



Estoque de peças sobressalentes: Um estudo sobre a classificação dos itens, da demanda e de métodos de previsão

Samyres Damasceno Margotti

Leandro Reis Muniz

RESUMO

A gestão de estoque de peças sobressalentes é complexa e envolve grande quantidade de materiais, o que torna seu gerenciamento difícil. A forma que uma organização gerencia sua reposição de peças sobressalentes está diretamente relacionada ao bom funcionamento das máquinas e equipamentos essenciais para o funcionamento da produção. Classificar a demanda dos itens em estoque é de suma importância para o melhor entendimento das necessidades de compra de peças para reposição, tendo assim um meio de evitar falta e consequentes paradas na produção. O presente trabalho traz em discussão a relação entre a classificação da demanda com métodos de previsão de demanda com o intuito de propor um método para gestão de estoques de itens de manutenção a ser utilizada por empresas que desejam melhorar o seu processo de reabastecimento, evitando falta de peças e perda de capital por compras em excesso ou obsolescência.

Palavras-chave: Estoque, Gestão, Peças sobressalentes, Previsão.

1 INTRODUÇÃO

O gerenciamento de estoques é uma atividade da rotina organizacional das empresas e compreende diversos processos decisórios, como o transporte das peças, as demandas de cada item, quando realizar as compras para reabastecimento e qual quantidade adquirir de cada item. O controle de estoque, quando feito de forma eficaz, representa uma vantagem competitiva no mercado. A aplicação do controle de estoque leva em consideração a definição das estratégias de transporte, técnicas de movimentação e armazenagem, programação de compras, gerenciamento de materiais, seleção de fornecedores, decisões de estocagem e previsão, levantamento de custos, e as estratégias de solução para possíveis eventualidades (ZNAMENSKY e CUNHA, 2003).

A estocagem de peças sobressalentes é realizada para atender aos processos produtivos e às necessidades de manutenção de equipamentos, e por isso deve ser considerada parte essencial do controle de estoque. A gestão de peças sobressalentes é complexa e pode envolver grande quantidade de materiais (EAVES, 2002; EAVES; KINGSMAN, 2004; REGO; MESQUITA, 2015; HU et al., 2018). O gerenciamento e previsão de demanda de tais itens em estoque é tão importante quanto o feito em estoques de matérias primas e produtos para vendas e, ainda assim, é comumente negligenciado ao considerar-se apenas a relevância do estoque de matéria-prima e fornecimento de produtos ao mercado (CAMPOS e SIMON, 2019).



Sendo assim, tem-se justificada a realização para este trabalho, visto que através da observação do controle de estoque de peças sobressalentes da mineradora estudada, notou-se a falta de aplicação de uma metodologia consistente com as necessidades de um estoque de peças de manutenção. Como consequências, tem-se um grande acúmulo de algumas peças e recorrentes perdas por obsolescência, ao mesmo tempo em que há momentos de grande inatividade da produção em função da falta de elementos para manutenção.

1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO

Este estudo aborda modelos de classificação e previsão de demanda aplicados à gestão de estoques de peças sobressalentes, considerando desde a sua relevância para a continuidade dos processos produtivos até a dificuldade para sua compra. O objetivo geral é identificar um método para a gestão de estoque de peças sobressalentes em uma mineradora. Como objetivos específicos podem ser apontados:

- Estudar métodos de previsão de demanda;
- Estudar os métodos de classificação;
- Aplicar as classificações em uma base de dados real;
- Aplicar os métodos de previsão em uma base de dados real;
- Encontrar regiões de interface entre os métodos de classificação e os métodos de previsão;
- Avaliar a performance dos métodos de previsão em base histórica;

2 REVISÃO DA LITERATURA

O cenário de competitividade crescente entre empresas exige que as mesmas busquem formas de se beneficiar e se diferenciar em relação às outras, e assim, com políticas adequadas ao negócio e à demanda, conseguir destaque no mercado. Sabe-se que não só adequar a produção de acordo com as vendas é suficiente, mas também é preciso dar a devida importância a manter um estoque e preparar-se para quaisquer adversidades que ditam a demanda (COSTA e FERNANDES, 2017). Em um estoque de peças sobressalentes, ou peças de reposição, vários itens são relevantes e uma ruptura de estoque pode impactar imediatamente o processo de produção (ZHANG e ZENG, 2017).

Campos e Simon (2019), em sua revisão bibliográfica, dizem que a eficácia no gerenciamento de peças sobressalentes pode diminuir o tempo de inatividade da produção, o gasto com a manutenção de equipamentos e melhorar a segurança operacional. No conjunto de artigos analisados, os autores identificaram três categorias de modelos de previsão de estoque: aqueles que utilizam políticas baseadas na demanda das peças de reposição, aqueles que utilizam ferramentas de suporte para tomada de decisão e aqueles que utilizam ferramentas para aprimoramento das políticas dos estoques. Com base em suas pesquisas, concluíram que os diferentes tipos de modelos de controle de estoque são raramente apresentados em conjunto em outras literaturas, o que seria de grande interesse em novas pesquisas. Neste sentido, é



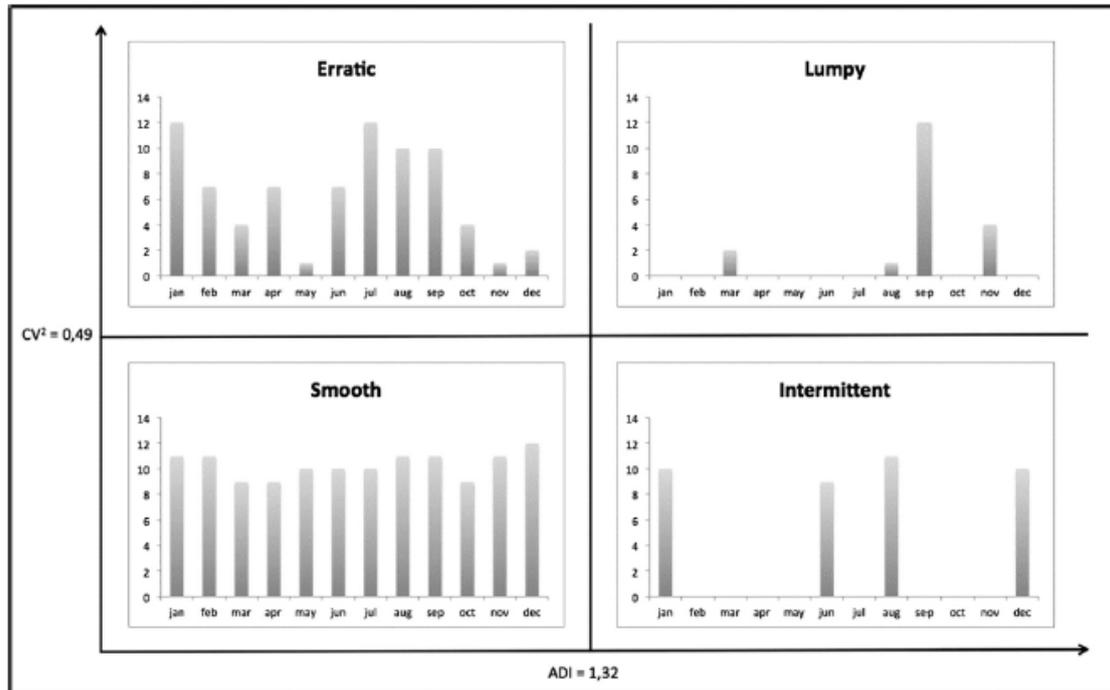
importante classificar os itens necessários no estoque e a demanda destes na empresa, levando em conta as diferentes relevâncias de cada item, os preços de compra e estocagem, o espaço que deverá ser disposto para guardar tais itens, e frequência na análise de disponibilidade e validade de cada item.

Existem diversos modelos para a classificação de estoque, Roda (2014) apresenta alguns, a partir de uma revisão bibliográfica e os compara apresentando pontos positivos e negativos de cada um. Os autores também discutem a maior funcionalidade de modelos de classificação com mais de um critério, visto que se adequam melhor a situações reais, nas quais é preciso lidar com uma base de dados extensa e multivariada. Alguns modelos de classificação apresentados por Roda (2014) são: classificação ABC, classificação VED, DEA, AHP e aqueles que utilizam algoritmos genéticos e redes neurais artificiais. As classificações referentes à popularidade e relevância, PQN e 123 respectivamente, são feitas a partir das quantidades requeridas de cada item durante o período que se quer analisar.

Izahc (2020) desenvolveu um trabalho em gestão de peças sobressalentes através das curvas de classificação e agrupamento de volume e classificação da criticidade dos itens em uma empresa fabricante de equipamentos de transporte ferroviário de carga. Após a coleta de dados da empresa, considerando o período de um ano, os itens em estoque identificados foram classificados utilizando as curvas ABC e XYZ. O autor, então, combinou ambos os modelos de classificação, uma vez que havia a necessidade de definir os itens em estoque de acordo com a sua importância financeira e a sua importância operacional, e determinou quais itens deveriam ser administrados através da política de ressuprimento, ao calcular os pontos mínimo e máximo para reposição.

Constantino *et.al* (2017) destacam que, tradicionalmente, os autores tratam da previsão de demanda e da classificação de demanda como problemas independentes, entretanto, em estudos mais recentes, a interdependência entre ambos assuntos têm se tornado mais evidente. Neste trabalho, os pesquisadores desenvolveram um novo método para gestão de peças sobressalentes de demanda irregular e aplicaram-no em dados de uma companhia aérea europeia, Figura 1.

Figura 1: Padrão de demanda (Errática, Irregular, Regular e Intermitente).



Fonte: Costantino et. al / Ômega (2017)

Para validar o modelo desenvolvido, utilizaram as categorias suave, intermitente, errática e irregular - partindo dos valores de corte tradicionais $CV^2 = 0,49$ e $ADI = 1,32$ (SYNTETOS, BOYLAN & CROSTON, 2005) – como presente na Figura 1, para comparar seu desempenho ao de métodos comumente utilizados nas indústrias.

O método de Suavização Exponencial Simples calcula uma média móvel com um peso exponencial de todos os valores observados anteriormente. Mendes (2019) aplicou este método e algumas de suas variações em um estudo para reposição de estoque de peças sobressalentes em uma usina sucroalcooleira a fim de definir a melhor técnica para prever a demanda. Após realizar a pesquisa bibliográfica para embasamento teórico, a autora baseou-se em observações passadas para identificar padrões de série temporal e, assim, iniciar os cálculos das previsões. Por fim, para determinar o método de previsão mais adequado, calculou o erro de previsão Desvio Absoluto Médio (MAD) para sinalizar o ajuste das previsões. É importante ressaltar que o erro de previsão no período t pode ser representado por $e_t = (Z_t - \bar{Z}_t)$, podendo haver variações positivas e negativas (CHEN; TWYLCROSS; GARIBALDI, 2017).

Com o objetivo de melhorar o desempenho da gestão de estoques e programação da produção, Jesus (2016) propôs a análise das técnicas de previsão de demanda aplicadas em uma empresa Cerâmica em Minas Gerais. O autor utiliza os métodos Média Móvel, Média Ponderada, Média Exponencial Móvel e Técnica de Regressão Linear Simples e Previsão de Sazonalidade Simples. Em um primeiro momento, a pesquisa apresenta a teoria e os cálculos de cada método de previsão selecionado. Posteriormente, realiza uma entrevista com o dono da empresa e coleta os dados históricos de um produto específico de dezembro de



2012 a dezembro de 2013. Por fim, aplica os modelos de previsão na base de dados utilizando o *Excel* e compara os seus respectivos desempenhos a partir do cálculo do erro médio acumulado. O apontamento do modelo de melhor rendimento se dá pela análise daquele que apresentou o menor erro.

Irigon *et.al* (2019) desenvolveu um trabalho em gestão de estoque de peças sobressalentes em operadores de helicópteros utilizando os métodos de Média Móvel e Holt Winters e, ao fim, comparando-os para determinar qual teria o melhor desempenho. Os autores coletaram os dados das demandas dos últimos 15 meses e identificaram a classificação dos itens aplicando a curva ABC. Nesse sentido, os modelos de previsão propostos seriam aplicados especificamente nas peças de maior relevância no estoque. Após o tratamento dos dados, os modelos de previsão geraram previsões para os próximos trimestres com a ferramenta solver do *Excel*. Após determinadas as previsões, o desempenho de cada modelo foi mensurado por meio do *Root Mean Square Error* (RMSE).

Silverio (2016) desenvolveu uma pesquisa para predição de demanda de peças sobressalentes em uma oficina de manutenção de turbomáquinas de uma empresa petrolífera. O objetivo geral de seu trabalho era comparar o desempenho dos métodos Suavização Exponencial, Média Móvel, Média Móvel Ponderada, Croston e SBA, aplicados em dados de demanda real de peças de reposição. A base de dados foi obtida com base em registros históricos do sistema ERP da empresa e os dados foram tratados com ferramentas estatísticas a fim de determinar os outliers e verificar a estacionariedade das séries. Para a avaliação do desempenho dos métodos, utilizou-se de diferentes cálculos de erro: MAD – Mean Absolute Deviation (Desvio Absoluto Médio), MAPE – Mean Absolute Percentual Error (Média Absoluta Percentual dos Erros) e MSE – Mean Square Absolute Error (Média Quadrada dos Erros).

Souza (2020) realizou uma pesquisa aplicada no planejamento de peças sobressalentes na indústria mineral combinando previsão de demanda e classificação multicritério. Primeiramente, o autor classificou a demanda dos itens em estoque, dividindo-as nas categorias errático, irregular, intermitente e regular. Para esta classificação, foram utilizados os pontos de corte propostos por Syntetos e Boylan (2005), *Average inter-Demand Interval* (ADI) de 1,34 e *Coefficient of Variation* (CV^2) de 0,49. Devido ao grande número de itens em estoque, promoveu-se a identificação de *outliers* para facilitar a implementação dos métodos de previsão e análises posteriores. A pesquisa utiliza cinco métodos de previsão e os aplica na base de dados. Para a análise do desempenho das previsões dos modelos foram utilizadas as métricas MAE (*Mean Absolute Deviation*) e MASE (*Mean Absolute Scaled Error*). De modo geral, a pesquisa contribui com a combinação de modelos qualitativos e quantitativos no gerenciamento de peças sobressalentes e sugere, para estudos futuros, uma avaliação mais detalhada das peças sobressalentes com subdivisões internas em cada categoria e relacionar com o modelo de previsão.

Fica evidente, a partir dos estudos analisados, que para garantir a segurança e agilidade nas atividades de manutenção, é preciso garantir que alguns materiais estejam sempre disponíveis para tal. Para isso, é



importante classificar os itens necessários no estoque e a demanda destes, considerando as relevâncias de cada item, os preços de compra, o espaço que deverá ser disposto para guardar e a frequência na análise de disponibilidade e funcionabilidade de cada item, visto que ao se comprar mais do que é necessário alguns podem passar do prazo de validade. Em muitas grandes empresas, é comum manter elevado número de peças sobressalentes (LAJILI *et. al*, 2015). O desenvolvimento de pesquisas relacionadas a peças sobressalentes para melhor embasar os processos decisórios e assim diminuir gastos com perdas por obsolescência e compras desnecessárias é relevante devido ao cenário de competitividade crescente entre empresas de diferentes setores. Nesse sentido, este estudo apresenta alternativas que auxiliem a tomada de decisão no gerenciamento de peças sobressalentes.

3 METODOLOGIA

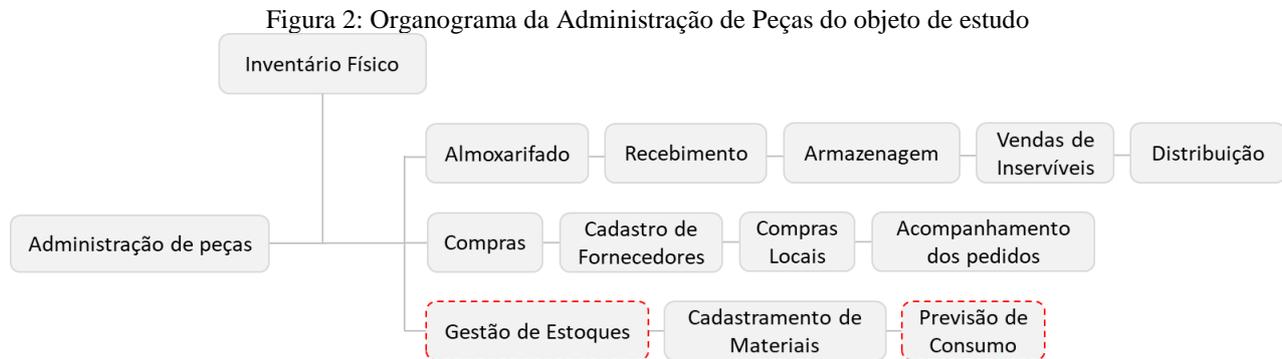
Baseado no trabalho de Turrioni e Melo (2012), a atual pesquisa é classificada como um estudo de caso exploratório, porque testa hipóteses, instrumentos e procedimentos no âmbito da previsão de demanda de peças sobressalentes. As fontes de evidência foram documentações e registros em arquivos, fornecidos pela empresa objeto de estudo. Tem-se em conta, para a validação dos resultados, o cuidado com generalizações estatísticas estudado por Yin (2001), sendo o estudo de caso generalizável a proposições teóricas e não a populações.

A mineradora estudada está no mercado há mais de 70 anos e a unidade objetivo da pesquisa está situada em Belo Horizonte, Minas Gerais. A empresa possui aproximadamente 6 mil empregados no Brasil e 17 mil colaboradores no total em 40 países, tendo um avançado setor de pesquisa e desenvolvimento. A empresa atingiu, entre os anos de 2017 e 2018, o lucro líquido consolidado de R\$ 233 milhões.

No âmbito do planejamento de peças sobressalentes em estoque, a disponibilidade das peças quando necessário para manutenção e a mobilização de recursos financeiros para compras e armazenamento das mesmas são pontos conflitantes. A retenção excessiva dessas peças em estoque pode gerar altos custos de armazenamento, ao mesmo tempo que optar por não manter uma certa quantidade dessas peças em prontidão, para eventuais manutenções e reparos, gera grandes tempos em inatividade, que prejudicam a saída das demandas em tempo (COSTA & FERNANDES, 2017). Estudar diferentes abordagens para previsão de demanda, considerando o histórico dos pedidos e as características subjetivas das peças, é muito importante para auxiliar tomadas de decisão na gestão de estoque de peças sobressalentes.

A gestão de estoque na mineradora está inserida no domínio da administração de peças como representado na Figura 2. Nota-se, a partir do organograma, que a separação dos estoques de peças sobressalentes a outros estoques não é estabelecida organizacionalmente, ponto relevante a ser apontado. É importante ressaltar que este estudo aborda de forma conjunta a gestão de estoques e a previsão de consumo,

focado apenas em uma amostra das peças sobressalentes da empresa, tendo separado os dados do estoque destas peças a de outros estoques.



Fonte: Autor

Como este projeto propõe abordar aspectos ligados ao gerenciamento de estoque de peças sobressalentes, à classificação de demanda e aos modelos de previsão, a primeira etapa constituiu-se de uma pesquisa bibliográfica a respeito das melhores práticas concernentes aos procedimentos e técnicas para classificação de demanda de peças sobressalentes. A partir disso, o trabalho passou a focalizar a revisão crítica dos métodos de previsão clássicos e das classificações de demanda e de peças, buscando identificar uma interface destas com os modelos de previsão. Posteriormente, a proposta foi aplicada a uma base de dados real e os resultados foram analisados. Foram utilizados como base para definição destes passos, principalmente, os trabalhos de Constantino *et. al* (2017), Mendes (2019), Jesus (2016) e Souza (2020), tendo em adição a etapa de classificação das peças, como aplicada no estudo de Izahc (2020). Estes trabalhos foram escolhidos porque possuem, de modo geral, objetivos similares ao presente estudo e também apresentam passos de aplicação próximos. Por fim, os passos deste estudo se deram conforme o cronograma:

- Pesquisa bibliográfica para fundamentar os aspectos teóricos da pesquisa – Março de 2021 a Junho de 2021;
- Identificar os métodos de previsão e de classificação nas fontes pesquisadas nos últimos 10 anos – Março de 2021 a Julho de 2021;
- Eliminar os métodos redundantes – Março de 2021 a Julho de 2021;
- Verificar a aplicabilidade dos métodos na classificação de demanda e os modelos de previsão em base de dados real em comparação a literatura – Junho de 2021 a Julho de 2021;
- Indicar o método de previsão mais adequado a classificação dos itens – Junho de 2021 a Setembro de 2021;
- Análise dos resultados e conclusões – Setembro de 2021 a Novembro 2021;



A base de dados utilizada no trabalho foi fornecida no formato de uma planilha eletrônica pelo próprio setor de Gestão de Estoque da mineradora. A base contava inicialmente com 12.723 peças sobressalentes cadastradas no *Enterprise Resource Planning* (ERP) e possuía um histórico de demanda de 10 anos. Além disso, foram fornecidas as informações: preço das peças, criticidade, consumo total, *Average inter-Demand Interval* (ADI) e *Coefficient of Variation* (CV^2) e o código de cadastramento de cada item no sistema. De forma a identificar e eliminar *outliers* para aprimorar o tratamento dos dados, utilizou-se a ferramenta *boxplot* no *Excel*, a partir da qual fora determinado o critério de trabalhar apenas com as peças que possuíam no máximo 2,6 de ADI e 7,25 de CV^2 , valores que correspondem ao dobro do ponto de corte desses parâmetros. Por fim, a quantidade de itens analisados foi de 370 peças sobressalentes.

Para analisar o rendimento dos modelos de previsão, utilizou-se as métricas de erro MAE (*Mean Absolute Error*) e RMSE (*Root Mean Square Error*), tendo em consideração a afirmativa de que quanto menor esses valores, melhor se dá o desempenho dos modelos (MENDES, 2019). Em adição, de forma a promover uma metodologia combinada por métodos qualitativos e quantitativos, os modelos de previsão e seus respectivos desempenhos foram relacionados aos conceitos de classificação de demanda e classificação de peças. As informações qualitativas de criticidade (XYZ) e relevância (ABC), foram obtidas, respectivamente, internamente por especialistas e automaticamente do ERP.

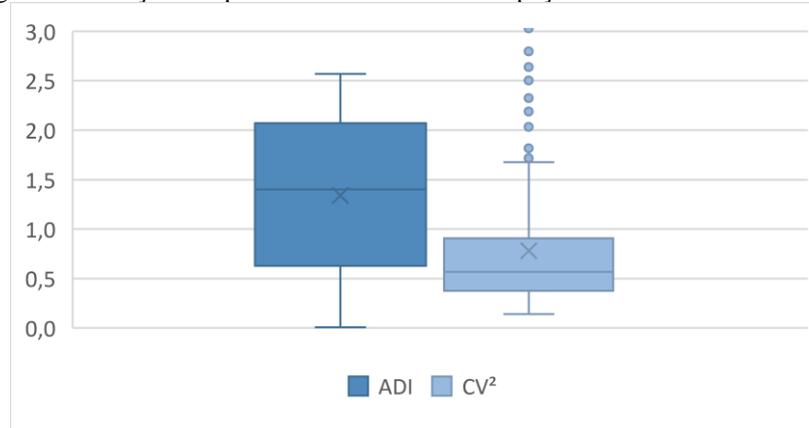
Para a realização desta pesquisa e utilização dos dados coletados na empresa, fora acordado a não divulgação do nome da empresa e de informações profundas no que diz respeito aos seus processos, visando manter a confidencialidade em relação à sua identidade. Além disso, os dados fornecidos foram limitados entre o período 10 anos, visto que não estariam sendo utilizados ativamente em outras questões. Este estudo está delimitado às fases de previsão de demanda e restituição da peça em estoque, que ocorrem após a primeira aquisição e antes do ponto de obsolescência da peça. A validação da relação entre os fatores subjetivos, como a classificação das peças devido sua criticidade e relevância no estoque, em relação aos métodos de previsão, não foi desenvolvida nesta pesquisa devido à impossibilidade de aplicação real na empresa e consequente quantificação matemática.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação dos métodos de classificação de demanda e de peças conjunta a de métodos de previsão se deu por meio da metodologia proposta. A partir da classificação das peças de acordo com sua relevância com o modelo ABC e em relação a sua criticidade com o método XYZ e também da classificação das demandas das peças a partir dos parâmetros ADI e CV^2 , se dá a aplicação dos métodos de previsão Média Móvel Simples, Média Móvel Dupla e Suavização Exponencial e o cálculo de seus respectivos erros, sendo possível indicar quais métodos melhor performam e relacioná-los às suas classificações de peças e demanda.

Das 12.723 peças sobressalentes registradas em estoque, optou-se por trabalhar com apenas aquelas com demandas mais recorrentes e com os valores de ADI e CV^2 proporcionais. É percebido, na Figura 3, que existiam peças com os valores de ADI bem elevados e, em contraponto, valores de CV^2 bem pequenos. A fim de trabalhar com peças que representassem a maioria das peças sobressalentes registradas e que, ao mesmo tempo, estivessem de alguma forma proporcionais aos pontos de corte tradicionais de Syntetos, Boylan e Croston (2005), optou-se por trabalhar apenas com as peças tinham, no máximo, 2,6 de ADI e 7,25 de CV^2 . O estudo então trabalhou com 370 peças e, a partir da avaliação dos parâmetros citados, foi possível classificar as demandas de acordo com os intervalos apresentados na Tabela 1.

Figura 3: Variação dos parâmetros ADI e CV^2 nas peças sobressalentes em estoque



Fonte: Autor

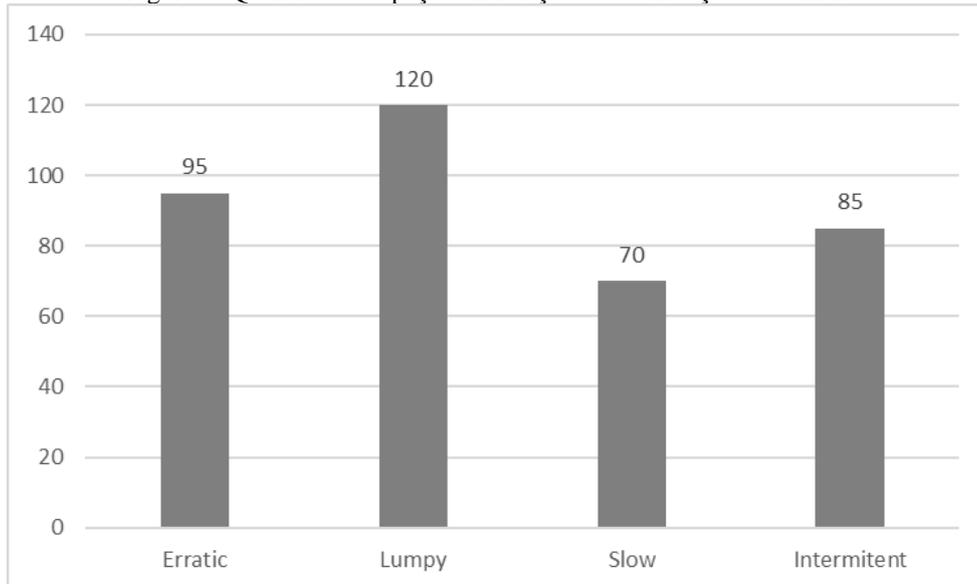
Tabela 1: Intervalos ADI e CV^2 para classificação de demanda

| Classificação | ADI | CV^2 |
|---------------|--------|--------|
| Erratic | < 1,32 | < 0,49 |
| Lumpy | ≥ 1,32 | < 0,49 |
| Slow | > 1,32 | ≥ 0,49 |
| Intermitent | ≥ 1,32 | ≥ 0,49 |

Fonte: Yilmaz & Yapar (2019)

A partir dos pontos de corte dos parâmetros ADI e CV^2 presentes na Tabela 1, foi possível classificar a demanda das peças nos quatro tipos propostos por Syntetos e Boylan (2005). Percebe-se, na Figura 4, que o tipo de demanda predominante nas peças sobressalentes do estoque da mineradora é *Lumpy*, ou seja, possuem demandas caracterizadas por um intervalo entre demandas irregular (ADI maior) e por um coeficiente de variação entre demandas também irregular (CV^2 alto). Além da classificação das demandas, as peças foram classificadas quanto a sua relevância no estoque, considerando as peças mais caras de maior relevância e a mais baratas de menor relevância, e quanto a sua criticidade, sendo as peças de alta criticidade aquelas que, quando faltam, causam maiores impactos negativos na continuidade da produção.

Figura 4: Quantidade de peças em relação à classificação da demanda



Fonte: Autor

Na Figura 5, é possível observar de forma generalizada as características de itens em estoque a partir das classificações ABC e XYZ. A tabela 2 demonstra a relação entre as classificações ABC e XYZ das peças sobressalentes da mineradora, com o objetivo de verificar uma possível correspondência entre elas. Primeiramente, nota-se que dentre as peças não existem peças classificadas como Z e as peças CX são predominantes, representando 64% do total do estoque. Para os itens de baixa criticidade X, estes aumentam conforme diminui a importância estabelecida pela classificação ABC. A mesma relação pode descrever também os itens de criticidade média.

Figura 5: Relação entre as classificações ABC e XYZ



Fonte: Aprendendo Gestão (2016)

Tabela 2: Criticidade XYZ nas classes ABC

| Classificação | A | B | C | Total |
|---------------|----|----|-----|-------|
| X | 13 | 45 | 239 | 297 |
| Y | 1 | 13 | 59 | 73 |

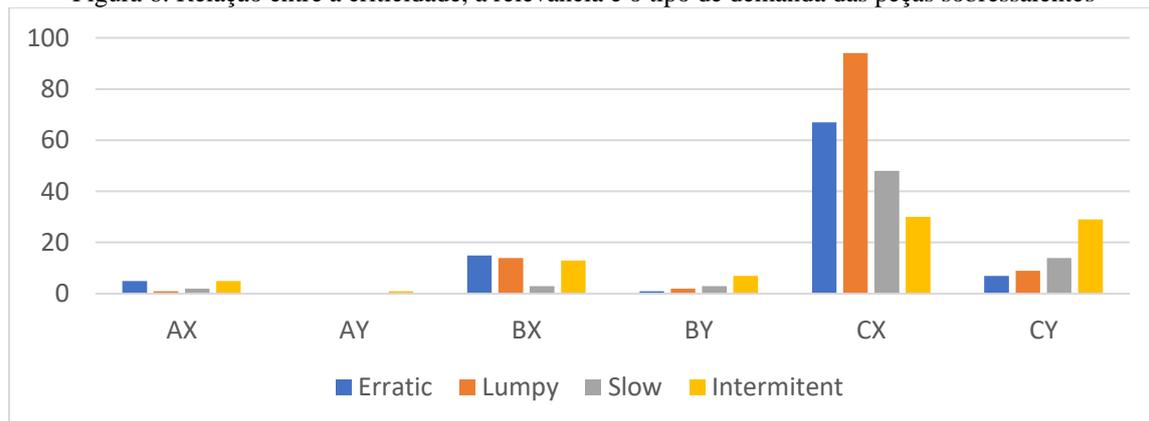


| | | | | |
|--------------|-----------|-----------|------------|------------|
| Z | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Total | 14 | 58 | 298 | 370 |

Fonte: Autor

Com as informações de preço e criticidade das peças, ou seja, quanto maior a criticidade maior o impacto negativo nos processos da empresa causado pela sua falta, e a classificação das demandas em quatro categorias foi possível relacionar essas informações a fim de entender melhor os atributos das peças sobressalentes do estoque estudado. A partir da Figura 6, reafirma-se que as peças sobressalentes em maior quantidade no estoque são itens de menor custo (itens C) e menor criticidade (itens X) e possuem demanda *Lumpy*. Compreender as características do estoque que se está trabalhando é muito importante para se ter um direcionamento de quais peças priorizar ao trabalhar com as previsões de demanda. Em seguida ao estudo das atribuições dos itens do estoque, iniciou-se as previsões com os métodos Média Móvel, Média Móvel Dupla com intervalo de 3 meses e Suavização Exponencial, considerando ou não o *leadtime* das peças.

Figura 6: Relação entre a criticidade, a relevância e o tipo de demanda das peças sobressalentes



Fonte: autor

Ao avaliar as tabelas 3 e 4, é possível apontar quais modelos performaram melhor a partir das medidas de Erro Médio Absoluto (MAE - *Mean Absolute Error*) e Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE - *Root Mean Square Error*). Primeiramente, nota-se que os itens de maior relevância A e menor criticidade X apresentam os maiores erros e, portanto, seria necessário dar continuidade aos estudos na busca de métodos de previsão mais adequados. Em contrapartida, para uma grande parte dos itens, considerando ou não seu *leadtime*, os métodos Média Móvel e Média Móvel Dupla performam melhor, principalmente para os itens de demanda Lumpy e classificados na categoria BY. De forma geral, o método de previsão pela Média Móvel é o que apresenta os melhores resultados, ou seja, menores erros de previsão no período estudado, para a maioria das peças sobressalentes deste estoque.



Tabela 3: Desempenho dos métodos de previsão relacionado às classificações de demanda e de peças sem leadtime

| Demanda | ABC/XYZ | Média Móvel | | Média Móvel Dupla | | Suavização Exp | |
|-------------|---------|-------------|------|-------------------|------|----------------|------|
| | | MAD | RMSE | MAD | RMSE | MAD | RMSE |
| Erratic | AX | 1874 | 3170 | 1739 | 2920 | 2208 | 3975 |
| | AY | | | | | | |
| | BX | 69 | 144 | 74 | 148 | 77 | 166 |
| | BY | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 4 |
| | CX | 14 | 22 | 14 | 22 | 15 | 27 |
| | CY | 16 | 32 | 17 | 31 | 18 | 39 |
| Lumpy | AX | 1141 | 1901 | 1132 | 1750 | 1092 | 2118 |
| | AY | | | | | | |
| | BX | 296 | 602 | 296 | 584 | 309 | 735 |
| | BY | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | CX | 8 | 16 | 8 | 16 | 9 | 20 |
| | CY | 5 | 8 | 4 | 8 | 5 | 5 |
| Slow | AX | 433 | 1370 | 486 | 1429 | 648 | 1937 |
| | AY | | | | | | |
| | BX | 3 | 7 | 4 | 8 | 3 | 8 |
| | BY | 22 | 40 | 19 | 34 | 25 | 49 |
| | CX | 2 | 4 | 3 | 4 | 3 | 5 |
| | CY | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| Intermitent | AX | 2419 | 3327 | 2475 | 3321 | 2970 | 4146 |
| | AY | 6 | 8 | 6 | 8 | 7 | 10 |
| | BX | 99 | 143 | 102 | 142 | 122 | 173 |
| | BY | 9 | 13 | 9 | 12 | 11 | 15 |
| | CX | 8 | 12 | 9 | 12 | 10 | 14 |
| | CY | 3 | 5 | 3 | 5 | 4 | 6 |

Fonte: Autor

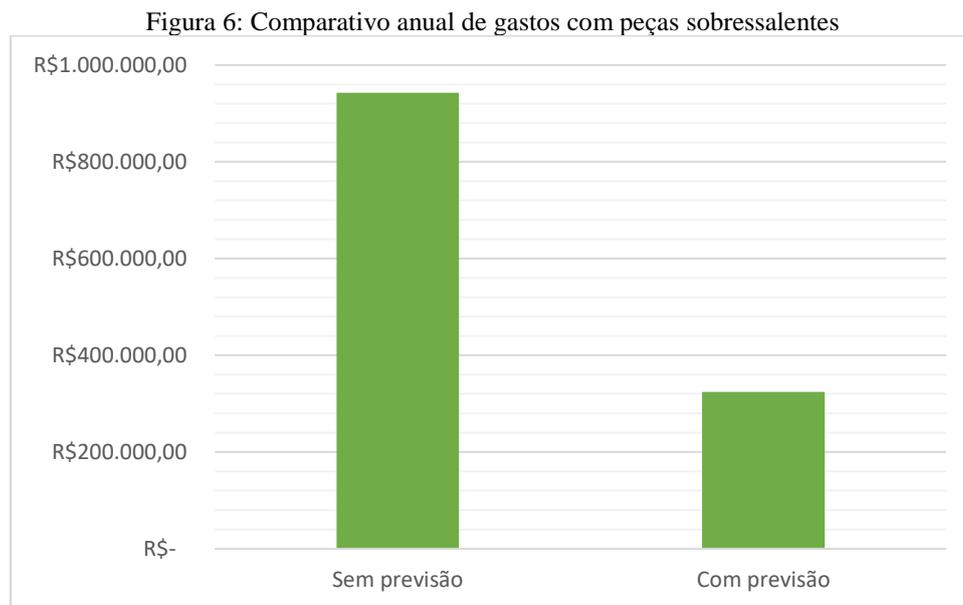
Tabela 4: Desempenho dos métodos de previsão relacionado às classificações de demanda e de peças com leadtime

| Demanda | ABC/XYZ | Média Móvel | | Média Móvel Dupla | | Suavização Exp | |
|-------------|---------|-------------|------|-------------------|------|----------------|------|
| | | MAD | RMSE | MAD | RMSE | MAD | RMSE |
| Erratic | AX | 1879 | 3425 | 1744 | 2921 | 2013 | 2013 |
| | AY | | | | | | |
| | BX | 70 | 147 | 75 | 149 | 72 | 72 |
| | BY | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 |
| | CX | 14 | 23 | 14 | 22 | 16 | 16 |
| | CY | 17 | 32 | 17 | 31 | 18 | 18 |
| Lumpy | AX | 1142 | 1931 | 1133 | 1750 | 1078 | 1078 |
| | AY | | | | | | |
| | BX | 297 | 637 | 298 | 585 | 308 | 308 |
| | BY | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | CX | 8 | 17 | 8 | 16 | 8 | 8 |
| | CY | 5 | 8 | 4 | 8 | 5 | 5 |
| Slow | AX | 472 | 1472 | 505 | 1445 | 530 | 530 |
| | AY | | | | | | |
| | BX | 3 | 7 | 4 | 8 | 3 | 3 |
| | BY | 22 | 42 | 19 | 34 | 24 | 24 |
| | CX | 3 | 5 | 3 | 4 | 3 | 3 |
| | CY | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| Intermitent | AX | 2437 | 3599 | 2482 | 3325 | 2879 | 2879 |
| | AY | 6 | 9 | 6 | 8 | 7 | 7 |
| | BX | 99 | 146 | 102 | 142 | 115 | 115 |
| | BY | 9 | 13 | 9 | 12 | 11 | 11 |
| | CX | 8 | 13 | 9 | 12 | 9 | 9 |
| | CY | 3 | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 |

Fonte: Autor



Após a análise da performance de diferentes métodos de previsão frente às classificações de demanda e das peças, foi realizado um levantamento de dados para mensurar a redução de custo interna. Para isso, foi analisado o total gasto com compras das peças sobressalentes caso as quantidades adquiridas fossem as mesmas todos os meses, considerando a quantidade necessária no primeiro mês, comparado ao total gasto considerando as demandas previstas. Com isso, foi gerado uma redução de 65% nos gastos anuais, como é possível observar na Figura 6, pois a quantidade de peças compradas durante o ano analisado reduziu significativamente.



Fonte: Autor

Caso a mineradora não considerasse a previsão de demanda para repor as peças do estoque sobressalente, o gasto anual em 01 ano seria de R\$942.676,38. Por outro lado, analisando a demanda deste mesmo ano com a utilização do método de previsão Média Móvel, o gasto total da empresa seria de R\$ 324.477,46. Com este estudo, percebe-se a relevância da utilização de métodos combinatórios para a previsão de demanda de peças sobressalentes, visto que a economia da mineradora ao comprar as quantidades adequadas dos itens seria de R\$ 618.198,92 com tendência de aumento, visto que em um cenário real seria necessário calcular outros gastos relacionados ao estoque como, por exemplo, o gasto com armazenamento e com a perda de peças estragadas.

5 CONCLUSÃO

Este estudo apresentou uma proposta para gestão de estoque de peças sobressalentes a partir de uma análise multicritério, combinando características quantitativas e qualitativas dos itens do estoque de peças sobressalentes de uma mineradora de minério de ferro. Nesse sentido, foi feita uma relação entre três



aspectos importantes para otimizar o controle de estoque: a classificação dos itens do estoque, classificação de demanda e utilização de métodos de previsão de demanda. Através do proposto, percebe-se a importância da gestão de estoques nas organizações, possibilitando um melhor controle dos itens de manutenção armazenados de forma a reduzir gastos com desperdícios por peças estragadas ou com grandes paradas na produção.

Foram aplicados, de forma conjunta, métodos para entendimento da demanda das peças e de suas características em relação à criticidade e relevância, além da aplicação e comparação de desempenho de três modelos para a previsão das demandas. O objetivo geral foi atingido de forma a traçar um método de gestão de estoque de peças sobressalentes da mineradora, apontando qual dos modelos aplicados teve melhor desempenho, reduzindo os custos com compras de peças em 66%. O cumprimento do objetivo geral foi possível a partir do atendimento de todos os objetivos específicos propostos, desde o estudo dos métodos de previsão e classificação escolhidos até a aplicação destes na base de dados e, por fim, a avaliação de rendimento dos modelos combinados.

É importante ressaltar que existem diversos outros modelos de previsão de demanda mais complexos e que poderiam gerar melhores resultados, entretanto seria necessário a utilização de *softwares* específicos. Além disso, destaca-se a necessidade de aprofundamento em pesquisas para previsão de demanda de peças do tipo A, que são os itens com altos valores consumidos e que neste estudo representavam a menor parte do estoque, visto que para esses itens de manutenção os modelos de previsão propostos não performaram de forma satisfatória. Neste sentido, sugere-se para pesquisas futuras o estudo de modelos de previsão com melhores performances, principalmente para os itens do tipo A, e que otimizem a gestão do estoque de peças sobressalentes considerando análises que combinem fatores qualitativos e quantitativos dos itens.



REFERÊNCIAS

- COSTA, F.; FERNANDES, S. Materiais Esportivos. REFAS: Revista FATEC, v. 3, n. 3, p. 15, 2017.
- CAMPOS, R. S.; SIMON, A. T. Benefícios da otimização do estoque de peças de reposição em conjunto com as operações de manutenção. *Exacta*, v. 17, n. 1, p. 63–80, 20197
- Chen C, Twycross J, Garibaldi JM. A new accuracy measure based on bounded relative error for time series forecasting. *PLoS One*. 2017 Mar 24;12(3):e0174202. doi: 10.1371/journal.pone.0174202. PMID: 28339480; PMCID: PMC5365136.
- COSTANTINO, F. et al. Spare parts management for irregular demand items. *Omega (United Kingdom)*, v. 81, p. 57–66, 2018.
- IRIGON, A; ABRAHÃO, F. Previsão de demanda influenciada pela operação e alocação personalizada de estoque. Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos/SP, 2019.
- IZAHC, J. Gestão de Estoques de Itens MRO Através das Curvas de Classificação e Agrupamento de Volume e Criticidade Aplicada em uma Empresa Fabricante de Equipamentos de Transporte Ferroviário de Carga. Universidade de Campinas, Laboratório de Aprendizagem em Logística e Transportes, 2020.
- JESUS, G. et al. Análise de Técnicas de Previsão de Demanda: Um Estudo de Caso em uma Cerâmica. XXXVI Encontro Nacional De Engenharia De Produção, 2016
- M.Z. Babai, T. Ladhari & I. Lajili. On the inventory performance of multi-criteria classification methods: empirical investigation, *International Journal of Production Research*, 2015 53:1, 279-290, DOI: 10.1080/00207543.2014.952791
- MENDES, J. Estudo para Reposição de Estoque Como Princípio de Seleção da Previsão de Demanda. Núcleo de Conhecimento, 2019.
- MUNIZ, L. Multicritério e Otimização no Planejamento de Peças Sobressalentes na Indústria Mineral. Dissertação (Doutorado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), 2020.
- RODA, I. et al. A review of multi-criteria classification of spare parts: From literature analysis to industrial evidences. *Journal of Manufacturing Technology Management*, v. 25, n. 4, p. 528–549, 2014.
- SILVERIO, L. Utilização da Simulação Discreta na Gestão de Estoques Sobressalentes de Turbomáquinas. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal Fluminense (UFF), Rio de Janeiro, RJ, 2016.
- SYNTETOS, A. A.; BOYLAN, J. E.; CROSTON, J. D. On the Categorization of Demand Patterns. *Journal of the Operational Research Society* 56 (5): 495–503. doi:10.1057/palgrave.jors.2601841, 2005.
- ZHANG, XIAOHONG, AND JIANCHAO ZENG. “Joint Optimization of Condition-Based Opportunistic Maintenance and Spare Parts Provisioning Policy in Multiunit Systems.” *European Journal of Operational Research* 262 (2). Elsevier B.V.: 479–498. doi:10.1016/j.ejor.2017.03.019. 2017.