



## **AVALIAÇÃO DE CRITICIDADE DE PEÇAS SOBRESSALENTES UTILIZANDO O MÉTODO ANALYTIC HIERARCHY PROCESS COM RATINGS**

**Lincon Antonio da Silva**  
[eng\\_lincon@hotmail.com](mailto:eng_lincon@hotmail.com)  
Universidade Federal Fluminense  
– UFF, Volta Redonda, Rio de  
Janeiro, Brasil.

**Cecilia Toledo Hernández**  
[ctoledo@id.uff.br](mailto:ctoledo@id.uff.br)  
Universidade Federal Fluminense  
– UFF, Volta Redonda, Rio de  
Janeiro, Brasil.

**Nilson Brandalise**  
[nilson\\_01@yahoo.com.br](mailto:nilson_01@yahoo.com.br)  
Universidade Federal Fluminense  
– UFF, Volta Redonda, Rio de  
Janeiro, Brasil.

### **RESUMO**

Peças sobressalentes importantes devem ser mantidas em estoque e seu inventário devidamente controlado para substituir componentes desgastados e/ou defeituosos por novos e minimizar os tempos de inatividade nas diversas atividades de manutenção. No entanto, a posse de peças sobressalentes em estoque para uma pronta disponibilidade (quando são necessárias) pode implicar, em caso de peças dispendiosas e raramente usadas, altos custos de retenção de estoques. Neste trabalho, é apresentada uma abordagem de avaliação da criticidade de peças sobressalentes utilizando o método AHP com o uso de *ratings* (*Analytic Hierarchy Process Ratings Model*). A estrutura da hierarquia de decisão elaborada relaciona-se às consequências causadas pela falha de um sobressalente no processo, no caso de uma substituição não estar prontamente disponível com atributos de demanda e suprimentos, segmentando as prioridades pelos critérios Vital, Essencial e Desejável (VED). O modelo proposto foi aplicado em peças sobressalentes de baixíssimo giro de uma organização integrante de uma empresa de capital intensivo, situada no Sul Fluminense, utilizando o procedimento de Saaty para a definição de prioridades por meio do software de livre acesso *Super Decisions*, permitindo a priorização das peças a serem estocadas e o estabelecimento de políticas de gestão diferenciadas para cada classe.

**Palavras-chave:** Análise Multicritério; *Analytic Hierarchy Process*; *Ratings Model*; Estoque; Sobressalentes.



## 1. INTRODUÇÃO

Muitas indústrias intensivas em capital dependem da disponibilidade de seus ativos para manufaturar seus produtos. Esses são essenciais para os processos produtivos e seus tempos de inatividade (indisponibilidade) precisam ser minimizados, pois podem resultar em: (i) perda de receita (por exemplo, devido à paralisação de máquinas em um ambiente de produção), (ii) insatisfação do cliente e possíveis reivindicações associadas (por exemplo, atrasos de fornecimento) ou (iii) risco à segurança de pessoas, instalações e ao meio ambiente (por exemplo, centrais elétricas). Geralmente, as consequências do tempo de inatividade dos ativos são muito dispendiosas (Driessen et al., 2014).

Para minimizar os tempos de inatividade, são realizadas diversas atividades de manutenção, as quais necessitarão eventualmente de peças sobressalentes para substituir componentes desgastados e/ou defeituosos por novos.

Cavaliere et al. (2008) consideram que, em caso de paradas não planejadas, típicas de uma atividade de manutenção corretiva, o tempo de inatividade é composto de muitos elementos que podem comprometer fortemente a produtividade de uma planta. Além do tempo inativo exigido para diagnosticar e remover a causa da avaria, há elementos específicos de tempo associados ao devido apoio logístico às atividades da manutenção: se a peça sobressalente não estiver disponível em estoque, pode haver atrasos no provisionamento, como a emissão de pedido de compra, negociação, prazo de entrega e que, para itens específicos, como peças confeccionadas sob desenho, podem atingir várias semanas ou meses.

No entanto, a posse de peças sobressalentes em estoque para uma pronta disponibilidade (quando são necessárias) pode implicar, em caso de peças dispendiosas e raramente usadas, altos custos de retenção de estoques (Cavaliere et al., 2008). Almeida et al. (2015) observam que a gestão destes recursos é uma das tarefas mais críticas da Gestão de Manutenção.

Gajpal et al. (1994) ponderam que uma abordagem sistemática e científica para a gestão de peças sobressalentes pode resultar na minimização do inventário de peças sobressalentes e do tempo de inatividade da máquina. Consideram, ainda, a necessidade de avaliar e especificar a importância dos itens no inventário, tendo em mente os usos específicos de diferentes peças sobressalentes. Fatores como custo de reposição, disponibilidade, condições de armazenamento, probabilidade de falha de um sobressalente, custos de inatividade, dentre outros, devem ser ponderados durante o gerenciamento de estoques de peças sobressalentes. Nesse contexto, a criticidade de itens individuais deve ser considerada, o que descreve quão crucial uma peça sobressalente é (Stoll et al., 2015).

Stoll et al. (2015) sugerem a avaliação de criticidade de uma peça sobressalente de acordo com o risco na aquisição e armazenamento ou consequências causadas por falha da máquina, se a peça sobressalente não estiver disponível. Na prática, a situação insatisfatória é que todas as peças sobressalentes são tradicionalmente adquiridas, armazenadas e fornecidas de acordo com uma avaliação intuitiva e, portanto, as características individuais destas não são levadas em consideração.

Por estas razões, o objetivo deste artigo é apresentar uma abordagem de avaliação da criticidade de peças sobressalentes. Para tal, será utilizado o método AHP com o uso de *ratings* (*Analytic Hierarchy Process Ratings Model*).

O método AHP vem sendo utilizado em vários cenários para tomada de decisões com múltiplos critérios e alguns mutuamente conflitantes (como o caso de disponibilidade da peça e o custo associado ao estoque). Essa escolha também se justifica devido à sua aplicabilidade, simplicidade e facilidade (Saaty, 2001). A opção da utilização da classificação por *ratings* tem a vantagem de poder avaliar rapidamente um grande número de alternativas, e os resultados são adequadamente próximos (Saaty, 2008).

Este artigo está organizado do seguinte modo: na seção 2, apresenta-se uma revisão de literatura sobre a análise de criticidade de sobressalentes e o método AHP. Na seção 3 está a metodologia e o desenvolvimento do AHP com *ratings*. A seção 4 apresenta exemplos de aplicação em peças sobressalentes de uma indústria intensiva em capital e as análises de dados. E, por fim, na seção 5, são apresentadas as principais conclusões e recomendações para trabalhos futuros.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Manutenção e a gestão de peças sobressalentes

A gestão de peças sobressalentes influencia positivamente no gerenciamento de manutenção, uma vez que leva a uma maior confiabilidade e disponibilidade de equipamentos e, portanto, tem um impacto direto na rentabilidade do negócio (Almeida et al., 2015).

Almeida et al. (2015) consideram que, comparados com outros tipos de modelos de estoque, como matéria-prima para processos de fabricação, o dimensionamento e gerenciamento de estoques de peças sobressalentes constituem tarefas muito mais complexas, considerando que insumos de fabricação são geralmente mais fáceis de prever sua demanda, especialmente quando comparamos seu *turnover*. Os estoques de produção geralmente seguem as regras de merca-



do, mas peças sobressalentes são necessárias, com base nas taxas de falha e no *design* de confiabilidade do sistema.

Normalmente, quando uma falha ocorre, o item com falha é substituído por um sobressalente, que deve estar disponível. Por vezes, o item defeituoso é enviado para reparo e, posteriormente, retorna tão bom quanto novo ao estoque de peças sobressalentes (Almeida, 2001).

O desafio da gestão é decidir sobre a conveniência econômica na detenção e controle do estoque de um item específico, pois existe o risco de aumento de estoques e, conseqüentemente, custos excessivos de armazenamento. Uma prática comum para um gerenciamento de inventário eficaz é agrupar as peças de sobressalentes de acordo com algum método de classificação (Hu et al., 2018)

## 2.2 Criticidade de peças sobressalentes

Teixeira et al. (2017) consideram que a classificação de peças sobressalentes é um passo relevante para orientar todo o processo de gerenciamento, e muitas vantagens podem ser obtidas pela classificação adequada. Segundo Huiskonen (2001) e Molenaers et al. (2012), existem dois tipos de critérios para classificar a criticidade de peças sobressalentes: a criticidade do processo – se a sua falha ou mau funcionamento resultar em graves conseqüências para a planta, como por exemplo, conseqüências relacionadas à perda de vidas, contaminação ambiental ou perda de produção – e criticidade de controle – uma peça sobressalente é considerada crítica se a possibilidade de garantir a disponibilidade imediata da peça for difícil de controlar.

A classificação das peças sobressalentes segundo sua criticidade permite a identificação das mais importantes, facilitando o uso de diferentes estratégias de estoque para diferentes classes de peças, além de priorizar os itens mais importantes no gerenciamento de peças de reposição (Hu et al., 2018). Gajpal et al., 1994 alegam que procedimentos simples e diretos, como análise ABC – de acordo com o princípio de Pareto – e a análise de FSN (*Fast, Slow and No Moving*) – de acordo com o giro de estoque – têm sido utilizados na prática para especificar políticas de controle e ajustar períodos de revisão de estoque. Uma grande vantagem destas análises é a simplicidade de aplicação: peças de sobressalentes podem ser classificadas usando apenas um critério (Stoll et al., 2015).

Outras ferramentas comumente utilizadas são métodos qualitativos. A análise VED – acrônimo em inglês para Vital – Essential – Desirable – é um método qualitativo bem conhecido, que classifica as peças sobressalentes segundo sua criticidade, baseado na consulta com especialistas em manutenção (Cavaliere et al., 2008; Roda et al., 2014). De acor-

do com seus feedbacks, as peças sobressalentes são classificadas como itens vitais (V), essenciais (E) e desejáveis (D). A análise VED utiliza vários critérios na classificação de uma peça sobressalente e, apesar de sua aparente simplicidade, a estruturação da análise pode ser difícil, pois a classificação pode sofrer com os julgamentos subjetivos dos usuários (Cavaliere et al., 2008).

A utilização de vários critérios como base para a classificação é especialmente útil para peças sobressalentes que possuam várias características distintas, além do preço e do volume de demanda (Huiskonen, 2001). A criticidade torna-se relevante, pois permite relacionar as conseqüências da falha de um sobressalente no processo, no caso de uma substituição não estar prontamente disponível, com outros aspectos de controle da situação, que incluem previsibilidade de falhas, disponibilidade de fornecedores de peças sobressalentes, prazos de entrega etc.

## 2.3 AHP para avaliar a criticidade de sobressalentes

O AHP é um dos métodos mais apropriados para desenvolver este modelo, já que faz uso de comparações pareadas para descobrir qual a peça sobressalente mais crítica, a incerteza não tem um papel crítico nos critérios e pode ser utilizada uma combinação qualitativa e quantitativa de dados (Sabaei et al., 2015).

Partovi e Burton (1993) foram os primeiros a propor o uso do AHP como uma ferramenta para classificar itens de manutenção (Roda et al., 2014). Gajpal et al. (1994) propuseram um modelo de classificação VED baseado no uso do procedimento AHP para limitar o problema de julgamentos subjetivos. A análise VED-AHP proposta pelos autores identifica três fatores que influenciam a criticidade das peças sobressalentes (o tipo de peças necessárias, o lead time para o provisionamento de peças sobressalentes e a disponibilidade da instalação de produção quando uma peça original falha e uma peça sobressalente é necessária), e o AHP resulta em um índice composto, que é adotado como uma pontuação abrangente para definir o índice de classificação VED.

Braglia et al. (1986) aplicaram o AHP junto com a Manutenção Centrada em Confiabilidade, fazendo o uso de diagramas de decisão a fim de classificar peças sobressalentes e decidir entre diferentes políticas de armazenamento. Eles avaliaram preliminarmente a criticidade das peças, considerando três cenários alternativos no modelo (críticos, importantes e desejáveis) e critérios (por exemplo, perda de produção, problema de qualidade, efeito dominó, etc.) e, em seguida, três árvores de decisão, contemplando as características de fornecimento (*lead time*, número de fornecedores, possibilidade de reparo), problemas de inventário (custo, espaço de armazenagem, obsolescência) e a taxa



de utilização (número de itens aplicados, redundância, frequência de falhas) para classificar e redefinir o nível de estoque das peças sobressalentes.

Outra contribuição é o trabalho de Molenaers et al. (2012). Nele, os autores desenvolveram um método de classificação multicritério para avaliação da criticidade de peças sobressalentes, considerando a criticidade do equipamento, a probabilidade de falha, o tempo de reposição, o número de fornecedores, a disponibilidade de especificações técnicas e o tipo de manutenção. Baseados nestas características, os sobressalentes foram classificados em quatro classes de criticidade: alta, média, baixa e nenhuma.

Antosz e Ratnayake (2019) apresentam como avaliar e priorizar a criticidade de peças sobressalentes para melhorar a disponibilidade e a confiabilidade dos sistemas de manufatura, considerando uma hierarquia de decisão com critérios logísticos (custo de aquisição, *lead time*, número de fornecedores) e de manutenção (categoria do equipamento, tempo de reposição, complexidade, tipo e frequência da falha, qualificação da equipe de manutenção) e, posteriormente, realizam análise de sensibilidade com base nas comparações entre os pares, manutenção e logística, como meio alternativo para estudar como a seleção final é feita e como diferentes critérios e subcritérios contribuem para as prioridades finais.

## 2.4 O processo AHP

Saaty (2008) afirma que, para tomarmos uma decisão, precisamos conhecer o problema, a necessidade e o propósito da decisão, os critérios da decisão, seus subcritérios, partes interessadas e grupos afetados e as ações alternativas a serem tomadas. Orienta ainda determinarmos a melhor alternativa ou, no caso de alocação de recursos, priorizarmos as alternativas, de modo a alocarmos a parcela apropriada dos recursos.

Ao longo dos anos, a AHP consolidou-se sobre a pesquisa científica como uma ferramenta flexível implementável para integrar aspectos qualitativos e quantitativos, bem como atribuir pesos a diferentes critérios quando sua importância não é a mesma (Roda et al., 2014). Uma das principais vantagens do AHP é que ele reconhece a subjetividade como inerente aos problemas de decisão e a trata cientificamente, utilizando o julgamento de valor (Pereira et al., 2017).

Para tomar uma decisão de maneira organizada para gerar prioridades, precisamos decompor a decisão nas etapas a seguir (Saaty, 2008):

1. Definir o problema e determinar o tipo de conhecimento pretendido

O objetivo geral a ser alcançado é a meta da decisão, seguida pelos critérios associados ao problema de decisão e das alternativas disponíveis que mais se adaptam ao problema estudado (Pereira et al., 2017).

### 2. Estruturar a hierarquia de decisão

No topo, define-se o objetivo da decisão, depois os objetivos de uma perspectiva ampla, passando pelos níveis intermediários (critérios dos quais os elementos subsequentes dependem), até o nível mais baixo (que geralmente é um conjunto de alternativas) (Saaty, 2008). Comumente, a estruturação da hierarquia é representada em formato de árvore, como ilustrado na figura 1.

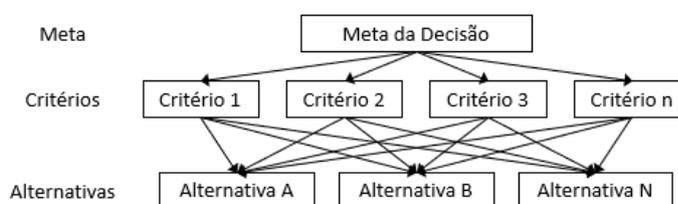


Figura 1. Estrutura hierárquica genérica de problemas de decisão.

Fonte: (Pereira et al., 2017).

A escolha e a relevância dos critérios para avaliar as alternativas podem ser definidas por meio de consulta a especialistas, ou através de identificação, na literatura, de quais critérios já foram utilizados nos artigos publicados.

### 3. Construir um conjunto de matrizes de comparação entre pares

Cada elemento em um nível superior é usado para comparar os elementos no nível imediatamente abaixo, sendo esses objetivos ou critérios comparados entre si (Saaty, 2008).

Para as comparações, utiliza-se de uma escala de números que indique quantas vezes mais importante ou dominante um elemento é sobre outro elemento, no que diz respeito ao critério ou propriedade em relação à qual eles são comparados (Saaty, 2008). A tabela 1 apresenta as escalas de valor para julgamentos paritários, variando de 1 a 9, e é denominada Escala Fundamental de Saaty. Se a atividade "i" tiver um uma intensidade de importância atribuída quando comparada com a atividade "j", então "j" terá o valor recíproco quando comparado com "i" (Saaty, 2008).

Os resultados das comparações são apresentados como uma matriz de julgamentos A.



$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 1/a_{n1} & 1/a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad \text{Equação 1}$$

- Usar as prioridades obtidas nas comparações para ponderar as prioridades no nível imediatamente abaixo

Isso deve ser replicado para cada elemento. Então, para cada elemento no nível abaixo, deve-se adicionar seus valores ponderados de modo a obter sua prioridade geral ou global. Este processo continua para determinar os pesos adicionais até que as prioridades finais das alternativas no nível mais baixo sejam obtidas. Neste modelo, todos os nós são comparados entre si por pares, para estabelecer prioridades que exigem  $n.(n-1)/2$  comparações (Saaty, 2008). As decisões são determinadas por um único número para o melhor resultado ou por um vetor de prioridades que fornece uma ordenação proporcional dos diferentes resultados possíveis aos quais se pode alocar recursos de uma maneira otimizada, sujeitos a restrições tanto tangíveis quanto intangíveis (Greco et al., 2016).

Saaty (2008) apresenta ainda outro método para obter prioridades para as alternativas, estabelecendo categorias de classificação. Este método, denominado *AHP Ratings Model*, envolve fazer comparações pareadas com os critérios logo acima das alternativas, conhecidos como os critérios de cobertura, em que são atribuídas intensidades em categorias. Essas intensidades podem variar em número e tipo. Por exemplo: alto, médio e baixo; mais de 15 anos, entre 10 e 15, entre 5 e 10 e menos de 5 (Greco et al., 2016).

As prioridades de cada categoria são derivadas através de comparações pareadas em relação às intensidades (Greco et al., 2016). As alternativas são classificadas uma de cada vez em cada categoria com base nessas intensidades. Em seguida,

a prioridade geral de classificação é determinada pela ponderação das prioridades de cada categoria, dos demais critérios e somada às intensidades ponderadas de cada alternativa.

Os dois métodos não fornecem exatamente as mesmas prioridades (Saaty, 2008). O modelo relativo – método no qual as alternativas são comparadas entre si sob os vários critérios – é mais preciso. O *AHP Ratings Model* tem a vantagem de avaliar um grande número de alternativas rapidamente e os resultados estarem adequadamente próximos (Saaty, 2008).

O AHP permite que o analista avalie a qualidade dos julgamentos através do índice de inconsistência  $I_R$ . Os julgamentos podem ser considerados aceitáveis se  $I_R \leq 0,1$ . Em casos de inconsistência, o processo de avaliação para a matriz que apresenta inconsistência é imediatamente repetido. Um índice de inconsistência maior que 0,1 requer uma investigação mais aprofundada sobre a consistência dos julgamentos do tomador de decisão (Bevilacqua; Braglia, 2000).

### 3. MÉTODO

Neste trabalho, propõe-se um modelo *AHP Ratings Model* para realizar a análise de criticidade de peças sobressalentes. O modelo proposto utiliza o procedimento de Saaty para a definição de prioridades por meio do software de livre acesso *Super Decisions*.

Uma amostra de sobressalentes de uma organização integrante de uma empresa de capital intensivo, situada no Sul Fluminense, foi selecionada por conveniência para avaliação das prioridades (alternativas). A organização atualmente tem mais de 230.000 itens sobressalentes cadastrados para manter seus equipamentos e instalações. Destes, cerca de 30.000 itens possuem saldo regular em estoque. A grande maioria dos itens (61%) é de baixíssimo giro (*slow movings*), com consumo inferior a 1 peça/ano nos últimos 5 anos.

Tabela 1. Escala fundamental de Saaty.

Intensidade de Importância	Definição	Explicação
1	Igual importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência ou juízo favorece levemente uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial	A experiência ou juízo favorece fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra. Sua dominância pode ser demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	As evidências que favorecem uma atividade em detrimento de outra é da mais alta ordem possível de afirmação.
2, 4, 6 e 8	Valores intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.

Fonte: Elaborado a partir de (Saaty, 2008).



A escolha dos critérios se deu após conversa com consultores e especialistas da organização, dentre eles, engenheiros de manutenção, analistas de planejamento de materiais e gestores do processo de manutenção, planejamento de materiais e controladoria. Os critérios utilizam parâmetros quantitativos e qualitativos com representatividade de diversos interesses de diferentes *stakeholders* dos setores envolvidos no processo de reposição de sobressalentes.

Primeiramente foram analisadas as necessidades de cada setor e diretrizes para o projeto, com o viés de maximizar a disponibilidade de estoque para a manutenção e minimizar os custos de estoques.

As fontes de coletas de dados utilizadas foram documentações internas, registros dos sistemas de gestão da empresa (*Enterprise Resource Planning (ERP) – SAP – e Computerized Maintenance Management System (CMMS)*), observações e entrevistas com colaboradores envolvidos com a manutenção e gestão de estoques.

Após a escolha dos critérios, elaborou-se a árvore hierárquica e foram atribuídos os *ratings*, estruturando a análise no *Super Decisions*. Foram calculadas então as prioridades compostas ou pesos para cada categoria e seus *ratings* para usá-los para a medição da criticidade de uma peça sobressalente.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Definição dos critérios

Neste artigo, os critérios vital, essencial e desejável e os subcritérios (como critérios de cobertura) com os *ratings* são utilizados para avaliar a criticidade dos sobressalentes. A seleção dos subcritérios para a avaliação da criticidade de peças sobressalentes relaciona as consequências causadas pela falha de um sobressalente no processo, no caso de uma substituição não estar prontamente disponível, com atributos de demanda e suprimentos.

O quadro 1 sumariza os subcritérios (critérios de cobertura) e os *ratings* utilizados em uma organização que faz parte de uma empresa de capital intensivo situada no Sul Fluminense para a avaliação de 10 itens selecionados aleatoriamente.

Quadro 1. Elementos da Matriz de Criticidade

Critérios de Cobertura	Ratings
Lead time: Compreende o tempo de provisão do material conforme cadastro no mestre de materiais.	LT ≤ 45 45 < LT ≤ 60 60 < LT ≤ 90 90 < LT ≤ 120 LT > 120
Variabilidade de consumo (CV): Ponderada pelo coeficiente de variação (CV), que é obtido pela razão entre o desvio-padrão e a média dos consumos do sobressalente conforme a magnitude (quantidade solicitada) e o número de vezes que ocorreu (periodicidade mensal).	CV < 0,5 0,5 ≤ CV < 1,0 1,0 ≤ CV < 2,0 2,0 ≤ CV < 3,0 CV ≥ 3,0
Custo de aquisição: É o custo referente ao valor máximo entre o valor unitário do sobressalente (preço interno periódico) ou ao montante do lote mínimo de compra.	CA < 5 5 ≤ CA < 20 20 ≤ CA < 150 150 ≤ CA < 500 CA ≥ 500
Forma de ressurgimento: Diz respeito às alternativas de fornecimento existentes para os profissionais de manutenção e planejamento de materiais.	Interno Contrato Sob demanda Importado
Segurança: Uma falha tem consequência na segurança se causar uma perda de função ou outro dano que poderia ferir ou matar alguém.	Sim Não
Meio Ambiente: Uma falha tem consequência no meio ambiente se causar uma perda de função ou outro dano que poderia levar à violação de qualquer regulamentação ou padrão ambiental conhecido.	Nenhum Baixo Moderado Crítico Catastrófico
Qualidade: Uma falha tem consequência na qualidade se causar uma perda de função ou outro dano que provoque problemas na qualidade do produto ou serviço.	
Produção: Uma falha tem consequência na produção se causar uma perda de função ou outro dano que interrompa a produção.	

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de (Valentim et al., 2018).

### 4.2 Aplicação do método AHP

A estrutura hierárquica composta pela definição do objetivo global, critérios, subcritérios e *ratings* para classificação da criticidade de peças sobressalentes é ilustrada na figura 2.

Essa hierarquia foi replicada no *Super Decisions* e, na sequência, foram construídos os conjuntos de matrizes de comparação entre pares. As matrizes de comparação par a par obtidas para os critérios vital, essencial e desejável geraram as prioridades com o índice de inconsistência observado na figura 3.

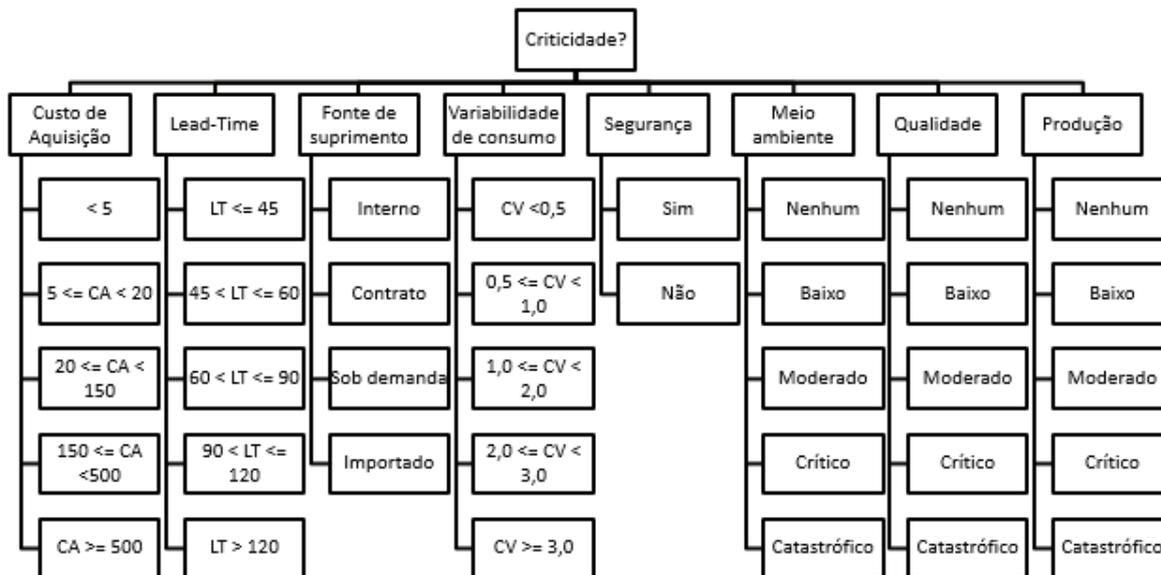


Figura 2. Estrutura hierárquica do AHP Ratings Model para classificação da criticidade de peças sobressalentes.  
 Fonte: Elaborado pelos autores.

1. Choose	2. Node comparisons with respect to Criticidade?	3. Results
Node Cluster Choose Node Criticidade? Cluster: 1 - Objetivos Choose Cluster 2 - Critérios Restore	Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct Comparisons wrt "Criticidade?" node in "2 - Critérios" cluster 1 - Vital is moderately more Preference than 2 - Essencial 1. 1 - Vital >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No comp. 2 - Essencial 2. 1 - Vital >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No comp. 3 - Desejável 3. 2 - Essencial >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No comp. 3 - Desejável	Normal Hybrid Inconsistency: 0.00000 1 - Vital 0.69231 2 - Essen- 0.23077 3 - Desej~ 0.07692 Completed Comparison Copy to clipboard

Figura 3. Comparação par a par dos critérios de criticidade.  
 Fonte: elaborado pelos autores.

Nessa primeira análise, a comparação obteve um índice de consistência de 0,00000, mostrando que os valores comparativos estão dentro do valor aceitável (abaixo de 0.1). A ordem de preferência dos critérios é Vital > Crítico > Essencial.

As matrizes de comparação par a par dos subcritérios (critérios de cobertura) foram replicadas para cada critério. Como exemplo, a figura 4 mostra a comparação relacionada com o critério Vital. De igual forma foi feito com os outros dois critérios.

Observa-se que o índice de inconsistência para os critérios de cobertura (subcritérios) (0,00000) também está dentro do valor aceitável, e a ordem de preferência entre os critérios é: Segurança = Produção > Qualidade > Lead time = Fonte de suprimento = Meio Ambiente > Custo = Variabilidade de Consumo.

Posteriormente foram inseridos os ratings associados a cada critério de cobertura (subcritérios) e feitas as comparações par a par, conforme exemplificado na figura 5.

Foram elaborados cinco ratings para os critérios de custo de aquisição, lead time, variabilidade de consumo, meio ambiente, qualidade e produção. Para os critérios fonte de suprimento e segurança, foram elaborados quatro e dois ratings, respectivamente.

Ao todo, foram realizadas 67 comparações. Os resultados das prioridades dos ratings com os índices de inconsistência estão apresentados no quadro 2.

Observa-se que os índices de inconsistência encontrados foram de 0,0152 para as categorias com cinco ratings (custo de aquisição, lead time, variabilidade de consumo, meio ambiente, qualidade e produção), 0,0116 para a categoria fonte de ressurgimento e 0,0000 para a segurança.



1. Choose		2. Node comparisons with respect to 1 - Vital										3. Results		
Node Cluster		Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct	Comparisons wrt "1 - Vital" node in "3 - Sub-Critérios" cluster 2 - Lead time is equally to moderately more Preference than 1 - Custo de Aquisição										Normal Hybrid	
Choose Node	1 - Vital		Inconsistency: 0.00000										1 - Custo-	0.04996
Cluster: 2 - Critérios													2 - Lead ~	0.08668
Choose Cluster	3 - Sub-Critér~												3 - Fonte-	0.08668
													4 - Varia~	0.04996
													5 - Segur~	0.24460
													6 - Meio ~	0.08668
													7 - Quali-	0.15084
													8 - Produ~	0.24460
Restore													Completed Comparison	
													Copy to clipboard	

Figura 4. Comparação par a par dos critérios de cobertura para o critério Vital.

Fonte: Elaborado pelos autores.

		Graphical	Verbal	Matrix	Questionnaire	Direct																
		Comparisons wrt "Criteria Compares for 1 - Custo de Aquisição" in Categories.																				
		5 <= CA < 20 is equally to moderately more important than CA < 5																				
1.	CA < 5	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5 <= CA < 20
2.	CA < 5	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	20 <= CA < 150
3.	CA < 5	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	150 <= CA < 500
4.	CA < 5	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	CA > 500
5.	5 <= CA < 20	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	20 <= CA < 150
6.	5 <= CA < 20	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	150 <= CA < 500
7.	5 <= CA < 20	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	CA > 500
8.	20 <= CA < 150	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	150 <= CA < 500
9.	20 <= CA < 150	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	CA > 500
10.	150 <= CA < 500	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	CA > 500

Figura 5. Comparação par a par dos ratings do critério de cobertura custo de aquisição.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Com a atribuição dos pesos aos critérios, aos critérios de cobertura (subcritérios) e ratings, acrescenta-se as alternativas para avaliação de suas prioridades, conforme ilustrado na figura 6.

O vetor prioridade global definido para as 10 peças sobressalentes é apresentado na figura 7.

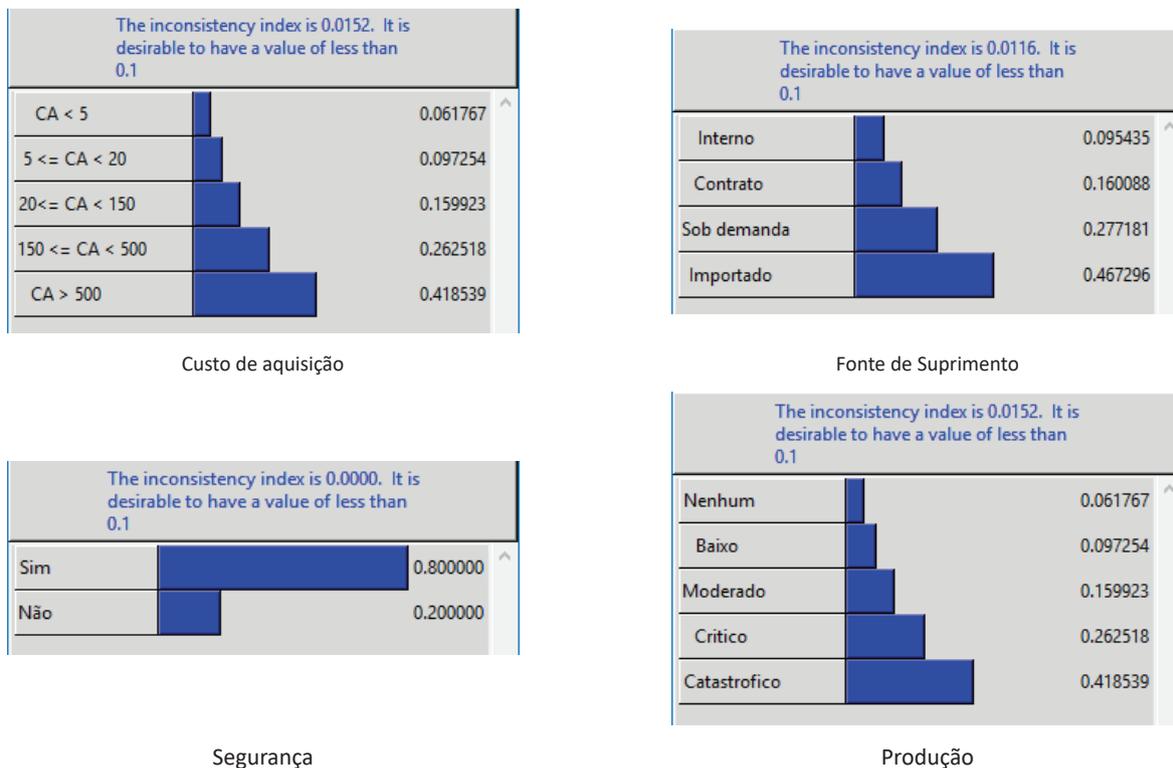
Para estes itens, a peça mais crítica é a peça #2. A ordem final de prioridade global é apresentada como: #2 > #3 > #9 > #1 > #4 > #5 > #6 > #7 > #8 > #10.

## 5. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou, através de um exemplo prático, uma abordagem para a avaliação sistemática da criticidade de peças sobressalentes, empregando o método AHP com o uso de ratings (Analytic Hierarchy Process Ratings Model). Na análise de criticidade, estruturada no software Super Decisions, identificou-se as prioridades de 10 peças sobressalentes de baixíssimo giro. A hierarquia de decisão elaborada permite a segmentação das prioridades pelos critérios Vital, Essencial e Desejável (VED), e a avaliação por meio de sub-



Quadro 2. Prioridades dos ratings dos critérios de cobertura custo de aquisição, fonte de suprimento, segurança e produção.



Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

Super Decisions Ratings											
	Priorities	Totals	1 - Custo de Aquisiçã 0.049960	2 - Lead time 0.086680	3 - Fonte de suprimento 0.086680	4 - Variabilidade de 0.049960	5 - Segurança 0.244600	6 - Meio Ambiente 0.086680	7 - Qualidade 0.150840	8 - Produção 0.244600	
Peça #1	0.119132	0.621900	5 <= CA < 20	60 < LT <= 90	Sob demanda	CV >= 3,0	Sim	Baixo	Moderado	Critico	
Peça #2	0.156848	0.818783	5 <= CA < 20	LT > 120	Interno	CV >= 3,0	Sim	Nenhum	Catastrofico	Catastrofico	
Peça #3	0.156429	0.816595	5 <= CA < 20	LT > 120	Sob demanda	CV >= 3,0	Sim	Moderado	Critico	Catastrofico	
Peça #4	0.105297	0.549677	CA > 500	45 < LT <= 60	Sob demanda	CV >= 3,0	Não	Nenhum	Catastrofico	Critico	
Peça #5	0.095522	0.498646	20 <= CA < 150	LT > 120	Interno	2,0 <= CV < 3,0	Sim	Baixo	Nenhum	Baixo	
Peça #6	0.089223	0.465764	150 <= CA < 500	LT <= 45	Importado	CV >= 3,0	Não	Nenhum	Moderado	Critico	
Peça #7	0.065258	0.340660	20 <= CA < 150	90 < LT <= 120	Sob demanda	CV >= 3,0	Não	Nenhum	Baixo	Baixo	
Peça #8	0.045174	0.235817	5 <= CA < 20	60 < LT <= 90	Sob demanda	CV < 0,5	Não	Nenhum	Nenhum	Nenhum	
Peça #9	0.122653	0.640277	CA < 5	LT > 120	Sob demanda	CV < 0,5	Sim	Critico	Baixo	Critico	
Peça #10	0.044465	0.232120	CA < 5	LT <= 45	Contrato	CV >= 3,0	Não	Nenhum	Nenhum	Nenhum	

Figura 6. Ratings para 10 peças sobressalentes.

Fonte: elaborado pelos autores (2018).

critérios de demanda e suprimentos (*lead time*, variabilidade de consumo, custo de aquisição e fonte de suprimento) e critérios de risco operacional (segurança, meio ambiente, qualidade e produção).

Enquanto os subcritérios de demanda e suprimentos ponderam os interesses para auxiliar políticas de estoque, os subcritérios de risco operacional ponderam os interesses para auxiliar na mitigação do risco operacional, pois avaliam as consequências da falha ou mau funcionamento do sobressalente em seu local de aplicação. Os subcritérios sele-

cionados pelos especialistas da organização estão em linha com os critérios encontrados nos trabalhos de Braglia et al. (1986), Roda et al., 2014 e Antosz e Ratnayake (2019), apresentados na revisão de literatura.

Esta abordagem permitirá análises de criticidade para outras peças sobressalentes da organização, categorizando-as em classes a partir da ponderação das prioridades ideais das peças sobressalentes e dos critérios VED – tabela 2 - permitindo o estabelecimento de políticas de gestão diferenciadas para cada classe.



Name	Graphic	Ideals	Normals	Raw
Peça #1		0.759541	0.119132	0.119132
Peça #2		1.000000	0.156848	0.156848
Peça #3		0.997327	0.156429	0.156429
Peça #4		0.671334	0.105297	0.105297
Peça #5		0.609009	0.095522	0.095522
Peça #6		0.568849	0.089223	0.089223
Peça #7		0.416057	0.065258	0.065258
Peça #8		0.288009	0.045174	0.045174
Peça #9		0.781986	0.122653	0.122653
Peça #10		0.283493	0.044465	0.044465

**Figura 7.** Vetor prioridade para 10 peças sobressalentes.

Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

**Tabela 2.** Segmentação da criticidade de peças sobressalentes em classes.

Prioridade Ideal da peça sobressalente	Classe
$\geq 0,69231$	Vital
$> 0,23077$ e $< 0,69231$	Essencial
$< 0,23077$	Desejável

O trabalho pode ser estendido para incluir outros esquemas de classificação, como a classificação para controle de estoque e para previsão de demanda (Hu et al., 2018). Estas classificações permitem selecionar políticas de estoque apropriadas para diferentes grupos de peças de reposição, auxiliando a tomada de decisão na priorização de recursos e no estabelecimento de controles com foco em maximizar a disponibilidade das peças sobressalentes para a manutenção e minimizar os custos de estoques.

## REFERÊNCIAS

Almeida, A. T. (2001). Multicriteria decision making on maintenance: Spares and contracts planning. *European Journal of Operation Research*, Vol. 129, No. 2, pp. 235–241. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(00\)00220-4](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(00)00220-4)

Almeida, A.T. et al. (2015). Multicriteria and Multiobjective Models for Risk, Reliability and Maintenance Decision Analysis, *International Series in Operations Research and Management Science*. Springer, New York, NY. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-17969-8>

Antosz, K.; Ratnayake, R. M. (2019). Spare parts' criticality assessment and prioritization for enhancing manufacturing systems' availability and reliability. *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 50, pp. 212-225. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2019.01.003>.

Bevilacqua, M.; Braglia, M. (2000). The analytic hierarchy process applied to maintenance strategy selection. *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 70, pp. 71–83. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0951-8320\(00\)00047-8](https://doi.org/10.1016/S0951-8320(00)00047-8)

Braglia, M.; Grassi, A.; Montanari, R. (1986). Multi-attribute classification method for spare parts inventory management. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 10, No. 1. DOI: <https://doi.org/10.1108/13552510410526875>

Cavaliere, S. et al. (2008). A decision-making framework for managing maintenance spare parts. *Production Planning & Control*, Vol. 19, No. 4, pp. 379–396. DOI: <https://doi.org/10.1080/09537280802034471>

Driessen, M. et al. (2014). Maintenance spare parts planning and control: a framework for control and agenda for future research. *Production Planning & Control*, Vol. 26, No. 4. DOI: <https://doi.org/10.1080/09537287.2014.907586>

Gajpal, P. P. (1994). Criticality analysis of spare parts using the analytic hierarchy process. *International Journal of Production Economics*, Vol. 35, No. 1-3, pp. 293–297. DOI: [https://doi.org/10.1016/0925-5273\(94\)90095-7](https://doi.org/10.1016/0925-5273(94)90095-7)

Greco, S. et al., editors (2016). *Multiple Criteria Decision Analysis*, *International Series in Operations Research & Management Science*. Springer, New York, NY. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3094-4>

Hu, Q. et al. (2018). OR in spare parts management: A review. *European Journal of Operational Research*, Vol. 266, No. 2, pp. 395–414. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.07.058>

Huiskonen, J. (2001). Maintenance spare parts logistics: Special characteristics and strategic choices. *International Journal of Production Economics*, Vol. 71, No. 1-3, pp. 125–133. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(00\)00112-2](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(00)00112-2)

Molenaers, A. et al. (2012). Criticality classification of spare parts: A case study. *International Journal of Production Economics*, Vol. 140, No. 2, pp. 570–578. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.08.013>

Partovi, F. Y.; Burton, J. (1993). Using the analytic hierarchy process for ABC analysis. *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 13, No. 9, pp. 29-44. DOI: <https://doi.org/10.1108/01443579310043619>

Pereira, A. S. A. (2017). Aplicação do método AHP na seleção de terrenos para edificações comerciais na cidade do Rio de Janeiro. *Sistemas & Gestão*, Vol. 11, No. 4, pp. 410-422. DOI: <https://doi.org/10.20985/1980-5160.2016.v11n4.1092>

Roda, I. et al. (2014). A review of multi-criteria classification of spare parts. *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 25, No. 4, pp. 528–549. DOI: <https://doi.org/10.1108/JMTM-04-2013-0038>

Saaty, T. L. (2001). *Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process*. *International Series in operations Research & Management Science*. Springer, New York, NY. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1665-1>

Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, Vol. 1, No. 1. DOI: <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>



Sabaei, D. (2015). A review of multi-criteria decision making methods for enhanced maintenance delivery. *Procedia CIRP*, Vol. 37, pp. 30–35. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.08.086>

Stoll, J. et al. (2015). Criticality analysis of spare parts management: a multi-criteria classification regarding a cross-plant central warehouse strategy. *Production Engineering*, Vol. 9, No. 2, pp. 225–235. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11740-015-0602-2>

Teixeira, C. et al. (2017). Multi-criteria classification for spare parts management: a case study. *Procedia Manufacturing*, Vol. 11, pp. 1560–1567. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.295>

Valentim, A. J. R. et al. (2018). Nova política de gestão de sobressalentes críticos na CSN. *Anais do 73º Congresso Anual da ABM*, Vol. 73, No. 73. São Paulo, pp. 3271–3281. DOI: <https://doi.org/10.5151/1516-392X-331>

**Recebido:** 10 jan. 2019

**Aprovado:** 15 maio 2019

**DOI:** 10.20985/1980-5160.2019.v14n2.1500

**Como citar:** Silva, L. A.; Hernández, C. T.; Brandalise, N. (2019), “Avaliação de criticidade de peças sobressalentes utilizando o método Analytic Hierarchy Process com ratings”, *Sistemas & Gestão*, Vol. 14, No. 2, pp. 166-176, disponível em: <http://www.revistasg.uff.br/index.php/sg/article/view/1500> (acesso dia mês abreviado. ano).