



**SCHOOL OF  
ECONOMICS &  
MANAGEMENT  
LISBON**

**MESTRADO**

**DECISÃO ECONÓMICA E EMPRESARIAL**

**TRABALHO FINAL DE MESTRADO**

**TRABALHO DE PROJETO**

**OTIMIZAÇÃO DE RECOLHAS DE PARTES AUTOMÓVEIS DE  
FORNECEDORES EUROPEUS**

**DAVID GRANJA LOPES**

**ORIENTAÇÃO:**

**PROF.<sup>ª</sup> DOUTORA MARIA CÂNDIDA VERGUEIRO MONTEIRO CIDADE  
MOURÃO**

**SR. JOSÉ PIRES**

**2013**

## OTIMIZAÇÃO DE RECOLHAS DE PARTES AUTOMÓVEIS DE FORNECEDORES EUROPEUS

Por David Lopes

Resumo: Este trabalho debruça-se sobre a otimização do transporte de componentes automóveis. Começa-se por fazer uma revisão bibliográfica e de seguida um enquadramento da situação a estudar, bem como da empresa onde será aplicado (Volkswagen Autoeuropa). É desenvolvido um modelo matemático que permite identificar as rotas ótimas. O objetivo principal deste trabalho é a identificação de rotas otimizadas que permitam o aumento da eficiência, económica e operacional, da cadeia de abastecimento da Volkswagen Autoeuropa. Os resultados foram bastantes promissores, pois foi possível obter uma poupança média de 37% nas rotas identificadas.

Abstract: This work focuses on optimizing the transport of automotive components. Starts by a literature review and then a framework of the situation being studied, as well as the company where it will be applied (Volkswagen Autoeuropa). A mathematical model that identifies the optimal routes is developed. The main objective of this work is the identification of optimal routes which can increase efficiency, economic and operational, of the supply chain of Volkswagen Autoeuropa. The results were very promising as it was achieved an average saving of 37% on the identified routes.

**Otimização de recolhas de partes automóveis de fornecedores europeus**

Palavras-chave: Otimização, rotas de veículos, Milkruns, relações diretas, poupanças, logística, cadeia de abastecimento, partes automóveis, negociação.

Keywords: Optimization, vehicle routing, milkruns, direct relations, savings, logistic, supply chain, automobile components, negotiation.

## Agradecimentos

A realização e conclusão deste Trabalho Final de Mestrado (TFM) só foi possível graças ao contributo e auxílio, de forma direta ou indireta, de vasto grupo de pessoas que através dos seus conhecimentos, quer académicos quer profissionais, me proporcionaram a oportunidade de aprofundar os meus conhecimentos, bem como de ser exposto a um contexto profissional bastante característico, e como tal não poderia deixar de agradecer a estas pessoas.

À Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Cândida Vergueiro Monteiro Cidade Mourão (coordenadora do Trabalho Final de Mestrado) por toda a disponibilidade demonstrada ao longo da realização deste trabalho. Nunca apresentou qualquer tipo de impedimento ou de indisponibilidade sempre que pretendia marcar uma reunião, tirar dúvidas ou até mesmo para discutir resultados, metodologias e perspetivas de abordagem ao tema. Agradeço também todo o material disponibilizado, que se revelou ser bastante útil e até mesmo essencial à execução do trabalho. Acima de tudo fiquei grato por toda a paciência demonstrada.

Ao José Pires (coorientador do TFM e Supervisor de Transportes na Volkswagen Autoeuropa) por ter assumido a responsabilidade de me orientar na realização do trabalho, por se mostrar sempre disponível para responder às minhas questões, por mais insignificantes que pudessem ser, por toda a informação facultada, pelo voto de confiança que depositou em mim e no trabalho que desenvolvi e pela ótima relação de trabalho que foi possível desenvolver.

Ao Paulo Monteiro (Inbound Logistics Manager at Volkswagen of America, Inc), com quem comecei por trabalhar, que se revelou uma das pessoas mais extraordinárias com quem tive oportunidade de trabalhar, quer pelos conhecimentos que demonstra do setor automóvel quer pela capacidade de orientação e coordenação. Agradeço principalmente o facto de me ter dado a oportunidade integrar numa grande equipa, pois foi um dos intervenientes da

**Otimização de recolhas de partes automóveis de fornecedores europeus**

entrevista de admissão. O período que trabalhei com o Paulo fez-me crescer bastante tanto em termos profissionais como em termos pessoais, pois colocou à prova as minhas capacidades, e pelo qual fiquei bastante grato. Agradeço-lhe ainda toda a disponibilidade que demonstrou para ensinar, todas as informações disponibilizadas, o voto de confiança que depositou em mim, no meu trabalho e nas minhas capacidades para desenvolver os projetos exigidos.

À Dinora Guerreiro (Supply Chain & Transports Manager na Volkswagen Autoeuropa) pela sua constante disponibilidade para esclarecer dúvidas relativamente a todos os processos que estavam relacionados com o trabalho, pela participação ativa, relevante e decisiva no meu processo de recrutamento.

À Cláudia Carpelho pelo excelente ambiente de trabalho proporcionado, por responder a todas as perguntas que lhe colocava relativas a temas do trabalho bem como pela disponibilização de dados relevantes.

Ao Júlio Castro (Accounting Manager na Volkswagen Autoeuropa) por me ter proporcionado as condições e a oportunidade de desenvolver o trabalho no departamento de Logística.

A todas as pessoas com quem tive a oportunidade de trabalhar na Volkswagen Autoeuropa pelo excelente ambiente de trabalho e a constante entajuda.

Por último, mas não menos importante, ao Instituto Superior de Economia e Gestão, ao qual muito me orgulho de pertencer, agradeço a oportunidade para a elaboração deste trabalho de projeto bem como o elevado nível de formação proporcionado, que em muito contribuiu para a realização do mesmo.

## Índice

Agradecimentos .....	3
Introdução.....	6
Revisão de Literatura .....	8
Caso de estudo: Volkswagen Autoeuropa.....	13
Conceito Logístico (aplicado na VW/AE) .....	15
Objetivos .....	17
Metodologia.....	18
Análise dos dados.....	20
Modelo matemático.....	22
Identificação das rotas (resultados) .....	25
Negociação.....	27
Cálculo das poupanças .....	28
Conclusões .....	29
Obras Citadas .....	30

## Introdução

O sector automóvel é um dos mais competitivos da economia mundial e, como tal, as empresas envolvidas procuram ser o mais eficientes possível. A elevada complexidade desta indústria em termos de produção, distribuição e aquisição de peças, faz com que necessite de múltiplos sistemas de decisão bastante eficientes e precisos.

O bom funcionamento do processo de aquisição das peças e respetivo transporte conduz a uma produção de veículos menos problemática, sem rutura de *stocks* e que evita mesmo a paragem das linhas de produção (uma das maiores preocupações destas empresas, pois uma paragem de linha pode custar milhares de euros).

O projeto foi desenvolvido com a colaboração do departamento de Gestão de Materiais e Transportes, da Volkswagen Autoeuropa. Neste é apresentado um modelo de roteamento de veículos que permite identificar rotas entre fornecedores, segundo as especificações dadas pela empresa. O modelo apresenta algumas características específicas, mais concretamente: procura determinística e indivisível, homogeneidade dos veículos utilizados e bonificação para as rotas que ocupem mais de 80% da capacidade do camião. Pretende-se a identificação das rotas que, transportando todo o material dos fornecedores para Autoeuropa, minimizem a distância total percorrida.

Será feita uma pequena descrição da empresa, em termos dos objetivos de médio-longo prazo e da organização logística da mesma, de forma a enquadrar os objetivos do próprio trabalho.

**Otimização de recolhas de partes automóveis de fornecedores europeus**

Para um melhor enquadramento do trabalho foi realizada uma revisão bibliográfica, onde se faz referência a textos que serviram de suporte à realização deste mesmo projeto.

Posteriormente será apresentada a metodologia de trabalho, onde constam os resultados da análise dos dados, o modelo desenvolvido e respetivas restrições para a identificação das rotas. Por fim, será apresentado o processo de negociação, para implementação das rotas, bem como os resultados obtidos nessas negociações.



## Revisão de Literatura

No mundo da Investigação Operacional o problema de roteamento de veículos (*VRP – Vehicle Routing Problem*) tem sido vastamente estudado. Neste pretendem identificar-se as rotas ótimas, sujeitas a algumas restrições, que cubram um conjunto de fornecedores ou de clientes (Toth & Vigo, 2002). O *VRP* é um problema NP-difícil, pois deriva do *Traveling Salesman Problem (TSP)*. O *TSP* procura determinar a rota mais curta, passando por todos os pontos e partindo do princípio de que qualquer par de pontos está ligado entre si (Dantzig & Ramser, 1958). Sendo o *VRP* uma derivação do *TSP* a principal distinção entre eles são as restrições de capacidade associadas ao transporte.

O primeiro artigo publicado sobre o *VRP* data de 1958 (Dantzig & Ramser, 1958). Neste o problema é descrito, explica-se porque é que é NP-difícil, e apresenta-se uma aplicação prática, uma formalização matemática e um algoritmo de resolução.

Desde então, têm sido estudadas várias abordagens e alterações ao modelo inicial, de forma a responder a novos problemas, com características específicas, que têm vindo a surgir. Assim, as restrições a que o problema está sujeito são adaptadas para uma melhor resposta ao caso prático, podendo estes modelos ser assim aplicados nos mais diversos contextos empresariais. As diferentes adaptações possibilitaram a ramificação do *VRP*, isto é, surgiram *VRP* mais específicos que se definem de seguida e se representam na Figura 1 (Toth & Vigo, 2002).

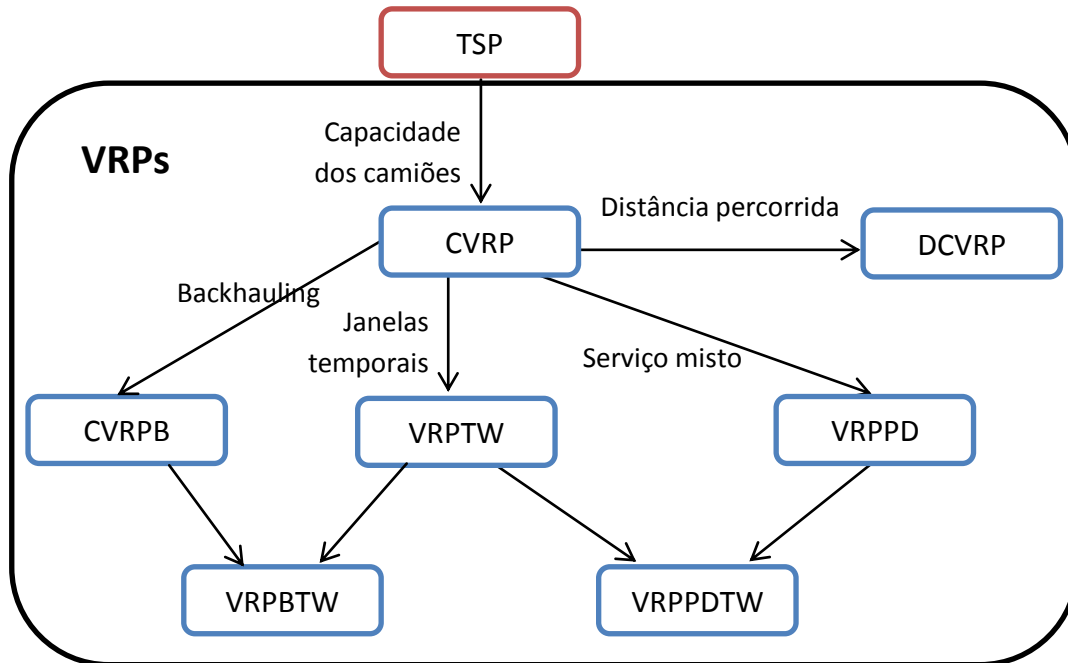


Figura 1 Classe dos VRPs e respetivas relações.

No CVRP (*Capacitated Vehicle Routing Problem*) – todos os fornecedores são conhecidos bem com as respetivas procuras, que se assumem determinísticas, conhecidas e, frequentemente, indivisíveis. Os veículos utilizados são idênticos entre si. Em termos de restrições funcionais, consideram-se adicionalmente, face ao TSP, as de capacidade dos camiões. Por norma, este tipo de problema tem como objetivo a minimização dos custos.

O DCVRP (*Distance-Constrained CVRP*) – é a extensão do CVRP que inclui uma restrição associada à distância máxima a percorrer por rota (Toth & Vigo, 2002).

O CVRPB (*CVRP with Backhauls*) – consiste em dividir os clientes em dois grupos distintos. O primeiro grupo é composto por clientes para os quais se conhecem as quantidades de produtos a entregar. O segundo grupo representa o conjunto de fornecedores a visitar, e para o qual se conhece a quantidade de produto a recolher. Neste problema, os clientes, onde é suposto entregar produtos, devem ser os

primeiros a ser visitados, pois o camião parte carregado e deve ser descarregado antes de iniciar o percurso de recolhas (Toth & Vigo, 2002).

O VRPTW (*VRP with Time Windows*) – é uma extensão do CVRP onde são impostas restrições de capacidade e é ainda associada uma janela temporal a cada fornecedor. Ou seja, a cada fornecedor é associado um intervalo temporal que indica o período em que um camião deve chegar. Para tal, é necessário indicar também os tempos de transporte entre fornecedores e entre os fornecedores e o depósito, bem como o tempo que demora a realizar cada serviço (Toth & Vigo, 2002).

O VRPPD (*VRP with Pickup and Delivery*) – representa um problema de recolha e distribuição de produtos homogéneos. A cada cliente está associada uma procura e uma oferta de determinado produto que deve ser entregue e recolhido na mesma visita (Toth & Vigo, 2002).

O VRPBTW (*VRP with Backhauls and Time Windows*) – é uma combinação dos problemas VRPB e VRPTW, onde as entregas e as recolhas devem respeitar um período de serviço.

VRPPDTW (*VRP with Pickup and Delivery and Time Windows*) – neste tipo de problema são acrescentados, aos pressupostos do VRPPD, as restrições associadas às janelas temporais, ou seja, o serviço deve ser realizado no período temporal estabelecido.

Neste projeto, e à semelhança do que é descrito no livro “*The Vehicle Routing Problem*” de Paolo Toth e Daniele Vigo (Toth & Vigo, 2002), a rede de ligações é representada por um grafo não orientado. Neste, os vértices representam os pontos a visitar e os arcos representam os caminhos mais curtos (resultantes do mapa de estradas) entre os pontos a visitar. A rede é não orientada pois o camião pode circular

**Otimização de recolhas de partes automóveis de fornecedores europeus**

em ambos os sentidos (estabelecemos que a distância entre o ponto A e B seria igual à distância entre B e A).

A cada vértice estará associada uma procura<sup>1</sup> que deve ser recolhida e descarregada no depósito (que neste caso é representado pela fábrica de automóveis).

O VRP tem sido intensivamente utilizado pelas indústrias produtoras de bens para a otimização e organização das recolhas e transporte, dos mais variados tipos de componentes, junto dos seus fornecedores e clientes.

Em 2010, Ben Peterson, Willem-Jan van Hoeve e Sham Kekre (Peterson, et al., 2010) aplicaram este problema à filial norte-americana da Bosh/Siemens Home Appliances, produtora de eletrodomésticos. Identificaram os fornecedores responsáveis por 80% do volume total a transportar e que realizavam pelo menos 40 transportes por ano. O estudo resultou numa poupança de 25% no custo total do transporte referente a estes fornecedores.

Devido ao elevado nível concorrencial do sector automóvel, as marcas têm investido bastante tempo e recursos na otimização dos custos de produção dos seus automóveis. A Investigação Operacional e, em particular, o tipo de problemas abordado neste trabalho, tem tido aí um papel fundamental.

Toshinori Nemoto (Nemoto, 2010) estudou, para a Toyota Motor Corporation, o efeito que a implementação de um sistema de rotas otimizadas pode ter na estrutura de custos da empresa. Neste sentido, avaliou ainda o impacto nos inventários (níveis e *timing (just-in-time)*) e no ambiente, proveniente da redução do número de transportes.

---

<sup>1</sup> A cada vértice está associada uma procura pois o trabalho é abordado na perspetiva da Volkswagen Autoeuropa que procura os componentes de diferentes fornecedores.

**Otimização de recolhas de partes automóveis de fornecedores europeus**

Este trabalho faz referência a transportes de longa distância uma vez que os fornecedores da empresa em estudo estão localizados por toda a Europa. Em consequência, os bens têm que percorrer grandes distâncias até chegar ao destino. O transporte de mercadorias de longo curso origina um tempo de trânsito relativamente elevado. Tal faz com que o processo de negociação com os transportadores seja intenso e demorado, pois o custo total do contrato de transporte depende de muitas variáveis (Ghiani, et al., 2004).

## Caso de estudo: Volkswagen Autoeuropa

Este projeto foi realizado na Volkswagen Autoeuropa (VW/AE), em colaboração com o departamento de Gestão de Materiais e Transportes.

A VW/AE é uma das 100 fábricas do Grupo Volkswagen que, em conjunto, produziram, no ano de 2012, cerca de 9,26 milhões de carros, em 280 modelos diferentes. Fazem parte deste Grupo marcas como a Seat, Audi, Skoda, Bugatti, Bentley, Lamborghini, Porsche, MAN ou Ducati, o que o torna num dos mais complexos em termos logísticos e de Planeamento.

Num contexto económico, como o que estamos a atravessar e num sector extremamente competitivo, é necessário minimizar os custos logísticos, por forma a tentar reduzir os custos unitários dos veículos e a conquistar quota de mercado. Tal atuação mostra-se ainda mais relevante nos países emergentes, onde ainda não se conseguiram obter os resultados pretendidos.

Para fazer face ao nível concorrencial que o sector automóvel tem registado, no ano de 2007 numa das conferências do Grupo, foram estabelecidos objetivos de médio/longo-prazo bastante ambiciosos. O documento resultante foi denominado Mach18 (metas a alcançar até ao ano de 2018) (Autoeuropa, 2013). Numa visão mais geral estabeleceram-se os seguintes objetivos para o Grupo Volkswagen:

- Clientes: ser o N<sup>o</sup>1 na satisfação do cliente, em qualidade e na aplicação dos melhores processos.
- Colaboradores: ser o maior empregador do sector Automóvel.

**Otimização de recolhas de partes automóveis de fornecedores europeus**

- Lucro: conseguir um EBITA superior a 8%.
- Crescimento: vender mais de 10 milhões de veículos por ano.

Definidos os objetivos gerais do Grupo, cada fábrica teve de os adaptar à sua realidade e definir os seus próprios objetivos, para poder contribuir, da melhor forma, para o sucesso do Grupo. A VW/AE não foi exceção, pelo contrário, em alguns pontos definiu mesmo metas mais ambiciosas que o próprio Grupo. Os quatro objetivos gerais foram então subdivididos em 6 categorias (Autoeuropa, 2013):

1. Clientes:

1.1. Qualidade: reduzir em 50% o número de falhas por carro, e cumprir os tempos de entrega.

2. Colaboradores:

2.1. Cultura de equipa: motivar os colaboradores para um melhor ambiente de trabalho.

2.2. Competência técnica: trabalhar com colaboradores 100% qualificados a exercer funções em qualquer uma das fábricas do Grupo.

3. Lucro:

3.1. Produtividade: reduzir 20% os custos de fábrica (por carro) e alcançar a máxima eficiência em todas as áreas da fábrica.

4. Crescimento:

4.1. Inovação: fomentar as inovações técnicas, pois estas asseguram vantagens competitivas, a longo prazo.

4.2. Lançamento: maximizar as oportunidades de negócio e tornar os lançamentos um processo-rotina.

No seguimento dos objetivos apresentados, o grupo Volkswagen desenvolveu um novo conceito Logístico, adaptado às suas necessidades, e aplicado em todas as unidades de produção.

### Conceito Logístico (aplicado na VW/AE)

Ao nível do transporte *Inbound* de mercadorias, existem cinco tipos de relação:

- Transporte via Centro de Consolidação (*KCC*<sup>2</sup>): o fornecedor comunica ao transportador que este deve ir recolher a mercadoria, e transportá-la para o *KCC* na Alemanha (para o *KCC* Norte – Baunatal ou para o *KCC* Sul – Heilbronn, dependendo da distância a que o fornecedor se encontra destes). Uma vez no *KCC*, a mercadoria é consolidada e carregada num camião. Este só deve efetuar o transporte com mais de 85% da sua capacidade ocupada. A consolidação da carga é da responsabilidade do *KCC*.
- Transportes Regionais: Todos os fornecedores de peças localizados em França, Espanha e Portugal efetuam transportes regionais, pois não se justifica que os fornecedores destes países enviem as cargas para os *KCCs* na Alemanha, para depois serem reenviadas para Portugal. Existem contratos celebrados entre empresas transportadoras e a VW/AE, que garantem o transporte das peças até à fábrica.
- Relações Diretas (RD) / *Milkruns* (MR): As relações diretas (RD) referem-se a transportes dedicados entre um único fornecedor e a VW/AE. Os *Milkruns* (MR) são um método de recolha muito utilizado em logística e referem-se a rotas

---

<sup>2</sup> *KCC – Konzern Consolidation Center*



**Otimização de recolhas de partes automóveis de fornecedores europeus**

dedicadas entre vários fornecedores e a VW/AE. Nos MR, um camião recolhe toda a mercadoria pedida pela fábrica, em um ou mais fornecedores, e entrega-a na fábrica sem passar pelos *KCCs*.

- Transporte aéreo: Este tipo de transporte é pouco expressivo, representando 3% do volume total. Apenas as peças vindas dos EUA e do Japão recorrem a este tipo de transporte.
- Transporte marítimo: À semelhança do meio de transporte anterior, o transporte marítimo é também pouco significativo no contexto global da fábrica.

Enquadrado na Área da Logística, o departamento de Gestão de Materiais e Transportes, da VW/AE, viu também os seus objetivos ficarem mais exigentes após definido o Mach18. Tal justifica-se por as suas atividades terem impacto direto no valor unitário de produção dos veículos. Mais especificamente, os custos de transporte das peças, denominados BNK (*Beschaffung Neben Kosten*)<sup>3</sup>, sofreram um decréscimo no orçamento anual previsto, esperando-se assim que fiquem abaixo, ou que pelo menos não ultrapassem, as metas definidas.

---

<sup>3</sup> BNK – Custos relacionados com a aquisição de material (procurement related costs), onde se incluem todos os custos inerentes à colocação da mercadoria na fábrica (custos de transporte, custos de manuseamento e custos logísticos).

## Objetivos

Este projeto tem como principais objetivos diminuir os custos logísticos, aumentar o controlo sobre as mercadorias, nivelar a quantidade de mercadoria rececionada na fábrica e acelerar o processo de carga e descarga do material, através da identificação de *Milkruns*. Por forma a nivelar a quantidade de mercadoria rececionada na fábrica, foram calculadas as necessidades médias semanais das várias peças, para que as rotas que forem identificadas se realizem pelo menos uma vez por semana.

Os parceiros logísticos são contratados externamente. A identificação e otimização das rotas são cruciais, pois *full-truck-loads (FTL)* são mais atrativos para os transportadores. De facto, ao proporcionarem uma maior rentabilização do espaço disponível no camião, permitem a negociação dos custos, originando um custo unitário (por Kg) bastante inferior. Um *FTL* tem um camião dedicado, normalmente com uma capacidade máxima de 24 toneladas (mais ou menos 100 m<sup>3</sup>) – designado *Megatrailer*<sup>4</sup>.

As propostas dos transportadores, em termos de custos, dependem de três grandes fatores: das distâncias percorridas; do espaço/peso utilizado (no nosso caso, assume-se que o camião vem otimizado) e dos preços dos combustíveis.

Uma vez que já existem contratos para os *Less-than-Truckload (LTL)* – nestes casos a mercadoria deve passar pelos *KCCs* ou vir por transporte regional (para os casos acima mencionados) – neste trabalho focamo-nos apenas na identificação de Relações Diretas ou *Milkruns*.

---

<sup>4</sup> Megatrailer – camião com 13,4m x 2,48m x 3m de dimensão (aproximadamente 100m<sup>3</sup>).

## Metodologia

Numa fase inicial, e antes de se começar a trabalhar os dados, é necessário perceber a dinâmica da empresa, os processos existentes, o seu funcionamento e qual o impacto que o projeto pode ter para esta.

Após este processo de reconhecimento, recolhe-se a informação que se considera ser a mais relevante e pertinente.

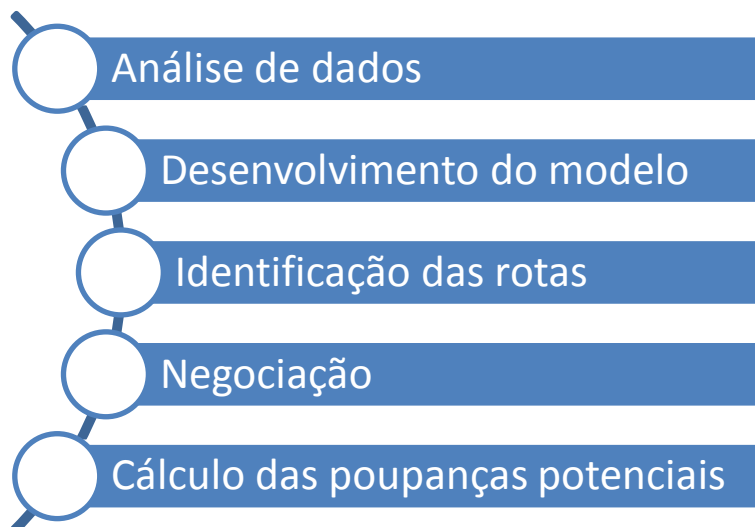


Figura 2 Metodologia

Na Figura 2 podemos observar o encadeamento dos passos seguidos no projeto. Este encadeamento apresenta algumas semelhanças com o encadeamento teórico apresentado, em Londres, no *World Congress on Engineering 2011* (Brar & Saini, 2011).

1. Análise dos dados: a informação recolhida é tratada, filtrada e analisada, por forma a corrigir eventuais incongruências que possam enviesar os resultados e, consequentemente, as decisões que possam vir a ser tomadas.

**Otimização de recolhas de partes automóveis de fornecedores europeus**

2. Desenvolvimento do Modelo: é desenvolvido um modelo matemático, que contemple todas as restrições identificadas e otimize os objetivos estabelecidos.
3. Identificação das rotas (resultados): uma vez sintetizada a informação necessária, aplica-se o modelo aos dados recolhidos, para se obterem as rotas ótimas da instância do problema.
4. Negociação: com as rotas identificadas, com os respetivos documentos de especificação criados e com a aprovação prévia das chefias, é necessário ir a mercado e dar início ao processo de negociação do valor do contrato para a rota em questão. O facto de se ir a mercado faz com que as negociações sejam mais vantajosas para a VW/AE, devido às leis da concorrência.
5. Cálculo das poupanças potenciais: finalizadas as negociações entre a VW/AE e os diversos transportadores é identificada a melhor proposta, e assinado o contrato de transporte. A partir desse momento está-se em condições de fazer uma comparação mais detalhada, em termos de custos, entre a situação anterior e a situação prevista para o futuro. É de salientar que as poupanças calculadas são apenas teóricas, pois existem variáveis que não podem ser controladas (greves, acidentes, avarias, condições meteorológicas, indisciplina dos fornecedores, problemas na produção das peças, etc.).

## Análise dos dados

A VW/AE, em 2012, contribuiu com 112.550 carros (um decréscimo de 14% em relação a 2011) para o total de veículos produzidos pelo Grupo, com a produção a dividir-se por quatro modelos: VW Scirocco (33.620 unidades), VW Eos (11.138 unidades) e os VW Sharan (48.399 unidades) SEAT Alhambra (19.393 unidades).

Da produção total, 99% foi exportada tendo como principais destinos a Alemanha, a China e o Reino Unido.

Tendo como referência os dados de 2012, quer em termos de faturação quer em termos de mercadoria transportada, a VW/AE estabelece relações comerciais com mais de 600 fornecedores. Embora distribuídos por todo o mundo a Alemanha, Espanha, Portugal e República Checa são os países mais expressivos em termos de fornecedores (cerca de 80% do total).

Relativamente a custos de transporte, 97% destes referem-se a transportes terrestres e 75% dos países acima mencionados, de onde foram transportadas mais de 113 mil toneladas de material (o equivalente a mais de 500 mil m<sup>3</sup>).

Dos dados recolhidos foi possível retirar a seguinte informação:

- Dos mais de 600 fornecedores ativos apenas 433 (15 países) irão fazer parte integrante do estudo, pois apenas estes transportam, em média, mais de 75kg por semana.
- 80% do peso transportado provém da Alemanha, Portugal, Espanha e República-Checa.

**Otimização de recolhas de partes automóveis de fornecedores europeus**

- São utilizados mais de 200 tipos de contentores diferentes no transporte das peças, e cada fornecedor utiliza, em média, 2 contentores diferentes.
- Em 2012, a segunda-feira foi o dia da semana em que se registaram os maiores fluxos de chegada de material à fábrica. Este fenómeno deve-se ao facto de o sábado ser dia de trânsito mas não ser considerado um dia normal de trabalho nem dia de descarga. Assim, os camiões que chegam à fábrica neste dia só podem ser descarregados na segunda-feira, acumulando com os que chegam na própria segunda.

Na Tabela 1 podemos observar alguma informação, por país, sobre o número de fornecedores a analisar; a distância média destes à Volkswagen Autoeuropa; a distância média entre fornecedores e o número de arestas da rede.

País	Número de fornecedores	Distância média à Autoeuropa (km)	Distância média entre fornecedores	Arestas da rede
Alemanha	228	2.432	337	51.984
Espanha	63	1.019	361	3.969
República Checa	32	2.847	188	1.024
Portugal	15	237	199	225
Hungria	14	3.142	207	196
Itália	14	2.295	311	196
França	13	1.789	534	169
Polónia	11	3.157	310	121
Roménia	10	3.434	145	100
Eslováquia	7	3.162	227	49
Bélgica	6	2.125	142	36
Suíça	6	2.191	203	36
Turquia	6	4.412	407	36
Áustria	4	2.627	311	16
Reino Unido	4	2.407	241	16

Tabela 1- Dados resumo sobre os fornecedores.

## Modelo matemático

Para resolver este problema recorreremos a um modelo de roteamento de veículos (VRP). Seja  $S = \{Fornecedores\}$  e  $N = S \cup \{A\}$  onde  $A$  corresponde à VW/AE. A cada fornecedor  $i \in S$  está associada uma procura indivisível  $P_i$ , que corresponde à procura semanal de peças na VW/AE, em peso taxável total.  $P_i$  corresponde à procura a ser transportada do fornecedor  $i$ , com  $i \in S$ . A matriz de distâncias é  $D = [d_{ij}]$ , sendo  $d_{ij}$  a distância entre o fornecedor  $i$  e o fornecedor  $j$ , com  $i, j \in S$  e  $i \neq j$ , e  $d_{iA}$  a distância entre o fornecedor  $i$  e  $A$  (VW/AE). A capacidade dos camiões será dada pela constante  $C$ , em kg. A constante  $C$  assume sempre o mesmo valor pois iremos usar uma frota homogénea de camiões.

São utilizadas, como variáveis de decisão, as variáveis binárias:

$x_{ij} \in \{0,1\}$  que estabelecem uma conexão entre o fornecedor  $i$  e o fornecedor  $j$ , sendo  $x_{ij} = 1$  se a conexão entre o fornecedor  $i$  e o fornecedor  $j$  é utilizada;

$y_i \in \{0,1\}$  que irão ajudar na identificação de *Milkruns* com uma utilização mínima de  $M$  Kg por camião, sendo  $y_i = 1$  caso o camião que sai do fornecedor  $i$  transporte  $M$  kg ou mais.

$$\text{Min } Z = \sum_{i \in S} \sum_{j \in S} d_{ij} x_{ij} + \sum_{i \in S} d_{iA} x_{iA} - \sum_{i \in S} d_{iA} y_i \quad (1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x_{iA} + \sum_{j \in S} x_{ij} = 1, \forall i \in S \end{array} \right. \quad (2)$$

$$\sum_{j \in S} x_{ji} \leq 1, \forall i \in S \quad (3)$$

$$x_{iA} - \sum_{j \in S} x_{ji} \geq 0, \forall i \in S \quad (4)$$

$$P_i x_{iA} + \sum_{j \in S} x_{ji} P_j \leq C, \forall i \in S \quad (5)$$

$$P_i x_{iA} + \sum_{j \in S} x_{ji} P_j - M y_i \geq 0, \forall i \in S \quad (6)$$

$$x_{ij}, x_{iA} \in \{0,1\}, y_i \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in S$$

- (1) A função objetivo minimiza a distância percorrida pelo camião, incluindo um fator de bonificação para as rotas que respeitem a utilização mínima exigida para os *Milkruns*. Para a bonificação foi utilizada a distância entre o fornecedor  $i$  e  $A$ . Sendo  $i$  o fornecedor intermédio da rota, caso exista.
- (2) Asseguram que sai um camião de cada um dos fornecedores, garantindo a recolha de toda a procura.
- (3) Garante que qualquer fornecedor pode ser um fornecedor intermédio.
- (4) As rotas deverão ser constituídas, no máximo, por dois fornecedores, o que significa que se chegar um camião ao fornecedor  $i$ , vindo de  $j$ , então o percurso seguinte deverá ser em direção a  $A$ .



**Otimização de recolhas de partes automóveis de fornecedores europeus**

- (5) Uma vez que a carga a transportar é indivisível, a quantidade total de mercadoria a transportar não pode exceder a capacidade máxima do camião. Sendo a quantidade total a soma entre a mercadoria que chega ao fornecedor  $i$ , vinda do fornecedor  $j$ , e a mercadoria do próprio fornecedor  $i$ .
- (6) Estas restrições estabelecem um valor mínimo ( $M$ ) de referência para a quantidade de mercadoria a transportar nos *Milkruns*. Este valor não é um fator obrigatório, mas se for respeitado irá ter um efeito positivo na função objetivo.

### Identificação das rotas (resultados)

No problema em estudo os valores de  $M$  e  $C$  foram igualados a 19.000 kg e 24.000kg, respetivamente. Para a constante  $M$  é utilizado o valor de 19.000 pois representa, aproximadamente, 80% da capacidade total dos camiões utilizados. Para  $C$ , que representa a capacidade do camião, é utilizado o valor de 24.000 kg. Como referido anteriormente, os camiões utilizados são os *Megatrailler* com uma capacidade total de transporte de 24 toneladas e aproximadamente 100m<sup>3</sup> de volume.

No processo de identificação das rotas foram utilizados dois *softwares* de otimização para a resolução do modelo apresentado: Solver (Excel) e o CPLEX.

País	Rotas identificadas			Rotas ≥ 80% da capacidade do camião
	MR	RD	Total	
Espanha	29	5	34	11
Alemanha	113	2	115	9
Portugal	6	3	9	4
República Checa	16	0	16	1
França	6	1	7	1
Roménia	5	0	5	1
Reino Unido	2	0	2	0
Áustria	2	0	2	0
Bélgica	3	0	3	0
Suíça	3	0	0	0
Hungria	7	0	7	0
Itália	7	0	7	0
Polónia	5	1	6	0
Eslováquia	3	1	4	0
Turquia	3	0	3	0

Tabela 2 - Resumo dos resultados.

**Otimização de recolhas de partes automóveis de fornecedores europeus**

Na Tabela 2 podemos observar os resultados obtidos com os *softwares* indicados. Para os fornecedores alemães, espanhóis, checos, portugueses, húngaros e italianos foi utilizado o CPLEX, devido à dimensão de cada uma destas instâncias, para os restantes foi usado o SOLVER. Na Primeira coluna vêm indicados os países em análise. Na Segunda coluna apresenta-se o número de *Milkruns* (MR) identificados por país. Na terceira coluna consta o número de Relações Diretas (RD) obtidas na solução, também por país. Na última coluna são indicadas as rotas viáveis, ou seja, aquelas em que mais de 80% da capacidade do camião é utilizada.

A última coluna é bastante importante pois é aquela que indica o número de rotas que serão sujeitas a aprovação e posteriormente submetidas ao processo de negociação. As rotas consideradas viáveis são relativamente poucas dado o número total de fornecedores.

Como foi explicado nos objetivos, a Volkswagen Autoeuropa possui contratos que contemplam os *Less-than-Truckload* o que significa que todas as rotas identificadas onde se transporte menos de 80% da capacidade do camião não serão levadas a negociação.

## Negociação

Uma vez identificadas as rotas, cria-se um documento de especificação e dá-se início a uma fase de teste.

A fase de teste é um período de monitorização, ou seja, as especificações da rota são introduzidas num *software* da empresa, que faz a gestão das ordens de encomenda. Esta fase é bastante importante pois permite uma análise mais pormenorizada da rota, antes de entrar em vigor, ajuda a prevenir erros futuros e possibilita aos Analistas<sup>5</sup> um primeiro contacto com as alterações.

Após a fase de teste e a aprovação da chefia, a especificação da rota é enviada para o Departamento de Compras para que este possa negociar, com os transportadores interessados, o preço do contrato. Este preço que depende de vários fatores, de entre os quais a distância entre os fornecedores da rota, a distância total percorrida, bem como da quantidade de mercadoria transportada.

De todas as propostas irá ser selecionada aquela que apresentar o melhor valor, aliado à qualidade do serviço e à redução do tempo de trânsito da mercadoria.

---

<sup>5</sup> Profissionais responsáveis pela gestão do inventário, e por garantir que os pedidos das peças são feitos no momento correto, para evitar ruturas de inventário.

## Cálculo das poupanças

Negociações passadas<sup>6</sup> demonstraram que é possível atingir poupanças de 50%, relativamente aos custos de transporte.

Os valores apresentados são apenas teóricos, pois não é possível ter em consideração alguns dos fatores que podem comprometer o bom funcionamento das rotas (greves, acidentes, avarias, condições meteorológicas, indisciplina dos fornecedores, problemas na produção das peças, etc.).

Tendo em contas todas as rotas identificadas até ao momento, anteriores e posteriores à aplicação do modelo apresentado neste projeto, verifica-se uma poupança média, nos custos de transporte e manuseamento do material, de aproximadamente 26%. Se tivermos em consideração apenas as rotas identificadas com base no modelo apresentado, em que o processo de negociação já está concluído e que já se encontram em vigor, o nível médio de poupança prevista sobe para 37%.

No geral, as rotas de fornecedores espanhóis são as que apresentaram os melhores resultados, em termos relativos, atingindo uma poupança média esperada de 51%, seguindo-se as rotas em França, com 45%. No entanto em termos brutos os melhores resultados surgem na otimização dos fornecedores alemães.

---

<sup>6</sup> As negociações passadas referem-se a análises empíricas que foram efetuadas. As primeiras otimizações realizadas pela empresa resultavam apenas de uma análise de dados, sem recurso a modelos matemáticos. Nas análises efetuadas foi possível identificar os “melhores” fornecedores, ou seja, os que forneciam as maiores quantidades de componentes automóveis. A maior parte destas otimizações referem-se a Relações Diretas, o que facilita o processo de negociação por se tratar de apenas um fornecedor.

## Conclusões

Neste trabalho é apresentado o modelo matemático que foi desenvolvido e é utilizado na otimização do transporte de peças de automóveis, traduzido na identificação das rotas ótimas.

Em parceria com Volkswagen Autoeuropa foram analisados todos os dados disponibilizados, e traçado um perfil da sua cadeia de abastecimento bem como do seu método de planeamento de transportes. Deste perfil constam informações como o conceito logístico aplicado pela empresa; o balanço do ano 2012, em termos de produção; os objetivos de longo-médio prazo e algumas características da sua rede de fornecedores.

Com uma eficaz triagem da informação disponível e com a aplicação do modelo desenvolvido foi possível chegar a resultados bastante promissores. De facto, foram identificadas várias rotas viáveis, tanto de tipo Relações Diretas como *Milkruns*.

Chegou-se à conclusão de que é possível obter uma poupança média de 37%. No entanto, existem rotas em que o cálculo das poupanças potenciais chega aos 50%, ou seja, findas as negociações com os diversos transportadores interessados, os preços apresentados foram substancialmente inferiores aos praticados até à data.

## Obras Citadas

Autoeuropa, V., 2013. *Jornal Autoeuropa*. [Online]

Disponível em: <http://www.volkswagenautoeuropa.pt/categories/relacoes-publicas/jornal-autoeuropa>

[Acedido em 2013].

Brar, G. S. & Saini, G., 2011. *Milk Run Logistics: Literature Review and Directions*. London, World Congress on Engeneering.

Dantzig, G. B. & Ramser, J. H., 1958. The Truck Dispatching Problem. *Management Science*, Out., Volume vol. 6 No.1, pp. 80-91.

Ghiani, G., Laporte, G. & Musmanno, R., 2004. *Introduction to Logistics Systems Planning and Control*. s.l.:Wiley.

Nemoto, T., 2010. *EFFICIENT AND GREEN LOGISTICS OF AUTOMOBILE PARTS IN URBAN AREAS*. s.l., 12th World Conference on Transport Research.

Peterson, B., Hoeve, W., Kekre, S. & Debo, L., 2010. *Flexible Milk-runs for Stochastic Vehicle Routing*. USA: Tepper School of Business Working Paper.

Toth, P. & Vigo, D., 2002. *The Vehicle Routing Problem*. s.l.:SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications.