



## **PROPOSTA DE UM MODELO MATEMÁTICO PARA DIMENSIONAMENTO DE FROTA EM UMA EMPRESA DE TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGAS NO SETOR DE PETRÓLEO**

**Barbara Ferreira Bezerra**

Universidade Federal Fluminense, Instituto de Ciência e Tecnologia.  
Rua Recife, s/n, Jardim Bela Vista, Rio das Ostras – RJ.  
barbarabezerra@id.uff.br

**Edwin Benito Mitacc Meza**

Universidade Federal Fluminense, Instituto de Ciência e Tecnologia.  
Rua Recife, s/n, Jardim Bela Vista, Rio das Ostras – RJ.  
emitacc@id.uff.br

**Dalessandro Soares Vianna**

Universidade Federal Fluminense, Instituto de Ciência e Tecnologia.  
Rua Recife, s/n, Jardim Bela Vista, Rio das Ostras – RJ.  
dalessandrosoares@yahoo.com.br

**Marcilene de Fátima Dianin Vianna**

Universidade Federal Fluminense, Instituto de Ciência e Tecnologia.  
Rua Recife, s/n, Jardim Bela Vista, Rio das Ostras – RJ.  
marcilenedianin@id.uff.br

### **RESUMO**

A atual crise no setor de exploração e produção de petróleo tem afetado às empresas prestadores de serviços, obrigando as mesmas a adotarem novas estratégias a fim de se tornarem mais competitivas e se manterem no mercado. Nesse cenário, a logística de apoio offshore tem papel significativo tornando-se o foco das medidas de redução de custo nas empresas do setor. Neste cenário, para reduzir seus custos com a logística, a empresa Alfa decidiu reduzir sua frota de veículos para atender a sua demanda, porém esta redução tem-se tornado um desafio já que os custos aumentam significativamente caso a frota seja mal dimensionada. Assim, a fim de auxiliar na tomada de decisão quanto ao tamanho da frota de veículos, este trabalho irá propor um modelo matemático como forma de solucionar o problema de dimensionamento visando a redução dos custos logísticos. Os resultados iniciais são promissores para o problema em questão.

**PALAVRAS CHAVE. Modelagem matemática. Dimensionamento de frota. Óleo & Gás.**

**Tópicos: PM - Programação Matemática, P&G - PO na Área de Petróleo & Gás, L&T - Logística e Transportes.**

### **ABSTRACT**

The current crisis in the oil exploration and production sector has affected service providers, forcing them to adopt new strategies in order to become more competitive and to remain in the market. In this scenario, offshore support logistics plays a significant role, becoming the focus of cost reduction measures in the companies in the sector. In this scenario, to reduce its logistics costs, the company Alfa decided to reduce its fleet of vehicles to meet its demand, but this reduction has become a challenge since the costs increase significantly if the fleet is poorly sized. Thus, in order to aid in the decision-making regarding the size of the vehicle fleet, this work will propose a mathematical model as a way of solving the dimensioning problem aiming at the reduction of logistics costs. The initial results are promising for the problem.

**KEYWORDS. Mathematical Modeling, Fleet Sizing, Oil & Gas.**

**Tópicos: PM - Mathematical Programming, P & G - OR in Oil & Gas, L&T - Logistics and Transport.**



## 1. Introdução

Nos últimos quatro anos o setor de Exploração e Produção (E&P) de petróleo no Brasil começou a enfrentar um grande desafio, vivendo um cenário de crise econômica e baixas no preço do petróleo. Somado a isto, a política de revisão de contratos da Petrobras, iniciada em 2013 e intensificada em 2014 após operação Lava Jato, acentuou o desaquecimento do setor. Empresas que sofreram investigação durante a operação tiveram redução em seus investimentos agravando a situação da indústria. Com esta desaceleração dos investimentos e consequentemente queda das atividades do setor, tornou-se necessário a intensificação da redução dos custos nas empresas.

Refém deste cenário, as prestadoras de serviço e fornecedoras de equipamento *offshore* se viram obrigados a realizar demissões em massa para reduzir seus custos. Nesse contexto, a região mais afetada foi a da Bacia de Campos localizada na costa norte do estado de Rio de Janeiro e que aglomera diversas empresas especializadas em atividades *offshore*. Dados do ministério do trabalho registraram mais de 100 mil demissões nos últimos 2 anos, somente no município de Macaé. Em alguns casos, empresas foram obrigadas a fechar suas portas e diversas multinacionais encerraram suas operações na região.

Sendo assim, diante deste cenário é cada vez mais importante a redução dos custos e a melhoria dos processos e da utilização dos recursos para a indústria do petróleo. Seja pelos efeitos da sazonalidade das demandas ou pela situação instável do preço do petróleo e da economia em geral, novos mecanismos devem ser criados para tornar as operações destas empresas mais eficientes, sustentáveis e competitivas de modo a garantir a sobrevivência das empresas desse setor.

Assim, a fim de tornar as empresas mais eficientes, algumas variáveis que traduzem a realidade da empresa devem ser analisadas, dentre estas, os custos talvez sejam as mais evidentes, pois interferem diretamente nos resultados, sendo um forte componente competitivo. Para gerenciar os custos a empresa deve ter um olhar amplo, identificando as atividades da cadeia de valor, isto inclui análise desde o fornecedor, passando pelos intermediários e por fim alcançando os consumidores finais [Borda e Gibbon 2010].

Dentre as atividades observadas dentro das organizações, ressalta-se a atividade logística. Esta atividade se faz relevante devido a sua grande influência nos custos que podem chegar a 19% do faturamento da empresa [Nogueira 2015]. Para [Ballou 2004], a minimização dos custos logísticos pode gerar valor com o repasse dos benefícios aos clientes e aos acionistas da empresa. O valor da atividade logística se manifesta através das variáveis de tempo e lugar, ou seja, a disponibilidade do produto ou serviço no lugar correto no tempo necessário [Ballou 2004]. Na indústria do petróleo, este valor é facilmente percebido pois falhas na atividade logística podem gerar paradas na produção, atrasos de cronogramas além de custos com multas e retrabalho.

Para a indústria do petróleo a logística se faz presente em toda sua cadeia de valor como uma atividade de suporte, envolvendo armazenagem, transporte terrestre de cargas, operação portuária, transporte marítimo, transporte de pessoas além de outros serviços de apoio marítimo. Todas essas atividades envolvem altos custos que por muitas vezes são negligenciados ou pouco analisados. Dentre eles deve-se ressaltar o custo de transporte terrestre de cargas que representa em torno de 60% do custo logístico e chega a causar um impacto de 1% a 2% no faturamento total da empresa [Nogueira 2015]. O que parece uma parcela pequena se torna um valor gigante levando em conta o faturamento das empresas de serviços petróleo que chegam a ordem de bilhões de reais.

Embora o transporte terrestre seja a atividade de maior representatividade dentro da logística das prestadoras de serviços de petróleo, existe uma grande dificuldade por parte dos gestores destas empresas de obterem informações de qualidade sobre os custos e a eficiência da logística, dificultando assim a tomada de decisões. Isso torna ainda mais necessária a utilizações de ferramentas customizadas para auxiliar na obtenção e processamento de informações e fornecer embasamento para tomadas de decisão precisas.

Neste contexto, o presente estudo será realizado no setor de transporte de carga de uma empresa prestadora de serviços de petróleo, denominada daqui em diante de empresa Alfa. Deve-se ressaltar que, na região da Bacia de Campos, todo o transporte de cargas é feito pelo modal rodoviário e quase que a totalidade das empresas utilizam transportadoras terceirizadas para



realizar este serviço. Sendo assim, as variáveis do custo da logística de carga que podem ser identificados são: Preço contratado com as transportadoras; Tamanho da frota contratada; Utilização e aproveitamento da frota e Gerenciamento do transporte.

A fim de reduzir o custo do transporte de cargas, a Empresa Alfa pode negociar o preço, reduzir a frota a um tamanho adequado para sua demanda, utilizar ao máximo os veículos contratados e gerenciar da melhor maneira possível os serviços prestados evitando tempo ocioso, desperdício de movimentação, gastos desnecessários, custos por acidente entre outros. Assim, cabe a gerencia tomar a melhor decisão sobre estas variáveis, podendo melhorar os resultados que neste caso seria a redução de custo. Mas para garantir a melhor decisão, é necessário obter um valor ótimo, ou seja, o valor no qual os custos da logística serão minimizados ao máximo.

Neste contexto, a modelagem matemática é largamente utilizada para prestar apoio a tomadas de decisão, especialmente para tratar variáveis quantificáveis. A técnica permite inter-relacionar as diversas variáveis de um processo que seriam muito complexas ou impossíveis de analisar intuitivamente e assim, obter através de processamentos automáticos analisar configurações de maneira a selecionar as melhores ou as configurações ótimas.

Assim, este trabalho tem como objetivo desenvolver uma ferramenta de tomada de decisão, utilizando modelagem matemática, para definir a quantidade ótima de veículos a serem contratados para o transporte de equipamento de exploração e produção de petróleo pelo modal rodoviário, visando a redução de custos logísticos.

O *trade-off* consiste em reduzir a frota a ponto de não gerar custos por não atendimento ou contratação de veículos fora de contrato que possuem o custo mais elevado. Assim, a fim de controlar os custos de transporte e atender as demandas mantendo a qualidade de serviço, o dimensionamento de frota tem sido estudado a fim de encontrar uma resposta ótima para problemas de planejamento de transporte, roteamento e gerenciamento de frotas.

Para [Barth 2012], o dimensionamento de frota deve seguir uma sequência de passos que envolvem uma coleta de dados precisa sobre demanda, tipos de carga, tipos de veículos, rotas de transporte, tempos e distâncias. A qualidade destes dados determina o quanto o dimensionamento será adequado a realidade da empresa onde será realizado o estudo. Assim, os problemas de dimensionamento de frota podem ser divididos em três tipos: Problemas de roteirização; Problema de complexidade matemática (sem roteamento) e Problema baseado no ciclo do veículo.

[Barth 2012] apresenta uma taxonomia que facilita o entendimento dos diversos tipos de problema de roteirização e programação de veículos. Assim, tendo como base essa taxinomia, é possível descrever as características do problema estudado neste trabalho. Sendo assim, o problema leva em consideração uma frota de mais de um veículo, heterogênea, com uma única garagem, demanda determinística, sem restrições de capacidade, com restrições de duração distintas para cada rota, que opera na coleta e entrega de produtos e por fim o modelo visa minimizar os custos através da redução da frota de veículos.

Para [Masiero 2008], o problema de dimensionamento de frota é uma consequência da roteirização de veículos. Embora os veículos sejam uma entrada para um modelo de roteirização, essa informação é pouco aproveitada como resultado. Já [Teixeira e Cunha 2002], definem o problema de dimensionamento e roteirização de uma frota heterogênea de veículos como uma definição simultânea de rotas a serem utilizadas e a composição da frota em termos de quantidade e tipo de veículos, de maneira a minimizar o custo total de atendimento.

Neste trabalho, diferente do trabalho de [Teixeira e Cunha 2002], as rotas são predefinidas, independente do custo associado, respeitando apenas parâmetros de segurança e normas da empresa. Sendo assim, o problema estudado se resume a determinar a frota de veículos heterogêneos ótima para atender os locais através de rotas já determinadas, ou seja, é um problema de complexidade matemática que não envolve roteamento.

Os problemas de dimensionamento de frota que não envolvem roteamento, buscavam obter a quantidade de veículos ótima, apenas consideram frotas homogêneas e com demandas conhecidas até o início da década de 60. Apenas em 1969, com o trabalho de Gould, começou-se a considerar frotas heterogêneas com capacidades e tamanhos diferentes, sendo suas demandas consideradas determinísticas [Barth 2012].

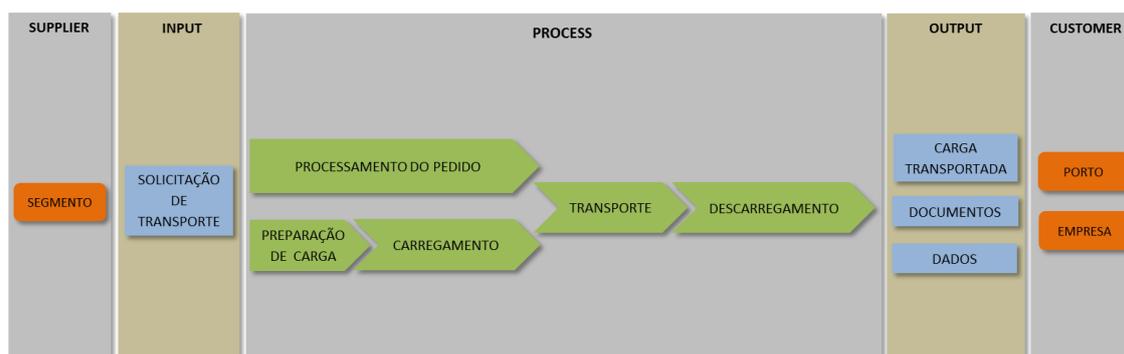


## 2. Descrição do Problema

Diante da crise econômica, o departamento de logística da Empresa Alfa está sofrendo diversas modificações a fim de reduzir os custos e manter sua posição no mercado. Dentre estas modificações pode-se citar a melhoria dos processos, revisão dos procedimentos e principalmente revisão dos contratos com as empresas terceirizadas que prestam serviços de transporte de carga.

O serviço prestado pela logística de carga é caracterizado pelo transporte de equipamentos *offshore* entre a base da empresa e os portos por onde estes são embarcados. O fluxo no sentido base para o porto (Base x Porto) é chamado *Load Out*. O sentido inverso, ou seja, do porto para a base (Porto x Base), chama-se *Back Load*. Há ainda o transporte chamado Urbano, que se diferencia por se tratar de transportes de curta distância, que podem ser entre a base e o porto de Macaé ou ainda entre a base e fornecedores.

O processo de transporte de cargas pode ser visualizado no diagrama SIPOC descrito na Figura 1. O SIPOC é uma ferramenta de qualidade que ajuda a definir os processos, onde a sigla é uma abreviação em inglês de: S (*supplier* – fornecedor), I (*input* – entrada), P (*process* – processo), O (*output* – saída), C (*customer* – cliente). Esta ferramenta descreve o fluxo dos macroprocessos, relacionando os geradores de demanda que neste caso são os segmentos da empresa, até o cliente final que será definido pelos portos onde as cargas são entregues.



**Figura 1** – SIPOC da logística de carga - *Load Out*.

Os segmentos da empresa têm sua demanda definida pelas plataformas que atende. Assim, quando a plataforma precisa de um determinado equipamento, o respectivo segmento é acionado. De acordo com o serviço, o equipamento sofre manutenção ou é enviado diretamente para o transporte onde é por fim armazenado em contêdores e preparada para o transporte.

O início do processo da logística de carga é definido pelo envio de uma Solicitação de Transporte (ST). Esta ST é processada por uma equipe de especialistas de logísticas, que geram a documentação necessária para o transporte e solicita os veículos de acordo com as informações fornecidas no documento. Com isso, ao receber uma solicitação de veículo um coordenador de transporte deve identificar o veículo adequado bem como a quantidade necessária de acordo com a carga que deve ser transportada.

Paralelamente ao processamento da solicitação, uma equipe de pátio inspeciona a carga preparada pelo segmento para atestar sua conformidade com as normas de segurança e a legislação vigente e se está adequada para o transporte. Na sequência, os veículos são carregados com os equipamentos e uma segunda inspeção é feita para atestar a conformidade do veículo e se sua capacidade de carga não foi excedida. Por fim o transporte é efetuado, sendo rastreado por todo trajeto já pré-definido pelo Gerenciamento de Viagem (GV). O GV é um documento gerado em um sistema que define todo o trajeto e paradas para descanso bem como observações sobre o serviço, levando em consideração medidas de segurança e os padrões da empresa. O processo termina com a recepção dos equipamentos pelo porto. Em caso de qualquer não conformidade com a carga ou com o veículo, o porto não permite a entrada de equipamentos, o que pode causar uma



demanda por um segundo veículo para atender as exigências que o veículo anterior não atendeu, ou pior, a carga não será entregue.

O mesmo processo se repete no caso de um *Back Load* em sentido diferente, neste caso, o porto gera a demanda de retirada das cargas que desembarcaram. Assim, a logística faz o mesmo processo descrito com a ajuda de representantes que trabalham nos principais portos atendidos. Geralmente o *Back Load* é atendido com veículos que já estão na localidade após um processo de *Load Out*. Do contrário, um veículo vazio teria que ser enviado para realizar a retirada, gerando um custo que não agregar valor. Em alguns casos o porto obriga a retirada imediata dos equipamentos, sendo assim, um veículo é enviado vazio se não houver disponibilidade de veículos próximos, isso porque o porto pode aplicar multas.

Para otimizar processo de *Load out* e *Back Load* de modo a reduzir os custos, a gerencia do departamento logístico redefiniu os contratos visando os seguintes pontos: Redução do tamanho da frota, Redefinir a franquia de quilômetros contratados e Explorar outras formas de contratos para redução do valor pago.

## 2.1 A ferramenta *Forecast*

A ferramenta *Forecast* é uma planilha elaborada por cada segmento e enviado para logística, contendo informações de suas atividades e demandas de transporte de um período que atualmente é de 7 dias. Com isso, os coordenadores de transporte podem tomar ações de modo a garantir a disponibilidade de veículos bem como planejar a quantidade de veículos a serem contratados no período. Com essa previsão a logística tem tempo de buscar a opção mais barata através de alocação prévia dos carros. As informações fornecidas neste documento são: Data do atendimento, Segmento solicitante, Informações do projeto, Origem e Destino, Quantidade de veículos estimado, Tipos de veículos, Descrição do equipamento e Nome do responsável.

Embora esta ferramenta seja de grande ajuda, na prática poucos segmentos conseguem prever sua demanda com precisão, seja por falta de planejamento, por pedidos inesperados dos clientes ou problemas relacionados ao porto, em geral pelo menos 20% das operações são emergências. A Empresa Alfa define como demanda emergencial demandas que não são previstas dentro do *Forecast* ou uma demanda que não é informada com mais de 24h de antecedência. No caso da demanda emergencial, a logística não tem como garantir o menor custo de transporte ou mesmo garantir a disponibilidade de veículos. Como a Empresa Alfa não pode deixar de atender as demandas, pois isso pode provocar altos custo de sondas paradas e multas, a logística deve buscar outras formas de disponibilizar o transporte.

O objetivo é utilizar esta ferramenta para realizar a previsão de um período de um mês através da implementação de um sistema. Porém, esta ação irá demandar mais planejamento tanto da parte do segmento como dos seus clientes, sejam as plataformas ou os portos envolvidos. Assim, é de grande importância que haja comunicação entre as partes envolvidas no processo, pois só assim é possível prestar serviços mais eficientes e de melhor qualidade.

## 2.2 Os contratos

Para contratação do serviço terceirizado de transporte, a Empresa Alfa leva em consideração os seguintes fatores: Custo, Rapidez de transporte, Garantia de disponibilidade, Dispositivos específicos e Segurança.

Para atender a todos esses requisitos a Empresa Alfa trabalha com 6 modalidades de contrato divididas em 4 categorias:

**Contratos de frota dedicada** – Neste caso, a empresa disponibiliza uma frota fixa por um período de contrato. A Empresa Alfa possui o contrato DC, que é um contrato de longo prazo, e o NDC, que é um contrato válido para períodos curtos como um mês ou algumas semanas.

**Contratos de fornecimento de serviço único** – Quando a frota dedicada não atende toda a demanda, é necessário contratar um veículo para realizar esse serviço em particular, já que é necessário atender todas as solicitações. Neste caso, a empresa contrata um *Call Out* ou um



Especial. O *Call Out* é definido pela contratação de um veículo cujo tipo corresponde aos presentes na frota dedicada. Já o Especial, é um tipo de veículo que é pouco demandado e por esta razão o tipo não está presente na frota dedicada, sendo mais barato contrata-lo apenas quando houver a demanda.

**Contrato de transporte consolidado (*Freight Forwarder*)** – É uma modalidade de transporte onde a empresa consolida sua carga com a de outras empresas. Seu custo é bem menor.

**Contrato de transporte expresso (*Courier*)** – É específica para o transporte de pequenas cargas, geralmente peças de reposição, onde a entrega deve ser imediata.

Cada modalidade de contrato tem foco em um ou mais dos fatores citados acima partindo do princípio que todas as solicitações serão atendidas. A Tabela 1 descreve as características de cada modalidade de contrato.

**Tabela 1** – Características dos contratos

Modalidade	Custo	Rapidez	Disponibilidade	Dispositivos	Segurança
DC	Médio	Média	Alta	Médio	Alta
NDC	Médio	Média	Alta	Médio	Alta
Call Out	Alto	Média	Média	Médio	Média
Especial	Muito Alto	Média	Média	Alto	Média
Freight Forwarder	Baixo	Baixa	Baixa	Baixo	Baixa
Courier	Muito Alto	Alta	Baixa	Baixo	Baixa

Os contratos irão definir além do custo e da disponibilidade específica, também as franquias de atendimento. As franquias delimitam uma quantidade máxima de quilômetros a serem utilizados pelo veículo e as horas trabalhadas do motorista. Quando ultrapassada, um valor adicional por quilometro excedido é cobrado bem como as horas extras do motorista.

Atualmente a Empresa Alfa trabalha com sete transportadoras terceirizadas. Os contratos definem 12 horas de trabalho com franquias de quilometragem de 1500, 3000 e 5000 dependendo do caso para DC e 4500 para NDC. Esses valores podem ser revisados e negociados, mas é necessário obter dados que justifiquem essa mudança.

### 2.3 O processo de decisão

O processo de decisão se inicia com o Coordenador de Transporte (CT), que diante de uma determinada demanda, ele deverá selecionar quais veículos da frota atendem às demandas, e em caso de não haver veículos disponíveis, buscar veículos de contratos de serviço único ou outras modalidades já descritas.

A Figura 2 representa as decisões tomadas pelo TC. Em um primeiro momento, de posse das informações passadas pelos segmentos e seus respectivos especialistas de logística, o CT sabe a rota pela qual o transporte será feito, as distâncias a percorrer e o tempo demandado. Com isso, o CT deve identificar se há carros alocados para a determinada rota disponíveis para o atendimento formando assim uma primeira lista de opções. Junto a essa lista se juntam as opções de *CallOut*, *Freight Forwarder*, Especial entre outras modalidades de contrato. A soma das opções de veículos da frota dedicada e das opções de contrato único, consolidados e expressos, ao final formará uma segunda lista.

Caso não haja veículos disponíveis na rota demandada, o CT deve buscar veículos alocados a outras rotas para poder compor a primeira lista. Caso a primeira lista continue vazia, o CT continuará a buscar veículos em outras rotas por no máximo 5 tentativas (quantidade de rotas). Na sexta tentativa, a primeira lista permanecerá vazia, deixando como únicas opções os veículos de contrato único, consolidados e expressos para a segunda lista. Na Figura 2 vemos a simplificação das escolhas entre frota dedicada que engloba contratos DC e NDC e *Call Outs* que englobam contratos de serviço único, consolidados e expressos.

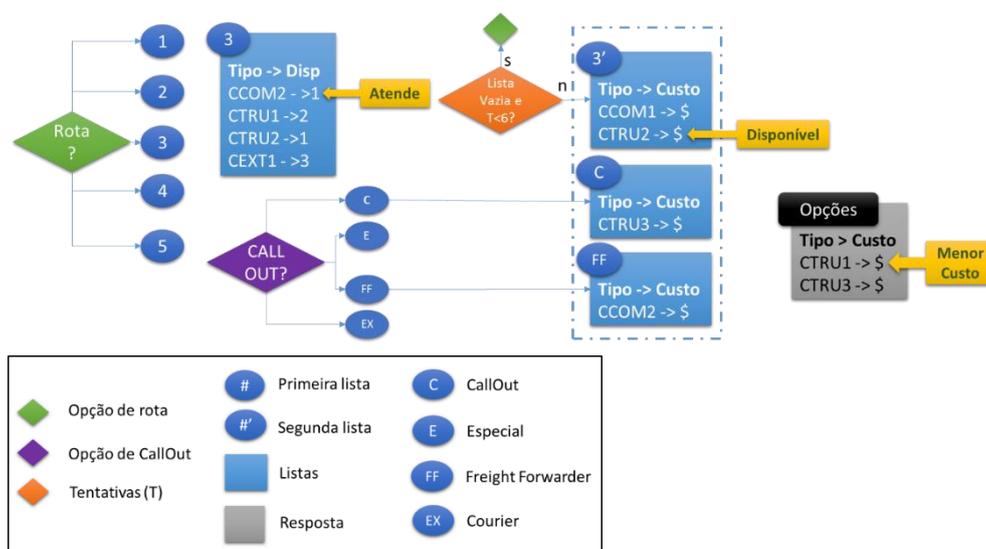


Figura 2 – Processo de decisão do Coordenador de Transporte.

Por fim, diante das diversas opções geradas, o CT deve decidir os veículos que melhor atenderam a solicitação, levando em consideração os fatores já discutidos como segurança, capacidade e principalmente, menor custo. A resposta dada por essa tomada de decisão, será a entrada para o modelo proposto por este trabalho.

### 3. Formulação e Modelagem Matemática do Problema

A Empresa Alfa tomou como ação para reduzir seus custos, a redução da frota de veículos contratados para a logística de maneira a reduzir seus custos e ainda mantendo seu nível de serviço. Entretanto a decisão pela redução da frota não é tão simples para ser analisada, tornando necessário o auxílio de uma ferramenta. Neste trabalho a modelagem matemática foi o ferramental utilizado para solução do problema.

Alguns fatores devem ser levados em consideração para a decisão de reduzir a frota:

- Os contratos limitam a dispensa de veículos por mês, sendo assim não é possível reduzir vários veículos de uma vez;
- Caso os veículos dedicados não consigam atender a demanda, será necessário contratar um veículo de serviço único (*Call Out*), entretanto seu custo é muito superior. Assim, a falta de veículos DC/NDC pode provocar um aumento dos custos.
- Toda demanda deve ser atendida, sendo o custo do não atendimento imensurável, podendo chegar a ordem de milhões levando em consideração horas de sondas paradas, multas e atrasos de cronograma.
- Segundo determinado pela gerência da Empresa Alfa, é exigido um número mínimo de veículos DC devidos razões de segurança, priorizadas pela empresa. A frota mínima de DC é de 24 veículos. Sendo assim, a frota deve ser dimensionada a partir da quantidade de veículos NDC contratados.

Para este modelo, foi levado em consideração para a otimização o custo para atender uma determinada demanda (planejamento feito no *Forecast*), considerando veículos dedicados (DC), que são veículos com contrato longo, veículos não dedicados (NDC), que são veículos de contrato curto (de 3 dias a 1 mês) e *Call Out*, que é um veículo chamado fora do contrato para realizar um serviço isolado. As demais modalidades de contrato não serão consideradas na otimização por se tratarem de custos fixos devido à pouca possibilidade de modificação da frota o do custo associado. Sendo assim, o modelo minimiza o uso de *Call Out* e otimiza a utilização da frota de modo a não gerar custos por penalidades.



Os contratos definem uma franquia de utilização de quilômetros mensal, ou seja, uma quantidade limite de quilômetros a serem utilizados durante o mês. Caso essa franquia seja ultrapassada, um valor adicional será cobrado por quilometro excedido. Também é importante determinar se a franquia estabelecida pelos contratos é adequada ao uso da frota, sendo possível futuramente renegociar estes valores reduzindo ainda mais o valor pago nos contratos.

Por fim, foram selecionados os principais destinos utilizadas pela Empresa Alfa baseada no histórico de atendimento. Cada destino está associado a uma das rotas determinadas pela logística. A duração da viagem associada a cada destino foi estimada segundo um cálculo do tempo de ciclo.

Os dados de entrada para o modelo matemático podem ser divididos em três blocos (ver Tabelas 2, 3, 4 e 5): matrizes de veículos x solicitação (atendimento e custos), dados associados a frota de veículos (Tipo de veículo, franquia, janela inicial de atendimento, janela final de atendimento e custo por hora) e os dados associados a cada solicitação feita (quilometragem e duração). A legenda utilizada para nomenclatura dos veículos informa o tipo de veículo, o tipo de contrato, as dimensões e a capacidade.

**Tabela 2 – Matriz de atendimento.**

Veículo / Solicitação	1	2	3	4	5	6	7	8
CEXT/DU/21/2,45/1,6/24	1	1	0	0	0	1	0	1
CCOM/N/14/2,45/1,6/24	1	1	0	0	0	1	0	1
CEXT/N/21/2,45/1,6/24	1	1	0	0	0	1	0	1
CTOC/C/5/2,45/1,5/10	0	1	1	0	0	0	1	0

**Tabela 3 – Matriz de custo.**

Custo / Solicitação	1	2	3	4	5	6	7	8
CEXT/DU/21/2,45/1,6/24	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
CCOM/N/14/2,45/1,6/24	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
CEXT/N/21/2,45/1,6/24	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
CTOC/C/5/2,45/1,5/10	\$ 1.324,70	\$ 1.026,26	\$ 1.324,70	\$ 482,78	\$ 482,78	\$ 962,53	\$ 1.324,70	\$ 1.026,26

**Tabela 4 – Vetores de entrada associados ao veículo.**

Início	Fim	Custo Hor	DC	NDC	Franquia
0	48	71,64	1	0	1500
0	48	70,04	0	1	4500
0	48	71,64	0	1	4500
0	48	57,43	0	0	100000

**Tabela 5 – Vetores de entrada associados a solicitação.**

Destino	NITEROI	ARACAJU	ARACAJU	PDOCAS	PDOCAS	NITEROI	CPVV	ARACAJU
km	366	3600	3600	500	480	366	700	3600
Distância[h]	10,47	301,70	301,70	27,70	12,85	10,97	30,85	301,70

Portanto, o Problema consiste em selecionar quais veículos da frota deverão atender às solicitações em um determinado período de tempo, de modo a minimizar os custos de transporte. Assim, deve-se definir os seguintes parâmetros e variáveis de decisão:

**Parâmetros:**

$V =$  conjunto de veículos  $\{1,2,3, \dots, NV\}$

$S =$  conjunto de solicitações  $\{1, 2,3, \dots, NS\}$

$Q =$  conjunto de sequências  $\{1,2,3, \dots, NM\}$

$td_i =$  indica se o veículo  $i$  é dedicado

$tnd_i =$  indica se o veículo  $i$  é não dedicado

$kf_i =$  informa a quilometragem permitida pela franquia do veículo  $i$



$tini_i$  = informa a partir de quando o veículo  $i$  estará disponível para uso  
 $tfim_i$  = informa ate quando o veículo estará disponível para uso  
 $c_i$  = custo por hora do veículo  $i$   
 $ks_j$  = informa a kilometragem a percorrer na solicitação  $j$   
 $d_j$  = indica a duração do atendimento da solicitação  $j$   
 $at_{ij}$  = informa se o veículo  $i$  pode atender a solicitação  $j$   
 $ca_{ij}$  = informa o custo de atendimento do veículo  $i$  para a solicitação  $j$   
 $NV$  = número total de veículo disponíveis  
 $NS$  = número total de solicitações de transporte  
 $NM$  = número máximo de atendimentos que se pode realizar no período em análise  
 $PM$  = período em análise em horas  
 $PEN1$  = penalidade por não atender uma determinada solicitação  
 $PEN2$  = penalidade por kilometro excedido da franquia  
 $PEN3$  = penalidade por usar veículos que não são dedicados

**Variáveis de decisão:**

$x_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{indica se o veículo } i \text{ atende a solicitação } j \text{ na sequência } k \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$   
 $ti_j$  = informa o tempo de início do atendimento da solicitação  $j$   
 $tf_j$  = informa o tempo de fim do atendimento da solicitação  $j$   
 $ke_i$  = informa a quantidade de km excedidos da franquia do veículo  $i$   
 $ua_i$  = informa o momento do último atendimento do veículo  $i$

**Função Objetivo**

$$\begin{aligned}
 MIN = & PEN1 \times \sum_{j \in S} \left( 1 - \sum_{\substack{i \in V \\ at_{ij}=1}} \sum_{k \in Q} x_{ijk} \right) + PEN2 \times \sum_{i \in V} ke_i + \\
 & PEN3 \times \left( \sum_{j \in S} \sum_{\substack{i \in V \\ at_{ij}=1 \\ td_i=1 \vee tnd_i=1}} \sum_{k \in Q} x_{ijk} - \sum_{j \in S} \sum_{\substack{i \in V \\ at_{ij}=1 \\ td_i=1}} \sum_{k \in Q} x_{ijk} \right) + \\
 & \sum_{i \in V} \sum_{\substack{j \in S \\ at_{ij}=1}} \sum_{k \in Q} (x_{ijk} \times ca_{ij}) + \sum_{i \in V} \left( c_i \times \left( ua_i - \sum_{\substack{j \in S \\ at_{ij}=1}} \left( d_j \times \sum_{k \in Q} x_{ijk} \right) \right) \right)
 \end{aligned}$$

s.a.

$$\sum_{\substack{i \in V \\ at_{ij}=1}} \sum_{k \in Q} x_{ijk} \leq 1 \quad \forall j \in S \quad (R1)$$

$$\sum_{\substack{j \in S \\ at_{ij}=1}} x_{ijk} \leq 1 \quad \forall i \in V, \forall k \in Q \quad (R2)$$

$$\sum_{\substack{j \in S \\ at_{ij}=1}} x_{ijk} \leq \sum_{\substack{j \in S \\ at_{ij}}} x_{ij(k-1)} \quad \forall i \in V, \forall k \in Q | k > 1 \quad (R3)$$



$$ke_i \geq \sum_{\substack{j \in S \\ at_{ij}=1}} \sum_{k \in Q} (ks_j \times x_{ijk}) - kf_i \quad \forall i \in V, td_i = 1 \vee tnd_i = 1 \quad (R4)$$

$$ti_{j_1} \geq tf_{j_2} - PM \times (2 - x_{ij_1k} - x_{ij_2(k-1)}) \quad \forall i \in V, \forall j_1 \in S | at_{ij_1} = 1, \\ \forall j_2 \in S | at_{ij_2} = 1, \forall k \in Q | k > 1 \quad (R5)$$

$$tf_j = ti_j + d_j \quad \forall j \in S \quad (R6)$$

$$tf_j \leq PM \quad \forall j \in S \quad (R7)$$

$$tf_j \leq tfim_i + PM \times \left( 1 - \sum_{k \in Q} x_{ijk} \right) \quad \forall j \in S, \forall i \in V | at_{ij} = 1 \quad (R8)$$

$$ti_j \geq tini_i + PM \times \left( 1 - \sum_{k \in Q} x_{ijk} \right) \quad \forall j \in S, \forall i \in V | at_{ij} = 1 \quad (R9)$$

$$ua_i \geq tf_j - PM \times \left( 1 - \sum_{k \in Q} x_{ijk} \right) \quad \forall i \in V, \forall j \in S | at_{ij} = 1 \quad (R10)$$

$$x_{ijk} \in [0,1] \quad \forall i \in V, \forall j \in S | at_{ij} = 1, \forall k \in Q \quad (R11)$$

$$ke_i \geq 0 \quad \forall i \in V \quad (R12)$$

$$ua_i \geq 0 \quad \forall i \in V \quad (R13)$$

$$ti_j \geq 0 \quad \forall j \in S \quad (R14)$$

$$tf_j \geq 0 \quad \forall j \in S \quad (R15)$$

A função objetivo procura minimizar os custos operacionais ocorridos durante o atendimento às solicitações como: custos pelo não atendimento às solicitações, custo pela quilometragem excedida, pelo uso de veículos não dedicados, custo de atendimento e custo relacionado ao tempo que o veículo fica ocioso entre um atendimento e outro. Na restrição (R1) a desigualdade assegura que cada solicitação será atendida por no máximo um único veículo em uma única sequência. A restrição (R2) garante que um determinado veículo pode atender uma única solicitação em uma determinada sequência. Já a restrição (R3) assegura que a sequência de um determinado veículo só é usada se a sequência anterior deste mesmo veículo estiver sendo usada. A restrição (R4) verifica a quantidade de quilômetros excedidos pelos veículos dedicados e não dedicados. Por outro lado, a restrição (R5) garante que o tempo de início do atendimento de uma solicitação por um determinado veículo deve ser superior ao término de sua antecessora. A restrição (R6) calcula o tempo de término de uma determinada solicitação. Por outro lado, a restrição (R7) garante que nenhuma solicitação pode terminar seu atendimento após o término do período estimado. A restrição (R8) assegura que o tempo final de atendimento de uma solicitação por um determinado veículo não pode exceder a janela de disponibilidade final do veículo. Já a restrição (R9) assegura que o tempo de início de atendimento de uma solicitação por um determinado veículo não pode ser anterior à janela de disponibilidade inicial do veículo. A restrição (R10) calcula o tempo em que um determinado veículo encerra seu atendimento. A restrição (R11) representa o domínio adequado da variável binária. Já as restrições (R12), (R13), (R14) e (R15) são restrições de não negatividade.

#### 4. Testes e Resultados

Os dados utilizados neste modelo foram obtidos através do levantados em bancos de dados com informações reais da Empresa Alfa sobre demanda, frota de veículo contratados, dados sobre rotas e custos. Cabe ressaltar que, o atual horizonte de tempo de planejamento da demanda é de 7 dias (168 horas). Estimou-se uma demanda média e foram selecionadas as principais rotas utilizadas levando em consideração o histórico de dados e utilizando o tamanho de frota mais atual.



Alguns dados de custo foram estimados levando em consideração a média de preços praticada por diversos fornecedores de serviços de transporte. Houve necessidade também de definir alguns custos considerados intangíveis, ou seja, impossíveis de serem mensurados como custos de não atendimento ou custo por escolher uma opção menos segura.

Para validação do modelo proposto e devido à complexidade do problema, foi necessário a construção de cenários que correspondem a algumas possíveis situações, que simulam problemas semelhantes em menor escala, com horizonte de tempo, tamanhos de frota e demanda reduzidos.

Ao total foram executados 10 cenários possíveis de acontecer, sendo apresentados a seguir 2 destes. Cabe ressaltar que, o software CPLEX foi usado na solução do modelo matemático.

#### 4.1 Cenário 1

Para o primeiro cenário foi selecionado uma frota reduzida de 8 veículos (5 DC, 2 NDC, 1 *Call out*) para atender uma demanda alta de 24 solicitações, em um horizonte de 96 horas. Os parâmetros foram definidos para o modelo conforme a Tabela 6.

**Tabela 6** – Parâmetros do cenário 1.

Parâmetro	Valor
Nº de sequências	4
Tempo máximo [horas]	500
Penalidade p/ não atendimento	R\$ 100.000,00
Penalidade p/ quilometro extra	R\$ 2,50
Penalidade p/ utilização de NDC	R\$ 500,00

O número de sequências refere-se ao número máximo de atendimentos que podem ser realizados por um veículo no período avaliado. Leva-se em consideração que, pela duração das rotas, apenas uma viagem por dia pode ser feita pelos veículos. No tempo máximo é considerado a duração máxima com base na rota de maior duração. Vale lembrar que foram também construídos os dados de entrada conforme modelos apresentados nas Tabelas 2, 3, 4 e 5.

Neste cenário foi desconsiderada a demanda esporádica de veículos especiais para reduzir a quantidade de tipos de veículos. Sendo assim, será considerado um único veículo *Call Out* que pode ser utilizado para atender qualquer demanda que não é atendida pela frota dedicada. Também foram utilizados veículos que podem ser aproveitados em mais solicitações.

Após 10 segundos de execução, o modelo foi capaz de gerar uma resposta ótima com valor da função objetivo igual a 305.642. A Tabela 7 mostra os resultados obtidos.

**Tabela 7** – Resultados do cenário 1.

Solicitação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Veículo	5	1	1	8	8	3	0	5	5	3	4	6	1	6	4	1	8	4	3	5	0	3	8	0
	DC	DC	DC	C	C	DC	-	DC	C	DC	DC	DC	-	DC	C	-								
Sequência	1	1	4	1	2	3	0	3	2	1	3	2	2	1	2	3	3	1	2	4	0	4	4	0
Tempo Início	0	0	74	0	10	34	0	37	13	0	23	12	36	0	12	63	38	0	3	79	0	76	42	0
Tempo Fim	13	36	87	10	38	76	191	79	37	3	27	48	63	12	23	74	42	12	34	90	191	79	46	36

Da Tabela 7, pode-se concluir que o custo é alto pelo não atendimento das solicitações 7, 21 e 24, devido à falta de *Call Out*. Vale ressaltar, que as solicitações 7, 21 e 24 só poderiam ser atendidas pelo tipo de veículo *call out*, por isso na solução não foram usados veículos tipo NDC.

#### 4.1 Cenário 2

Um outro cenário foi construído excluindo da análise as demandas de algumas rotas, que envolvem viagens de longo curso, deixando os veículos alocados para estas solicitações indisponível pelo resto do período de análise. Também foram excluídas as demandas da rota Macaé



que envolvem mais de uma operação por dia. A manipulação da frota também foi mantida em ordem de manter a disponibilidade de veículos. Os parâmetros são os mesmos do cenário 1.

Após três horas e meia de processamento, o modelo foi interrompido pois não se obteve uma resposta ótima em tempo hábil. A Tabela 8 mostra os resultados alcançados.

**Tabela 8** – Resultados do cenário 2.

Solicitação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Veículo	3	1	1	8	8	5	6	3	3	3	4	4	6	6	4	1	8	4	5	5	1	7	8	0
	DC	DC	DC	C	C	DC	C	DC	DC	DC	DC	NDC	C	-										
Sequência	2	2	1	1	3	2	3	1	3	4	3	2	2	1	4	3	2	1	1	3	4	1	4	0
Tempo Início	42	13	0	0	38	31	40	0	55	79	48	12	12	0	84	49	10	0	0	73	60	0	66	0
Tempo Fim	55	49	13	10	66	73	53	42	79	91	84	48	40	12	95	60	38	12	31	84	83	42	76	36

Analisando a Figura 8, ainda assim, diante das mudanças feitas, foi possível obter o melhor resultado dos dez cenários analisados. Neste cenário, apenas 1 (um) *Call Out* foi utilizado. A frota utilizada para atender as 24 solicitações em 4 dias foi de 1 NDC e 5 DC.

Assim, entende-se que uma frota de 5 DC e 1 NDC pode atender as solicitações no período de tempo analisado, minimizando seus custos nos contratos com as transportadoras.

## 5. Conclusões

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um modelo matemático que pudesse auxiliar na tomada de decisão sobre o dimensionamento de uma frota de veículos para transporte de cargas em uma empresa de serviços de petróleo localizada na Bacia de Campos.

Foram criados dez cenários que representavam situações com frota reduzida, menor demanda e menor horizonte de tempo. Durante os testes, foram feitas alterações nas entradas, como manipulação dos tipos de veículos utilizados na frota e alteração da disponibilidade de veículos *Call Out*. Sendo assim, através dos resultados obtidos constatou-se a necessidade de selecionar adequadamente os tipos de veículos da frota. O melhor resultado aconteceu devido a manipulação dos tipos de veículos da frota de modo que se adequassem a maioria das demandas. Dessa forma, o custo por não atendimento, ou pela contratação de *Call Out* foi reduzido.

Devido à complexidade do problema, o modelo proposto não se aplica em escala real, já que na prática o problema estudado é em torno de cinco vezes maior do que a escala dos cenários testados neste trabalho. Sendo assim, para ser possível encontrar uma solução para este modelo matemático em escala real, será necessário a construção de heurísticas que irão auxiliar na obtenção de respostas de forma mais rápida.

## Referências

- Ballou, R. H. (2004). Gerenciamento da cadeia de suprimentos/Logística empresarial. 5ª Ed. São Paulo, Bookman.
- Barth, M. B. (2012). Dimensionamento de uma frota de veículos com foco na redução de custos. Projeto final do curso de Engenharia de Produção. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Borda, J. V. S., Gibbon, A. R. O. (2010). Modelo de Custos Logísticos. Rio Grande: SINERGIA, 14(2), 85-98.
- Nogueira, J. H. (2015). Custos Logísticos I. IETEC - Instituto de Educação Tecnológica.
- Masiero, L. S. (2008). Proposta de dimensionamento de frota para uma transportadora. Projeto final do curso de Engenharia de Produção. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- Teixeira, R. G., Cunha, C. B. (2002). Heurísticas para o problema de dimensionamento e roteirização de uma frota heterogênea usando o algoritmo Out-of-Kilter. Transportes, v. 10, n. 2.