

# PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA A OTIMIZAÇÃO DO ESTOQUE DE MATERIAIS UTILIZADOS EM VAGÕES DE CARGA GERAL\*

Clayton Guimarães de Almeida<sup>1</sup>

Breno Carvalho de Oliveira<sup>2</sup>

Jesus Jonatan Souza Santos<sup>3</sup>

Gustavo Barros Castro<sup>4</sup>

Eduardo Gontijo Carrano<sup>5</sup>

Gustavo Elói de Sá Lima<sup>6</sup>

## Resumo

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma abordagem de gestão de materiais de vagões ferroviários com o foco em minimizar o custo de estoque, definindo a quantidade ótima de materiais a serem comprados e estocados em um horizonte de planejamento de 12 meses levando em consideração três políticas de manutenção. A aplicação foi modelada e foi desenvolvido um algoritmo de otimização de modo a definir a quantidade ótima de cada um dos materiais a serem comprados e estocados em cada um dos 12 meses. Para tratar das incertezas na taxa de sucateamento de cada um dos materiais foi aplicada a técnica de simulação de Monte Carlo, sendo gerados 500 cenários e feita a análise para definir o cenário com melhor *trade-off* entre custo total de estoque e percentual de atendimento em relação a todos os cenários gerados. Com isso foi possível visualizar o cenário que favorece o melhor atendimento da demanda com o menor custo, mapeando as quantidades a serem compradas e o estoque mínimo necessário a ser armazenado.

**Palavras-chave:** Otimização; Gestão de Estoques; Minimização de Custos.

## METHODOLOGY FOR THE OPTIMIZATION OF THE STOCK OF MATERIALS USED IN GENERAL CARGO WAGONS

### Abstract

This paper presents a material management approach for railway wagons with a focus on minimizing the cost of inventory, defining the optimum quantity of materials to be purchased and stocked within a planning horizon of 12 months taking into account three policies of maintenance. The application was modeled and an optimization algorithm was developed in order to define the optimal quantity of each of the materials to be purchased and stocked in each of the 12 months. To deal with the uncertainties in the scrap rate of each of the materials, the Monte Carlo simulation technique was applied, generating 500 scenarios and the analysis was done to define the scenario with the best trade-off between total inventory cost and percentage of service in relation to all scenarios generated. With this, it was possible to visualize the scenario that favors the best attendance of the demand with the lowest cost, mapping the quantities to be purchased and the minimum stock needed to be stored.

**Keywords:** Optimization; Inventory Management; Cost Minimization.

<sup>1</sup> Bacharel em Sistemas de Informação, mestrando em Eng. Elétrica UFMG, Analista de Sistemas VLI.

<sup>2</sup> Engenheiro Eletricista, mestrando em Eng. Elétrica UFMG, Analista de Engenharia de Vagões VLI.

<sup>3</sup> Engenheiro Eletricista, doutorando Eng. Elétrica UFMG, Supervisor de Engenharia de Vagões VLI.

- <sup>4</sup> *Engenheiro Mecatrônico, Analista de Engenharia de Vagões VLI.*
- <sup>5</sup> *Doutor em Engenharia Elétrica, Professor do Departamento de Engenharia Elétrica da UFMG.*
- <sup>6</sup> *Engenheiro Mecânico, Analista de Engenharia VLI.*

## 1 INTRODUÇÃO

Em um cenário econômico desafiador que vem impulsionando cada vez mais as crescentes pressões competitivas e intensificando a volatilidade do mercado, cada vez mais as empresas necessitam buscar novas estratégias para redução de custos operacionais e aumento na eficiência de processos [1].

A gestão de estoque é um processo extremamente delicado e não muito bem gerido em várias empresas. Isso faz com que existam estoques muito inflados, gerando perdas por capital estagnado e custos com estocagem e obsolescência. Também pode ser encontrado estoques com poucas peças, gerando perdas por paralisação de ativos devido a falta de peças específicas para a manutenção.

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma abordagem de gestão de materiais com o foco em minimizar o custo de estoque, definindo a quantidade ótima de materiais a serem comprados e estocados em um horizonte de planejamento de 12 meses. Com isso, serão definidas as quantidades de cada um dos materiais a serem comprados em cada um dos 12 meses, sendo encontrado também a quantidade ótima de materiais a serem estocados em cada um destes períodos. Para tratar das incertezas na taxa de sucateamento de cada um dos materiais foi aplicada a técnica de simulação de Monte Carlo, sendo gerados 500 cenários e feita a análise dos mesmos para definir o cenário com melhor *trade-off* entre custo total de estoque e percentual de atendimento em relação a todos os cenários gerados.

A seguir, na seção 2, é apresentada a fundamentação teórica em que o trabalho foi embasado. Já na seção 3 é apresentada a metodologia utilizada bem como a definição e detalhamento da função objetivo do problema e suas restrições. Posteriormente, na seção 4, são apresentados os resultados encontrados, onde são feitas as análises dos mesmos. Por fim são feitas as considerações finais na seção 5.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO

Esta seção trata da descrição do problema proposto, assim como a fundamentação teórica necessária para resolução deste.

### 2.1 Gestão de Estoque Ótimo

Um dos processos de extrema importância para a maioria das grandes empresas é a gestão de estoque de peças de reposição. Isso se dá devido ao significativo valor destes itens que são mantidos em estoque.

O custo de estocagem destes itens é bastante alto para muitas empresas, excedendo em certos casos o lucro anual, porém os mesmos precisam ser estocados para que seja garantido um adequado nível de serviço aos clientes. Mesmo a gestão de estoque sendo bastante conhecida, ainda é um desafio evitar estoques com um grande número de peças, gerando um custo excessivo de manutenção e obsolescência [2].

A gestão de estoques, segundo [3], pode ser definida como um conjunto de atividades cujo objetivo é o atendimento da demanda de materiais da organização, buscando sempre o menor custo e o máximo de eficiência. Também é foco da gestão de estoque prover a maior rotatividade possível dos materiais para evitar a obsolescência dos mesmos. Outro ponto importante é a necessidade de se buscar um equilíbrio entre a redução dos custos gerais de estoque e o nível ideal do estoque.

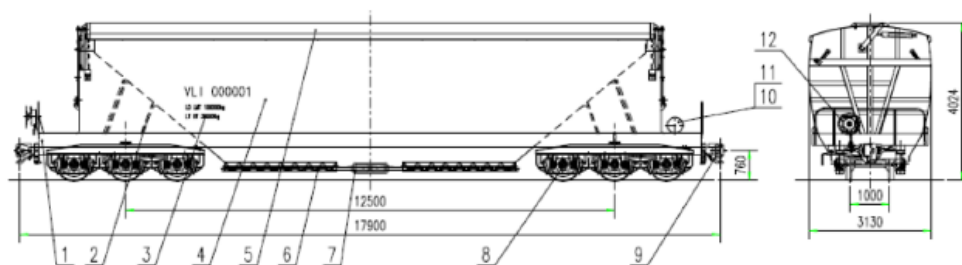
Para assegurar que os materiais estejam disponíveis, faz-se necessário manter um determinado nível de estoque. Isso é necessário devido a incerteza existente na previsão de demandas futuras [4].

De acordo com [5], é necessário aumentar a rotatividade dos materiais estocados pois isso faz com que seja liberado capital ativo e também seja reduzido o custo de manutenção de estoque. Com isso, a definição de uma política de estoque consistente é essencial para evitar uma quantidade excessiva de itens em estoque e também evitar a falta dos mesmos.

### 2.1.1 Manutenção em Vagões

Nesta seção será abordado de forma breve a descrição do ativo alvo deste trabalho, bem como sua estratégia de manutenção e sistemas integrantes.

O objeto de estudo será uma instância de 480 Vagões de carga geral de propriedade da empresa VLI Logística SA com as seguintes características: i) Série 253, fabricados em 2002; ii) Modelo Fechado com descarga inferior e carregamento superior; iii) Teto fechado por escotilhas; iv) Capacidade Bruta de 100 Toneladas; v) Transporte de: fertilizantes, milho, soja e farelo.



**Figura 1.** Vista Lateral e Frontal de um Vagão.

A figura 1 exibe um exemplo de vagão fechado, ou *hopper*[6]. Este é um vagão que possui carregamento superior por tulhas em terminais e descarga inferior, sendo os quatro principais sistemas apresentados a seguir na figura 2.

| ESTRUTURA                                | CCT        | FREIO        | TRUQUE    |
|------------------------------------------|------------|--------------|-----------|
| Super                                    | Engate     | Timoreia     | Aranha    |
| Infra                                    | ACT        | Válvulas     | Suspensão |
| Elementos de acoplamento e estabilização | Braçadeira | Cilindro     | Rodeiro   |
|                                          | Acessórios | Reservatório | Timoneria |

Figura 2. Hierarquia de sistemas para vagões.

### 2.1.2 Estratégia de Manutenção

Os planos de manutenção aplicados aos ativos deste trabalho são divididos em 3 níveis detalhados a seguir:

1. **Fast Track:** Inspeção em pátio após as descargas dos produtos no Porto com reparação condicional leve de alguns componentes (Mandíbulas, troca de rodeiros, reparo de comportas, dentre outros).
2. **Revisão Intermediária:** Manutenção preventiva com reparação condicional em todos sistemas do vagão com recondicionamento de Válvulas e Truques.
3. **Revisão Geral:** Manutenção preventiva mais detalhada contemplando a reparação condicional em todos sistemas do vagão e recondicionamento obrigatório de: Conjunto de Choque e Tração, Válvulas e Truques.

Diante disto, é fácil perceber que a medida que o número de ativos aumenta dificulta-se o planejamento e previsão da quantidade ótima de materiais a serem comprados e armazenados, levando em consideração o gasto com a estocagem e a necessidade de se garantir um nível de serviço adequado. Esta situação demonstra a alta complexidade para alocação ótima dos custos de estoque de forma a prevenir a falta de materiais e diminuir os valores gasto com armazenamento e obsolescência de materiais devido ao cenário incerto da quantidade de materiais a serem consumidos em cada tipo de manutenção.

### 2.2 Programação Linear

O problema de Programação Linear (PL) consiste na minimização de uma função objetivo de custos linear, sujeita a restrições lineares de igualdade ou desigualdade. O sentido da palavra programação se refere ao planejamento ótimo das atividades de modo a se conseguir o melhor resultado possível da função objetivo [10].

O problema de PL pode ser formulado matematicamente como [10]:

$$\max c^T x \quad (1)$$

Sujeito a:

$$Ax \leq b \quad (2)$$

$$x \geq 0 \quad (3)$$

Onde nas equações (1),(2) e (3),  $c$  e  $x$  são vetores em  $\mathbb{R}^n$ ,  $b$  é um vetor em  $\mathbb{R}^m$  e  $A$  é uma matriz em  $\mathbb{R}^{m \times n}$ .

Alguns problemas reais requerem o uso de variáveis que assumem valores discretos, ou sejam, valores inteiros, assim definidos como problemas de Programação Linear Inteira (PLI). Segundo [11] o nível de dificuldade para resolução de problemas de PLI é similar à resolução de problemas com PL, enquanto a PL possui um espaço infinito de soluções, a PLI possui um espaço finito de soluções.

Segundo [10] o problema de PLI pode ser formulado matematicamente como:

$$\min \sum_{i=1}^n c_i x_i \quad (4)$$

Sujeito a:

$$\min \sum_{i=1}^n a_{ij} x_i < b_j \text{ para } j = 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

$$x_j \in \mathbb{I} \text{ para } j = 1, 2, \dots, p (< n) \quad (6)$$

$$x_j \geq 0 \text{ para } j = p + 1, \dots, n \quad (7)$$

Onde nas equações(4),(5), (6),e (7),  $x_j$  são variáveis não negativas e  $c_j$ ,  $a_{ij}$  e  $b_i$  são constantes conhecidas, para todo  $i$  e  $j$ .

### 2.3 Método de Pontos Interiores

O Método de Pontos Interiores (MPI) foi apresentado para a comunidade em 1984 por N. Karmarkar[7]. Este tem como objetivo resolver problemas de programação linear em tempo polinomial. Sua principal característica é o fato de chegar a uma solução ótima para o problema caminhando através de pontos interiores da região factível (politopo), ao contrário do simplex, que seleciona somente vértices do politopo.

Seu funcionamento se dá com a seleção de um ponto inicial viável no interior do politopo definido através das restrições do problema. Em seguida este método gera um novo ponto na vizinhança o qual também está dentro do politopo, sendo este definido como ponto atual. Dessa forma são gerados vários pontos na direção da solução até que o critério mínimo para solução seja considerado ótimo [8].

### 2.4 Método Simplex

Segundo [9], o algoritmo simplex é responsável por encontrar uma solução ótima em problemas de programação linear (PPL). Isso é feito de forma iterativa e mediante a utilização de técnicas de álgebra linear. O simplex é considerado por [9] como uma metodologia básica e simples, sendo esta bastante eficiente.

Resumidamente, o simplex inicia sua execução partindo de uma solução viável (a qual é um vértice) do sistema de equações que é composto de restrições do PPL. Com a solução inicial selecionada, o algoritmo identifica novas soluções viáveis que possuam valor igual ou melhor que a solução atual. Esse critério de escolha faz com que o simplex seja capaz de encontrar vértices melhores na envoltória convexa do problema. Outra característica que o simplex possui é de ser capaz de determinar se o vértice selecionado é ou não a solução ótima do problema [9].

## 2.5 Método Híbrido

O método híbrido que será utilizado neste trabalho faz a união dos métodos de pontos interiores e o simplex. Com isso busca-se agregar a característica de rápida convergência dos pontos interiores com a capacidade de encontrar a solução ótima do simplex.

A execução deste algoritmo híbrido inicia com a execução do método de pontos interiores. Este seleciona um ponto inicial e é responsável por encontrar uma solução o mais próximo possível da solução ótima. Devido a sua característica, essa convergência é feita em um tempo polinomial.

A partir deste ponto é feito o chaveamento entre os métodos. Isso é feito por meio da identificação do vértice que está mais próximo da solução encontrada. Ao estabelecer este vértice, o mesmo é passado para o simplex como ponto inicial, dando início as iterações através dos vértices até que seja encontrada a solução ótima do problema.

Como isso, tem-se uma convergência rápida para uma solução aproximada (pontos interiores) e, através da identificação do vértice mais próximo da mesma, o ponto ótimo é encontrado pelo simplex. Isso faz com que este algoritmo se torne rápido e preciso na busca pela solução ótima.

## 2.6 Simulação de Monte Carlo

Método de Monte Carlo ficou conhecido na comunidade acadêmica em 1949, por meio do artigo "*Monte Carlo Method*" publicado por John Von Neumann e Stanislaw Ulam. Seu nome, bem como o desenvolvimento sistemático foi inspirado em um tio de Ulam que frequentava constantemente o cassino de Monte Carlo, cujo o aspecto aleatório de suas roletas está intimamente ligado ao método [12].

Devido a alta complexidade e a existência de variáveis estocásticas em problemas de natureza real, o método de Monte Carlo pode ser descrito como um método de simulações estatísticas que utilizam sequencias de números aleatórios para desenvolver simulações que sejam aderentes à cada incerteza do problema, de forma a obter uma estimativa da solução do problema. Em outras palavras, é visto como método numérico universal para resolver problemas por meio de amostragem aleatória (aproximação da solução diante de um problema envolvendo incertezas) [12] e [13].

Note que este método apenas proporciona uma aproximação da solução, portanto, é fundamental analisar o erro de aproximação, que é  $3\sigma/N^{1/2}$ , onde  $\sigma$  é o desvio padrão da amostra e  $N$  o tamanho da amostra. Logo, é evidente que quanto maior o tamanho da amostra, menor o erro de aproximação [13].

A figura 3 ilustra a ideia simplificada do método, assumindo que o sistema possa ser descrito pelo o comportamento de apenas uma Função de Distribuição de Probabilidade (FDP).



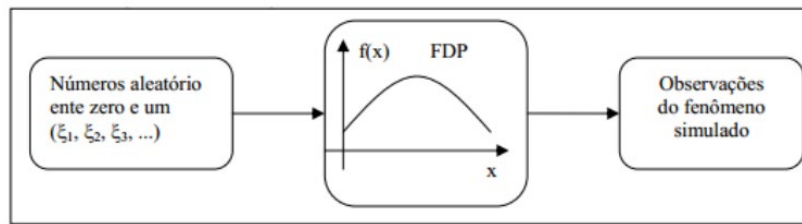


Figura 3. Ideia genérica do Método de Monte Carlo [13].

### 3 IMPLEMENTAÇÃO

O presente trabalho tem como foco otimizar o custo de estoque de materiais de reposição de vagões do tipo HFE. Estes são utilizados no transporte de grãos, como milho e soja. Seu fluxo vai do terminal integrador de Araguari em Minas Gerais, denominado TIA até o porto de Tubarão em Vitória/ES, conforme pode ser visto na figura 4.



Figura 4. Trecho de atuação dos vagões HFE [7].

A oficina de manutenção destes vagões, bem como o armazém de estocagem de materiais está localizado na cidade de Divinópolis, a qual está em um ponto intermediário do trecho trafegado pelas composições da empresa VLI. Com isso, todo o armazenamento de materiais se encontra em apenas um local.

Para a definição da metodologia de otimização de custo de estoque será utilizado um cenário simplificado focado na reposição em manutenções preventivas conforme será apresentado na seção a seguir.

#### 3.1. Descrição e Modelagem do Problema

Deseja-se encontrar as quantidades ótimas de compra e de estocagem de cada um dos 79 principais materiais em cada um horizonte de 12 meses, onde cada um dos meses equivale a um período. Para guiar esta otimização, é levada em consideração a demanda esperada de materiais para cada um dos meses, dada pela determinação das necessidades de manutenção anual da frota de 480 vagões e da capacidade mensal da oficina.

Existem três tipos de manutenção preventiva estipulados na companhia, os quais são: *i) Fast Track*: contempla somente trocas condicionais de materiais, sendo estas trocas definidas por inspeção no momento da manutenção; *ii) Revisão Intermediária*: trocas condicionais e obrigatórias de materiais. Este plano tem poucas trocas obrigatórias e maior foco em trocas condicionais; *iii) Revisão Geral*: maior foco em trocas obrigatórias, possuindo também algumas trocas condicionais de materiais, mediante inspeção.

Baseado em um planejamento de manutenção anual onde foi priorizado de forma igualitária o custo de manutenção e a confiabilidade dos vagões, foi determinado



que a necessidade de manutenção é de 137 manutenções do tipo *Fast Track*, 332 manutenções do tipo Revisão Intermediária e 11 Revisões Gerais.

Para cada material foi feito o levantamento de informações necessárias para realizar a otimização. Estas informações são a base para que se obtenha um resultado consistente. As informações coletadas são listadas a seguir: i) **Id**: código de identificação do material; ii) **Tx. F.T.**: taxa de sucateamento do material quando submetido o vagão a uma manutenção do tipo *Fast Track*; iii) **Tx. Int.**: taxa de sucateamento do material quando submetido o vagão a uma manutenção do tipo Revisão Intermediária; iv) **Tx. Geral**: taxa de sucateamento do material quando submetido o vagão a uma manutenção do tipo Revisão Geral; v) **Qtde. Vagão**: quantidade do material utilizada em cada vagão; vi) **Custo Unit.**: valor pago na compra do material junto ao fornecedor; vii) **Est. Inicial**: quantidade armazenada do material no início do período de otimização; viii) **Custo Armaz. Unit.**: valor dispendido para manter um material estocado.

Um exemplo destes dados coletados pode ser visto na tabela 1:

**Tabela 1.** Informações de materiais para *input* no algoritmo. Fonte: Autor

| Id | Tx F.T. | Tx Int. | Tx Geral | Qtde. Vagão | Custo Unit. | Est. Inicial | Custo Armaz. Unit |
|----|---------|---------|----------|-------------|-------------|--------------|-------------------|
| 1  | 0,25%   | 5,00%   | 10,00%   | 2           | 1,19        | 1            | 0,0567            |
| 2  | 10,00%  | 80,00%  | 100,00%  | 8           | 92,02       | 33           | 1,8474            |
| 3  | 3,00%   | 100,00% | 100,00%  | 36          | 1,56        | 164          | 0,052             |

Este problema foi modelado matematicamente, sendo definida a função objetivo conforme apresentado em (8). Nela é definido que o objetivo é minimizar o custo total de estoque, levando em consideração o custo de compra do material e também o custo de armazenamento do mesmo. Isso é feito para os  $i$  materiais em cada um dos períodos  $t$ .

Função objetivo:

$$\min \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T k_i \cdot x_{it} + h_i \cdot s_{it} \quad (8)$$

Sujeito a:

$$x_{it} + s_{i(t-1)} \geq d_{it} + s_{it} \quad (9)$$

$$s_{it} = E_i \quad \forall i \in I, \quad t = 0 \quad (10)$$

$$s_{it} \geq p_i \cdot d_{it} \quad \forall i \in I, \quad t \in T \quad (11)$$

$$x_{it}, s_{it} \geq 0 \quad \forall i \in I, \quad t \in T \quad (12)$$

Onde:

$I$ : número total de materiais;

$T$ : número total de períodos;

$k_i$ : custo unitário do material  $i$ ;

$x_{it}$ : quantidade do material  $i$  a ser comprada no período  $t$ ;

$h_i$ : custo unitário de armazenamento do material  $i$  em cada período;

$s_{it}$ : quantidade de material  $i$  a ser estocada no período  $t$

$d_{it}$ : previsão de demanda do material  $i$  no período  $t$ ;

$E_i$ : estoque inicial do material  $i$ ;

$p_i$ : percentual de estoque de segurança para o material  $i$ ;

O problema proposto é delimitado pelas restrições (9), (10) e (11). A equação (9) refere-se a limitação de quantidade de materiais a ser comprada. Isso se dá com a quantidade de material a ser comprado somada ao estoque anterior, onde este valor deve ser maior ou igual a demanda prevista deste material no período em questão somado a quantidade do material a ser estocada no mesmo período.

Já a restrição (10) tem como função definir que o estoque inicial de cada material deve assumir o valor de estocagem do período inicial ( $t = 0$ ). Na restrição (11) foi mapeada a garantia de que o estoque mínimo de cada material seja mantido através de uma porcentagem de segurança sobre a previsão de demanda deste material. Este percentual é um valor definido para cada material mediante sua criticidade e relevância no processo de manutenção.

### 3.2 Arquitetura do Algoritmo

Com a modelagem do problema definida, o próximo passo foi aplicar a mesma em uma técnica de programação linear inteira. Para a solução deste problema foi feita a implementação da modelagem no MatLab, aplicando o mesmo no algoritmo de pontos interiores juntamente com o algoritmo simplex (modelo híbrido).

Este algoritmo recebe as informações iniciais de materiais, efetua a execução do algoritmo e, por fim, gera uma matriz contendo os resultados obtidos, onde são apresentados os valores de quantidade a ser comprada e a quantidade a ser estocada para cada material em cada um dos períodos do horizonte de tempo determinado.

A taxa de sucateamento de cada material é dada pela média de troca dos mesmos nas manutenções do período anterior ao estudo. Estas taxas são dadas por valores médios, sendo estas consideradas não exatas. Com isso, tem-se a possibilidade de variação das mesmas, fazendo com que o resultado obtido não seja suficiente caso haja alterações no consumo.

Para tratar esta questão foi feita a implementação da simulação de Monte Carlo com o intuito de gerar vários cenários diferentes, baseando-se no cenário médio obtido por meio da média de gastos do ano anterior. Com isso foi proposto a criação de 500 cenários distintos para o estudo de caso consistente. Estes cenários foram realizados por meio da criação de taxas de sucateamento de cada material para cada plano de forma aleatória, através de uma distribuição normal e um desvio padrão considerado de 10%.

Com a geração dos 500 cenários, foi feita a execução da otimização de cada um deles, obtendo assim 500 resultados distintos. A execução da otimização para cada um dos cenários gastou um tempo médio de 6 minutos. Para a execução completa dos 500 cenários foram gastos 3000 minutos, sendo necessário manter o computador executando as otimizações por mais de dois dias.

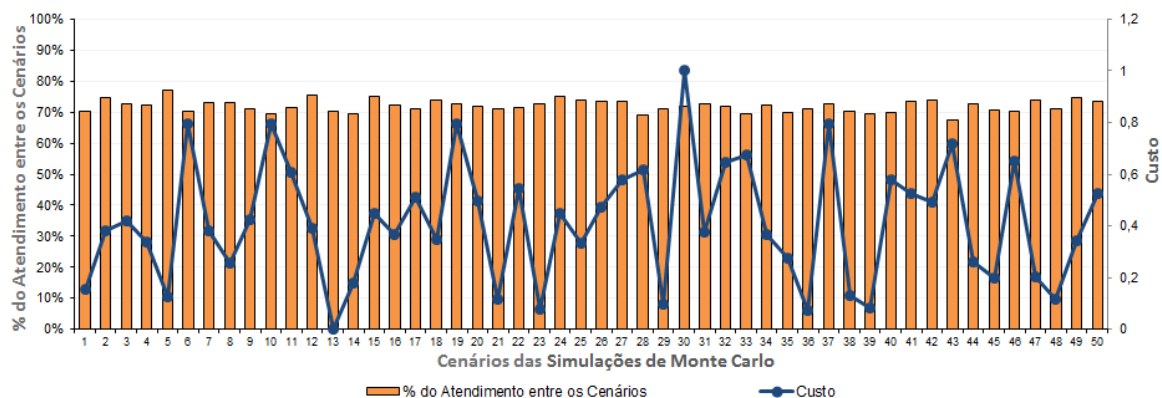
Ao fim da execução, foram coletados os resultados e efetuadas as análises pertinentes, conforme apresentado na próxima seção.

## 4 RESULTADOS

Os resultados obtidos nos 500 cenários gerados apresentam, cada um deles, um custo de estoque no período de um ano. Estes resultados também apresentam um valor de compra de cada material em cada um dos períodos.

É de extrema importância conseguir atender as demandas mensais de cada material mesmo existindo um contexto de incertezas nas taxas de sucateamento dos materiais. Com isso, foi feito o comparativo de cada um dos resultados encontrados com os outros 499 cenários analisados com o intuito de verificar qual o percentual de atendimento do cenário em questão em relação aos demais. Isso foi feito com a verificação, mês a mês, se a quantidade a ser comprada de materiais do cenário em questão era maior ou igual a quantidade estipulada pelos demais cenários. Essa comparação gerou um percentual de atendimento de um cenário perante os demais.

Com o intuito de efetuar análises dos resultados encontrados, foram criados dois gráficos. O primeiro gráfico, apresentado na figura 5, mostra os percentuais de atendimento mensal entre os cenários em barras para cada cenário e uma linha que mostra o custo total de estoque para cada cenário. Como existem 500 cenários, foi feita uma ordenação e agrupamento dos cenários de 10 em 10 e apresentado os dados dos 50 agrupamentos. Neste gráfico pode ser visto que o percentual de atendimento possui uma variação não muito alta, porém os custos de estoque variam muito. A identificação dos melhores cenários não fica clara ao avaliar este gráfico. Com isso faz-se necessário criar outro gráfico para auxiliar nessa avaliação.

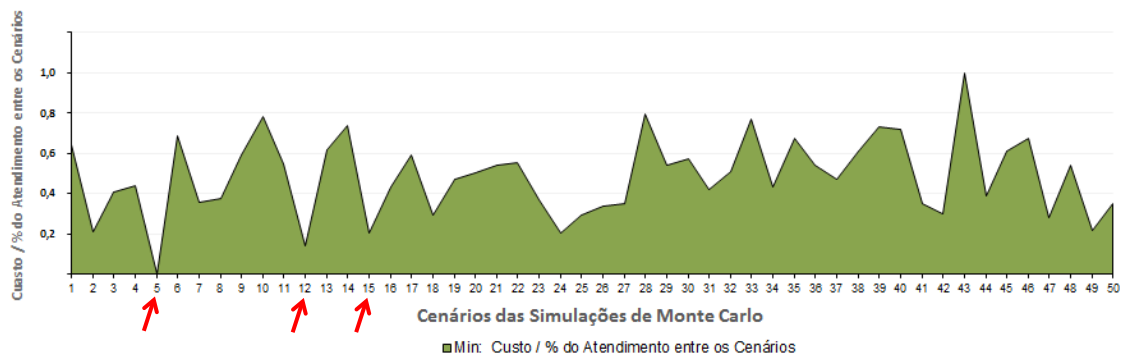


**Figura 5.** % de atendimento mensal X custo de estoque.

O segundo gráfico gerado é apresentado na figura 6. Ele tem como objetivo facilitar a identificação dos melhores cenários encontrados. Para tanto foi feito o cálculo do custo de estoque dividido pelo percentual de atendimento mensal. Com isso, quanto maior o percentual de atendimento dos demais cenários, menor será o valor encontrado para o cenário em questão, tendo também uma influência do custo de estoque no valor final.

Ao analisar o resultado obtido no gráfico 6, pode ser constatado que os cenários 5, 12 e 15 podem ser considerados os mais promissores dos resultados. Essa identificação é bem mais fácil de se fazer de forma visual devido aos vales gerados no gráfico. Em contrapartida, os picos presentes no gráfico representam os resultados

menos promissores devido a sua baixa aderência no atendimento e/ou alto custo de manutenção do estoque.



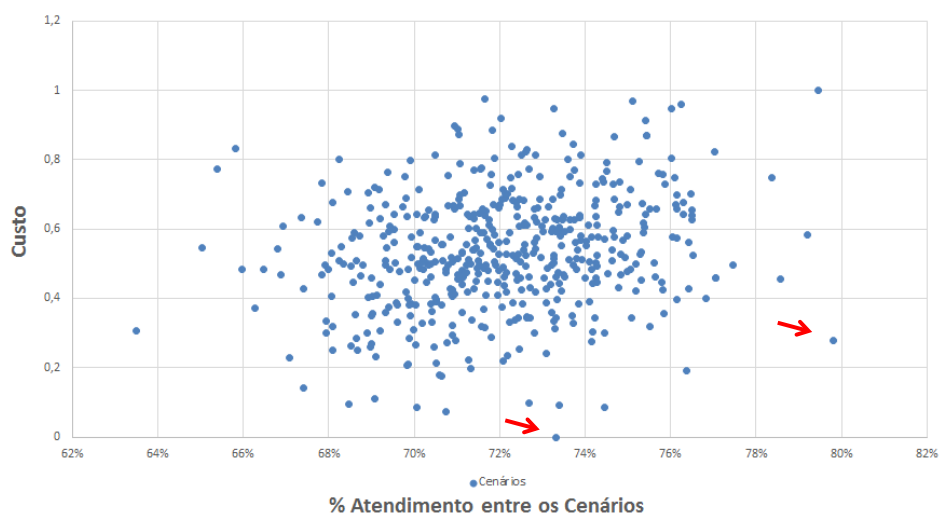
**Figura 6.**Classificação dos resultados.

Para fazer uma análise geral de todos os cenários não agrupados, foi criado um gráfico de dispersão dos cenários como pode ser visto na figura 7.

Pode ser observado que existe uma aglomeração de resultados entre as faixas de 68% a 76% de atendimento aos demais cenários e em uma faixa de 0,2 a 0,7 de custo de estoque. Estes valores de custo de estoque foram normalizados com a finalidade manter sigilosos os valores reais.

Um cenário é considerado ótimo quando o mesmo possui um custo baixo de estoque e um alto percentual de atendimento aos demais cenários. Observando o gráfico da figura 7 pode ser visto que o cenário considerado como o melhor possui uma taxa de atendimento de 79,81% e um custo de 0,278.

Também pode ser visto que o cenário de menor custo de estoque não é considerado o melhor cenário devido ao fato do mesmo possuir um percentual de atendimento dos demais cenários de 73,32%. Isso faz com que o investimento seja menor, porém pode acarretar no não atendimento das demandas por falta de material.



**Figura 7.**Gráfico de dispersão de todos os cenários otimizados.

A seguir são apresentadas as considerações finais a respeito do trabalho desenvolvido.

## 5 CONCLUSÃO

Este trabalho proporcionou o desenvolvimento de uma metodologia para o planejamento de materiais mais eficaz na aplicação de recursos e custos da empresa em questão. Também foi possível definir um efetivo giro de materiais, possibilitando a diminuição da quantidade de materiais inservíveis, consequentemente a diminuição dos custos de estoque.

Outro ponto importante a ser ressaltado é a visibilidade dada a perdas geradas pela falta de contabilização de custos no processo de gestão de estoque feito atualmente. Foi visto que os custos de armazenamento dos materiais não estão sendo contabilizados no custo total do estoque.

Por fim, foi utilizada a simulação de Monte Carlo, possibilitando a visualização e possível tratamento mais assertivo das incertezas ligadas as taxas de sucateamento dos materiais. Com isso é possível ter mais clareza na tomada de decisão por meio de inúmeros cenários gerados. Essa simulação de 500 cenários demandou um tempo computacional relativamente alto (aproximadamente 2 dias de simulação) com relação a simulações de problemas de *benchmark*, porém este tempo se torna viável em vista do planejamento de materiais que é feito para um horizonte de um ano.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho teve o suporte financeiro das agências CAPES, CNPq e FAPEMIG. Fica também o agradecimento a empresa VLI pelo tempo disponibilizado e pelo suporte para a realização deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- 1 Redução estratégica de Custos. 2016 [acesso em 03mar. 2018]. Disponível em: <https://www2.deloitte.com/br/pt/pages/operations/solutions/reducao-estrategica-de-custos.html>.
- 2 Porras, E., Dekker, R. *An inventory control system for spare parts at a refinery: an empirical comparison of different re-order point methods*, European Journal of Operational Research, 184, pp. 101–132, 2008.
- 3 VIANA, J. J. Administração de Materiais: um enfoque prático, 1 ed. São Paulo: Atlas, 2000.
- 4 POZO, H. Administração de Recursos Materiais e Patrimoniais, 6. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- 5 NOGUEIRA, A. Logística Empresarial: Uma visão local com pensamento globalizado, 1 ed. São Paulo: Atlas, 2012.
- 6 VLI Manual Técnico de Vagões, Belo Horizonte, 2016.
- 7 Dutra, A.S. Método de Pontos Interiores Aplicado a um Problema de Sequenciamento Job-Shop, Dissertação Mestrado, Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, 2004.
- 8 Saldanha, R. Otimização em Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, 13 dez. 2017. Notas de Aula.
- 9 Goldbarg, M. C. Otimização combinatória e programação linear: modelos e algoritmos, 2.ed., Rio de Janeiro, Elsevier, 2005, 10ª reimpressão, il.

- 10 Dantas, A.P.S. Modelos de Programação Linear Inteira para O Problema de Programação de tripulação, Monografia, Universidade Federal do Ceará, Quixadá, CE, 2017.
- 11 Santos, R. F., Junior, E. C. S., Bouzada, M. A. C. A Aplicação da Programação Inteira na Solução Logística do Transporte de Carga: O Solver e suas Limitações na Busca pela Solução Ótima, Revista Produção Online, Florianópolis, SC, v.12, n. 1, p. 185-204, jan./mar. 2012
- 12 Método de Monte Carlo, Sistema Maxwell - Biblioteca Digital do Departamento de Engenharia Elétrica da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro[acesso em 10mar 2018]. Disponível em:[https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/19632/19632\\_4.PDF](https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/19632/19632_4.PDF).
- 13 Strongoli, M.V., Barbosa, I. M. S., Silva, A. F., Marins, F. A. S., Otimização Via Simulação Monte Carlo aplicada na melhoria do processo produtivo de placas de circuito impresso, XIII SEGeT – Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, RJ, out./nov. 2016