHA DO GOVERNADOR	TAUA	92	5,00	40,33
ILHA DO GOVERNADOR	TAUA	92	5,00	40,33
IRAJA	COLEGIO	93	1,50	15,00
IRAJA	COLEGIO	93	1,50	15,00
IRAJA	HONORIO GURGEL	93	5,00	36,00
IRAJA	HONORIO GURGEL	93	5,00	36,00
MADUREIRA	MADUREIRA	93	2,50	21,00
RAMOS	BONSUCESSO	94	1,00	9,16
RAMOS	BONSUCESSO	94	5,00	35,80
RAMOS	BONSUCESSO	94	5,00	35,80
NOVA IGUACU	MARAPICU	95	2,50	16,66
NOVA IGUACU	SANTO ELIAS	95	5,00	26,66
		TOTAL		R\$ 2.258,23

7.5 O método de Clark & Wright

Segundo Novaes (1989):

Para resolver problemas de roteirização a partir de um único depósito, com restrições múltiplas, pode-se utilizar o método de Clark & Wright, bastante engenhoso e eficaz. Esse método se baseia no conceito de “ganho” que pode ser obtido ao se ligar dois nós de forma sucessiva num roteiro.

Vamos admitir que existam “n” pontos a serem visitado, partindo o veículo do depósito “D” e retornando ao mesmo após um ciclo.

Suponhamos. Inicialmente, que a solução preliminar do problema de roteirização (a pior) consiste em se ter “n” veículos, sendo que cada veículo visita um único ponto e retorna ao depósito.

O percurso total da frota para realizar esse tipo de serviço é dado por:

$$L = 2 \times \sum_{i=1}^n l_{D,i}$$

Suponhamos, agora, que o veículo, ao atender o ponto “i”, visita também o ponto “j” na mesma viagem:

$$S_{i,j} = L_a - L_b = 2 \times d_{D,i} + 2 \times d_{D,j} - [d_{D,i} + d_{i,j} + d_{D,j}] = d_{D,i} + d_{D,j} - d_{i,j}$$

Na escolha de dois pontos “i” e “j” para constituir a seqüência de um roteiro, procura-se selecionar o par com maior valor do ganho $S_{i,j}$. Há combinações, no entanto, que violam as restrições de tempo, capacidade etc, não sendo por isso factíveis. O método de Clark & Wright explora esse conceito, sendo descrito a seguir:

(a) Calcular os ganhos $S_{i,j}$ para todos os pares “i”, “j” ($i \neq j$, $i \neq D$ e $j \neq D$).

(b) Ordenar os pares (i,j) na ordem decrescente dos valores do ganho $S_{i,j}$.

(c) Começar pelo par de nós (i,j) com maior ganho $S_{i,j}$ e proceder na seqüência obtida em (b).

(d) Para um par de nós (i,j) , correspondente ao $X^{\text{ésimo}}$ elemento da seqüência (b), verificar se “i” e “j” estão ou não incluídos em um roteiro já existente:

a. Se “i” e “j” não foram incluídos em nenhum dos roteiros já abertos, então criar um novo roteiro com os nós “i” e “j”.

b. Se exatamente um dos pontos “i” ou “j” já pertencem a um roteiro pré-estabelecido, verificar se esse ponto é o primeiro ou o último do roteiro (adjacente ao nó “D”, depósito). Se isso ocorrer, acrescentar o arco i,j a esse roteiro. Caso contrário, passar para a etapa seguinte, saltando o par (i,j) .

c. Se ambos os nós “i” e “j” já pertencem a dois roteiros pré-estabelecidos (roteiros diferentes), verificar se ambos são extremos dos respectivos roteiros (adjacentes ao nó “D”). Nesse caso, fundir os dois roteiros num só. Caso contrário, passar para a etapa seguinte, pulando o par (i,j) .

d. Se ambos os nós “i” e “j” pertencem a um mesmo roteiro, pular para a etapa seguinte.

e. Continuar o processo até que a lista completa de ganhos seja exaurida. Se sobrar algum ponto não incluído em nenhum roteiro, deverão ser formados roteiros individualizados, ligando o depósito a cada ponto e retornando à base.

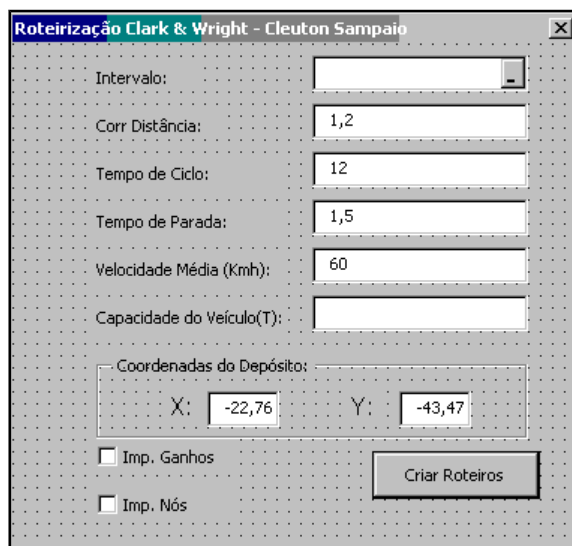
7.5.1 Implementação no Microsoft Excel

A implementação do algoritmo de Clark & Wright no Microsoft Excel foi mais simples do que em outros ambientes de desenvolvimento, como Pascal (Borland Delphi) ou C/C++ (Microsoft Visual C++ ou Borland C++ Builder).

Esta simplicidade é devida em parte à estrutura da linguagem Visual Basic For Applications, da Microsoft, associada a sua grande funcionalidade embutida. De modo a simplificar a demonstração, será apresentado aqui o pseudo-código da implementação do algoritmo.

7.5.2 Entrada de dados

Como são necessárias vários parâmetros para o algoritmo de Clark & Wright, inicialmente é exibido um formulário, conforme a figura 9.



O formulário, intitulado "Roteirização Clark & Wright - Cleuton Sampaio", contém os seguintes campos e controles:

- Intervalo: campo de seleção com uma seta para baixo.
- Corr Distância: campo de texto com o valor "1,2".
- Tempo de Ciclo: campo de texto com o valor "12".
- Tempo de Parada: campo de texto com o valor "1,5".
- Velocidade Média (Kmh): campo de texto com o valor "60".
- Capacidade do Veículo(T): campo de texto vazio.
- Coordenadas do Depósito: seção com dois campos, "X:" com o valor "-22,76" e "Y:" com o valor "-43,47".
- Dois botões de opção: "Imp. Ganhos" e "Imp. Nós", ambos desativados.
- Botão "Criar Roteiros" localizado no canto inferior direito.

Figura 9 - Parâmetros para o algoritmo

Os parâmetros são:

- Intervalo: seleção da planilha que contenha o nome do local, sua Latitude e Longitude e o peso a ser transportado para ele.
- Corr. Distância: o Fator de Correção de Distância a ser aplicado (somente nos casos em que é um único multiplicador. No problema em questão foi utilizada uma equação de ajuste de linha, logo, este parâmetro foi ignorado.
- Tempo de Ciclo: o tempo no qual o caminhão e sua equipe está disponível para o trabalho (em horas).

- Tempo de Parada: o tempo no qual o caminhão fica parado no ponto de entrega (em horas, formato decimal).
- Velocidade média: a velocidade média desenvolvida pelos caminhões, em quilômetros por hora.
- Capacidade do veículo: a capacidade de carga em peso (toneladas) do veículo utilizado.
- Coordenadas do Depósito: Latitude (X) e Longitude (Y) da localização do depósito, de onde partem as entregas.

7.5.3 Implementação do algoritmo

1. Inicializar matrizes internas, carregando os nós informados no Intervalo.
2. Fazer a combinação dos nós “n” a 2. Para cada nó, percorrer a matriz de nós, criando um par (a segunda fase de Clark & Wright). Foi feita uma alteração para testar se a restrição de peso da carga para os pontos é violada nessa combinação. Ao juntar os pontos, calcular a “economia” de sua junção.
3. Classificar a matriz de ligações em ordem decrescente de “economia”.
4. Para cada ligação (dois pontos unidos no passo 2), efetuar o teste:
 - a. Caso não pertençam a roteiro algum: Criar um roteiro com essa ligação.
 - b. Caso um dos pontos seja um nó interno de outro roteiro existente: pular para a próxima ligação.
 - c. Caso um dos pontos seja um nó externo de um roteiro existente: testar restrições e, se permitirem, anexar o arco ao roteiro.
 - d. Caso ambos os nós já estejam no mesmo roteiro: pular para a próxima ligação.

- e. Caso ambos os nós já estejam em roteiros diferentes: pular para a próxima ligação.
 - f. Caso ambos os nós sejam extremos em roteiros diferentes: testar restrições e, se permitirem, fundir os dois roteiros.
5. Varrer a matriz de pontos e, para cada ponto que não tenha sido incluído em um roteiro, criar um só para ele.

7.6 Demonstração do cálculo da Distância no Grande Círculo

A formula aplicada para calcular a distância no Grande Círculo, utilizada neste trabalho, pode ser demonstrada segundo Weisstein (1999):

É o menor caminho entre dois pontos em uma esfera. Para encontrar a distância no Grande Círculo (Geodésica) entre dois pontos, localizados na Latitude δ e longitude λ de (δ_1, λ_1) e (δ_2, λ_2) em uma esfera de raio α , converta as coordenadas esféricas em Cartesianas utilizando a fórmula:

$$\mathbf{r}_i = \alpha \begin{bmatrix} \cos \lambda_i \cos \delta_i \\ \sin \lambda_i \cos \delta_i \\ \sin \delta_i \end{bmatrix}. \quad (1)$$

(Note-se que a Latitude δ está relacionada com a Colatitude Φ (explicada adiante) das coordenadas esféricas por: $\delta = 90^\circ - \Phi$, logo, a conversão para Coordenadas Cartesianas substitui $\sin \Phi$ e $\cos \Phi$ por $\cos \delta$ e $\sin \delta$, respectivamente).

Agora deve-se encontrar o ângulo α entre \mathbf{r}_1 e \mathbf{r}_2 , utilizando o produto interno (Dot Product):

Cos α	=	$\hat{\mathbf{r}}_1 \cdot \hat{\mathbf{r}}_2$
	=	$\cos \delta_1 \cos \delta_2 (\sin \lambda_1 \sin \lambda_2 + \cos \lambda_1 \cos \lambda_2) + \sin \delta_1 \sin \delta_2$
	=	$\cos \delta_1 \cos \delta_2 \cos(\lambda_1 - \lambda_2) + \sin \delta_1 \sin \delta_2.$

A formula da Distância no Grande Círculo pode ser deduzida então:

$$d = a \cos^{-1} [\cos \delta_1 \cos \delta_2 \cos(\lambda_1 - \lambda_2) + \sin \delta_1 \sin \delta_2]. \quad (3)$$

No livro de Robinson utiliza-se uma variante dessa fórmula, mais simplificada.

Como explicado em Robinson (1995), segundo a convenção WGS 84, cada grau do arco distância equivale a 111,20 km, assim sendo, pode-se calcular a distância entre dois pontos multiplicando-se o Arco distância por 111,20 km.

7.6.1 Colatitude

Segundo Weisstein (1999):

O ângulo polar em uma esfera, medido a partir do Polo Norte, ao invés do Equador. O ângulo Φ , nas coordenadas esféricas, é a Colatitude e é relacionada com a Latitude (δ) pela fórmula: $\Phi = 90^\circ - \delta$.

7.6.2 Produto Interno (Dot Product)

Ainda segundo Weisstein (1999):

O produto interno pode ser definido por:

$$\mathbf{X} \cdot \mathbf{Y} = |\mathbf{X}| |\mathbf{Y}| \cos \theta, \quad (1)$$

Onde θ é o ângulo entre os dois vetores, logo $\mathbf{X} \cdot \mathbf{Y} = 0$ se \mathbf{X} é perpendicular a \mathbf{Y} . O produto interno é escrito como (a, b) . Escrevendo as formulas:

$$A_x = A \cos \theta_A \quad B_x = B \cos \theta_B \quad (2)$$

$$A_y = A \sin \theta_A \quad B_y = B \sin \theta_B, \quad (3)$$

Segue-se que a fórmula (1) leva a:

$$\begin{aligned} \mathbf{A} \cdot \mathbf{B} &= AB \cos(\theta_A - \theta_B) \\ &= AB(\cos \theta_A \cos \theta_B + \sin \theta_A \sin \theta_B) \\ &= A \cos \theta_A B \cos \theta_B + A \sin \theta_A B \sin \theta_B \\ &= A_x B_x + A_y B_y. \end{aligned} \quad (4)$$

Logo, em geral utiliza-se a fórmula:

$$\mathbf{X} \cdot \mathbf{Y} = x_1 y_1 + \dots + x_n y_n. \quad (5)$$

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, Maria Fernanda B, SANCHES, Suely da Penha (2000) **Roteirização de veículos para o transporte de alunos da zona rural com auxílio de um SIG**. São Carlos. Projeto de pesquisa. UFSC PPG – Engenharia Civil.
- ALVARENGA, Antonio C., NOVAES, Antonio G (2000) **Logística aplicada – suprimento e distribuição física**. 3ª ED. São Paulo. Edgard Blücher.
- ÁVILA, Geraldo (1998) **Introdução ao cálculo**. Rio de Janeiro. LTC.
- BALLOU, Ronald H. (2001) **Gerenciamento da cadeia de suprimentos**. 4ª ed. Trad. de Elias Pereira. Porto Alegre. Bookman.
- BOWERSOX, Donald J., Closs, David J. (2001) **Logística Empresarial – O processo de integração da cadeia de suprimento**. Trad. de Adalberto Ferreira das Neves. São Paulo. Atlas.
- CLARK, G, WRIGHT, J. W. (1964) **Scheduling of vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points**. Operations Research, v. 12, p 568-581.
- FLEURY, Paulo F., WANKE, Peter, FIGUEIREDO, Kleber F. *et al* (2000) **Logística Empresarial: A Perspectiva Brasileira**. São Paulo. Atlas.
- GERSTING, Judith L. (2001) **Fundamentos Matemáticos para a Ciência da Computação**. 4ª ed. Trad. de Valéria de Magalhães Iorio. Rio de Janeiro. LTC.
- GOLDBARG, Marco C., LUNA, Henrique P. (2000) **Otimização Combinatória e Programação Linear**. Rio de Janeiro. Campus.
- KEENAN, Peter B. (1998) “Spatial Decision Support Systems for Vehicle Routing”. *In Elsevier*, 22. p 65-71.
- NOVAES, Antonio G. (1989) **Sistemas Logísticos: Transporte, Armazenagem e Distribuição Física de Produtos**. São Paulo. Edgard Blücher.
- NOVAES, Antonio G. (2001) **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição**. Rio de Janeiro. Campus.

- ROBINSON, Arthur H. *et al* (1995) **Elements of cartography**. 6ª Ed. Nova Iorque. Wiley.
- SÁ, Robertson M. (2001) **Um modelo de roteirização para racionalização do atendimento das solicitações de serviço nas empresas de utility: o caso da Companhia Energética de Brasília**. Brasília. Dissertação de Mestrado. UCB.
- TARANTILIS, C. D., KIRANOUDIS, C.T. (2001) “Using a spatial decision support system for solving the vehicle routing problem”. *In Elsevier, Information & Management*, **39**. pg 359-375.
- WEISSTEIN, Eric W.,(1999) [**Concise Encyclopedia of Mathematics**]. Disponível: <http://mathworld.wolfram.com>.