

## UTILIZAÇÃO DOS MÉTODOS AHP REFERENCIADO E B-G NA TOMADA DE DECISÃO INDUSTRIAL

**Alvaro Luiz Neuenfeldt Júnior**

Universidade Federal de Santa Maria  
Avenida Roraima 1000, prédio 7, sala 300A, 97105-900, Santa Maria, Rio Grande do Sul,  
Brasil  
alvjr2002@hotmail.com

**Julio Cezar Mairesse Siluk**

Universidade Federal de Santa Maria  
Avenida Roraima 1000, prédio 7, sala 300A, 97105-900, Santa Maria, Rio Grande do Sul,  
Brasil  
jsiluk@ufsm.br

**Marlon Soliman**

Universidade Federal de Santa Maria  
Avenida Roraima 1000, prédio 7, sala 300A, 97105-900, Santa Maria, Rio Grande do Sul,  
Brasil  
marlonsoliman@gmail.com

**Frank Leonardo Casado**

Universidade Federal de Santa Maria  
Avenida Roraima 1000, prédio 7, sala 300A, 97105-900, Santa Maria, Rio Grande do Sul,  
Brasil  
frank.casado@ufsm.br

### RESUMO

Diante de um contexto cada vez mais competitivo, a busca por transformar os processos industriais tradicionais em novos adaptados aos preceitos da manufatura enxuta é uma das tarefas de maior relevância e dificuldade no campo da Engenharia de Produção. Logo, o presente artigo tem por objetivo determinar qual setor de trabalho inserido no contexto metal-mecânico deve prioritariamente ser escolhido para melhorias em seus processos internos de manufatura, utilizando-se para tanto dos conceitos a respeito dos métodos multicritério de apoio à decisão, em específico para os que visam a busca pelos resultados ótimos dos dados compreendidos no modelo, como os métodos de Análise Hierárquica Referenciada e B-G, sendo que ao final se chegou ao consenso que o local denominado por “usinagem CNC”, com 15% do resultado total, deve ser escolhido prioritariamente pelos gestores da empresa.

**PALAVRAS CHAVE.** Sistemas de Produção; Métodos Multicritérios; Processo de Análise Hierárquica; Manufatura Enxuta; Competitividade.

**Área principal.** AD&GP - PO na Administração e Gestão da Produção; ADM - Apoio à Decisão Multicritério; IND - PO na Indústria.

### ABSTRACT

Facing an increasingly competitive context, the pursuit for transforming the traditional industrial processes in a new adapted to the precepts of lean manufacturing is one of the most important and difficult tasks in the Production Engineering field. Soon, this

article aims to determine which work sector into an industrial context should primarily be chosen for improvement the internal processes of manufacture, using the concepts regarding multi-criteria decision methods, specifically for those who search for the optimal results among the data included in the model, such as the Analytic Hierarchical Processes known as Referenced and B-G, coming to the consensus that the sector called "CNC machining", with 15% of the total result, should be chosen primarily by the company managers.

**KEYWORDS. Production Systems; Multicriteria Methods; Analytic Hierarchical Processes; Lean Manufacturing; Competitiveness.**

**Main area. AD&GP - PO in Administration and Production Management; ADM – Multicriteria Decision Aid; IND - PO in Industry.**

## 1. Introdução

É notório ao longo da história humana o papel da transformação da matéria-prima de quaisquer naturezas em produtos acabados, agregando valor e colaborando diretamente para o desenvolvimento da sociedade até o nível em que conhecemos hoje (LAUGENI E MARTINS, 2006; SLACK et al., 2008). Para tanto, esse tipo de atividade, por mais rústica e simplificada que possa ser considerada, demanda dos seus envolvidos um mínimo de organização dos recursos e planejamento das tarefas para o seu pleno funcionamento, fato esse que torna a gestão estratégica industrial uma corrente cada vez mais coerente de ser adotada em diversos tipos distintos de organizações, no qual visa proporcionar, ao final, produtos ou serviços de maneira mais racional possível para o mercado em questão (DAVIS et al. 2003; TUBINO, 2009; VORONINA, 2011).

Diante desse e de outros contextos, filosofias como a *lean manufacturing*, desenvolvida pela *Toyota Motors Company* durante o período intermediário do século vinte, têm por premissa básica a organização das atividades que são realizadas na indústria de maneira contínua, visando a redução dos desperdícios, para assim se diminuir os tempos de produção e aumentar a qualidade dos produtos acabados, através do desenvolvimento de trabalhadores capazes de cumprir multifunções, flexibilizando máquinas e tarefas para mais de um tipo de produto em prol de possibilitar um tempo de resposta mais elevado as mudanças exigidas pelo mercado (SHINGO, 1996; ROTHER E SHOOK, 1999; DAVIS et al. 2003; JONES E WOMACK, 2003; YANG et al. 2011).

Portanto, cabe aos interessados pela empresa e, principalmente, o seu quadro de gestores da produção identificar o status ao qual ela se encontra em relação aos seus processos e produtos manufaturados, de maneira a muitas vezes se chegar ao consenso de que mudanças são necessárias, mas que não podem ou não devem, por diversos limitantes intrínsecos à sua natureza, serem realizados de maneira simultânea no local de trabalho, fato esse que torna as metodologias multicritérios de apoio à tomada de decisão gerencial importante ao contexto abordado, pois visa retornar aos envolvidos um cenário ao qual enfatize uma opção (ou uma série destas) em detrimento as outras, priorizando-se assim qual dos locais na indústria que devem ser modificados em relação aos fatores descritos como relevantes durante a verificação (MARINS et al., 2010; GOMES E GOMES, 2012).

Logo, a pesquisa tem por objetivo determinar qual setor de trabalho inserido em um contexto industrial deve ser prioritariamente escolhido para melhorias em seus processos internos de manufatura, utilizando-se para tanto dos conceitos a respeito dos métodos multicritério de apoio à decisão, em específico para os que visam a busca pelos resultados ótimos dos dados compreendidos no modelo, como encontrado para os métodos de Análise Hierárquica Referenciada e B-G, sendo a empresa classificada como de médio-porte do ramo metal-mecânico, localizada no estado do Rio Grande do Sul.

A temática é justificada no contexto abordado devido à escassez de recursos e mão-de-obra na empresa para se realizar as mudanças ao mesmo tempo, além da necessidade do cumprimento dos pedidos realizados pelos clientes antes e durante o período de alterações estimado, o que torna inviável a paralização total das atividades de manufatura, independente das suas condições atuais estarem muito abaixo do considerado como ideal em relação ao rol de empresas classificadas de maneira similar. Quanto ao público alvo, espera-se que o estudo alcance as expectativas de priorização realizadas por parte dos *stakeholders* da empresa, bem como do público acadêmico envolvido com os conceitos chave ao qual são abordados durante o trabalho, a fim de contribuir de maneira inovadora quanto da sua aplicação ao contexto industrial, tornando-se por fim um referencial capaz de retomar aos interessados análises críticas a respeito do problema.

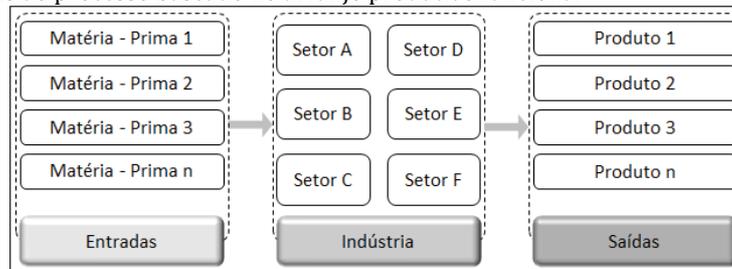
## 2. A Gestão industrial e a manufatura enxuta

Com base em Gaither (2001), um sistema de manufatura pode ser considerado como um conjunto de processos produtivos de bens de consumo, em série padronizada, que

utiliza máquinas, adotando a divisão de tarefas onde cada operador realiza uma porção do trabalho total da empresa. Neste tipo de sistema ocorre a hierarquização, onde os trabalhadores com maior qualificação costumam realizar trabalhos que exigem esforços mentais maiores e vice-versa, de tal forma que esta distinção resulta numa diferença de remuneração a ser recebida (LAUGENI E MARTINS, 2006; SLACK et al., 2008; VORONINA, 2011).

Nesse contexto, a gestão das operações industriais visa planejar, gerenciar e controlar todas essas atividades e mão-de-obra, a fim de oferecer ao final produtos/serviços aos clientes com o mínimo de esforço atribuído para a sua composição, tornando assim aqueles mais atrativos para o mercado em que estão direcionados (DAVIS et al., 2003; JONES E WOMACK, 2003; GOTTSCHALK E SOLLI-SÆTTER, 2009). Para tanto, é necessário que se haja um fluxo de produção claro e determinado para cada produto comercializado pela empresa, de maneira que essas tarefas possam ser subdivididas em setores, conforme a forma de manuseio da matéria-prima e das características de layout da indústria em questão, conforme mostra a Figura 1 para o caso do arranjo produtivo ser considerado como funcional.

**Figura 1.** Etapas do processo baseado no arranjo produtivo funcional



Fonte: Autores.

Para Laugeni e Martins (2006), esse tipo de arranjo físico torna-se flexível ao decorrer do tempo para atender as diversas mudanças existentes no mercado em questão, atendendo assim a manufatura de produtos considerados de relativa diversificação e que, geralmente, apresentam um fluxo longo até a sua concepção final, sendo os equipamentos disponibilizados por semelhança conforme o tipo de operação que pode realizar.

Coerente a esse contexto, a filosofia enxuta (*lean manufacturing*) de produção surgiu como uma resposta aos métodos tradicionais de manufatura, abrangendo não apenas a questão operacional em si, mas também das formas com que o controle sistemático e a gestão da produção são realizados no chão-de-fábrica, visando tornar a empresa o mais flexível possível para as constantes mudanças a serem concebidas durante a sua vida útil (SHINGO, 1996; ROTHER E SHOOK, 1999; JONES E WOMACK, 2003; FURLAN et al. 2011; YANG et al. 2011).

Por meio desses e outros pressupostos, a necessidade de se padronizar os processos produtivos através dessa filosofia se desenvolve pelo cumprimento de cinco elementos considerados como básicos para esse tipo de abordagem: valor, fluxo de valor, fluxo, puxar e perfeição, devendo obrigatoriamente todas as atividades que envolvam direta ou indiretamente a manufatura estarem em conformidade com esses preceitos, independente da sua escala em relação ao sistema, buscando-se ao final a eliminação dos desperdícios, excluindo os fatores que não agregam valor ao cliente (JONES E WOMACK, 2003; OHNO, 2007; WONG E WONG 2011; FULLERTON et al 2013).

### 3. Métodos multicritério de apoio à decisão

A fim de conduzir para a escolha das melhores alternativas em relação aos

cenários de desenvolvimento reconhecidos como de complexidade, os métodos multicritérios tem por premissa básica auxiliar os decisores no momento dos julgamentos das alternativas a respeito das decisões factíveis e não factíveis propostas a um problema em questão, havendo a necessidade, para tanto, de critérios (ou fatores) nos quais determinam as características consideradas como predominantes do sistema (WALLENIUS et al., 2008; MARINS et al., 2010; TZENG E HUANG, 2011; GOMES E GOMES, 2012; SAATY E VARGAS, 2012; VUČIJAK et al., 2013).

Dentre as diversas abordagens existentes para o apoio multicritério, o Processo de Análise Hierárquica (AHP) é considerado como um modelo capaz de compreender matematicamente as características para a decisão entre duas ou mais alternativas, de modo a se propor o julgamento da importância relativa de cada um delas através de um comparativo par a par (SAATY, 2008; GOMES et al., 2011). Para tanto, pode-se afirmar que os métodos AHP mais consagrados por sua aplicação prática são o AHP Clássico (Saaty, 1980), o AHP Multiplicativo (Lootsma, 1993), o AHP Referenciado (Watson e Freeling, 1982), o AHP B-G (Belton e Gear, 1985), o AHP com Nebulosidade, o AHP com Interpretação probabilística e o Processo de Análise em Redes (ANP) (Saaty, 1980), sendo a escolha por algum destes definidos prioritariamente conforme as características demonstradas pela situação ao qual se deseja verificar.

Em específico, Gomes et al. (2011) citam que os Processos de Análise Hierárquica Referenciada e B-G surgiram como uma evolução natural da abordagem clássica proposta por Saaty (1980), onde o primeiro exprime a preocupação com a controvérsia surgida a partir da relação pressuposta entre os valores dos critérios em relação às alternativas, introduzindo-se para tanto uma constante de proporcionalidade  $K$  para a comparação entre elas, enquanto o segundo está baseado na inversão do ordenamento das alternativas do sistema em relação à introdução de mais uma no sistema, buscando-se para mitigar esse problema através da determinação de um valor  $z_{max}$  capaz de referenciar a alternativa com maior resultado relativo, a fim de se realizar a normalização dos resultados absolutos encontrados (WATSON E FREELING, 1982; BELTON E GEAR, 1985).

Para tanto, ambos devem considerar em sua constituição fatores ( $d$ ) elencados aos quais influenciam de maneira direta na seleção das alternativas ( $f$ ) propostas,  $\forall d \in \{1, 2, \dots, n\}$  e  $\forall f \in \{1, 2, \dots, n\}$ . Em relação ao método Referenciado, conforme descrito anteriormente, é necessário se determinar primeiramente a constante proporcional  $K$  a ser adotada, conforme as características das unidades de medida do modelo, seguido dos fatores denominados por escala ( $q_d$ ) que definem a medida de cada critério proporcionalmente as unidades do objetivo, para se chegar, finalmente, ao cálculo da importância de cada um deles ( $x_d$ ), por meio das matrizes  $C_{d_{n \times n}}$  baseada nos pressupostos de Saaty (2008), obtendo ao final os vetores para os resultados do seu conjunto de fatores constituintes ( $\bar{v}_i(C_{d_{n \times n}})$ ), de maneira que o cálculo da importância relativa entre as alternativas ( $w_f$ ) pode ser observado através da sua relação entre o valor encontrado, resultando na proposta descrita pela Equação (1):

$$w_f = \sum_{d=1}^n x_d * \bar{v}_i(C_{d_{n \times n}}) \quad (1)$$

Para o processo de análise B-G primeiramente deve-se encontrar, dentro de cada matriz  $C_{d_{n \times n}}$ , o maior valor de  $\bar{v}_i(C_{d_{n \times n}})$ , denominado por  $z_{max}$ , a fim de tornar este proporcional a uma unidade de medida em relação aos outros valores da matriz obtendo-se como produto os elementos  $z_{id}$  dispostos em  $A_{n \times n}$  proposta pela Matriz (2),

$$A_{n \times n} = \begin{bmatrix} 1 & z_{12} & \dots & z_{1n} \\ 1/z_{12} & 1 & \dots & z_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/z_{1n} & 1/z_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \left\{ \begin{array}{l} z_{id} = c; \quad c_{ji} = 1/c, \quad \forall z_{id} * z_{di} = z_{in} \\ z_{ii} = 1 \end{array} \right. \quad (2)$$

sendo o valor da importância de cada fator ( $\delta_d$ ) proposto pela Equação (3), resultando ao final na possibilidade de verificação das proporções relativas  $\mu_i$  de cada uma das

alternativas, de acordo com a Equação (4):

$$\delta_d = K * q_d * z_{\max} \quad (3)$$

$$\mu_i = \sum_{d=1}^n \delta_d * z_{id} \quad (4)$$

Por fim, com os resultados dos dois métodos é possível se obter a média dos valores ( $\rho_f$ ), nos quais se estabelecerá a pré-ordem entre as alternativas selecionadas, bem como da diferença entre eles ( $\Delta_f$ ), a fim de verificar o nível de discrepância para o caso, conforme as Equações (5) e (6),

$$\rho_f = \frac{(\mu_i + w_f)}{p} \quad (5)$$

$$\Delta_f = \mu_i - w_f \quad (6)$$

onde  $p$  é proporcional ao número de métodos adotados para a verificação.

#### 4. Clusterização de dados

O problema de clusterização propriamente dito consiste da necessidade de se agrupar um conjunto de valores localizados em uma base de dados finita em subdivisões no qual estarão alocados conforme o seu grau de similaridade, para tal podendo-se existir (problema de K-clusterização) ou não (problema de clusterização automática) um número já definido de clusters para o modelo (FASULO, 1999; BERKHIN, 2002; IENCO et al., 2010; YAN, et al., 2012).

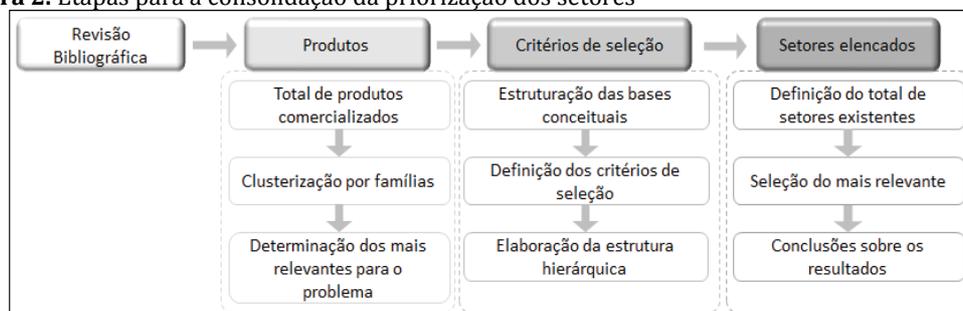
A clusterização matricial para um sistema de manufatura tem por objetivo organizar em células a relação existente entre os produtos e as máquinas, realizando-se o cruzamento das informações por meio de uma matriz  $B_{n \times n}$ , onde para cada um destes se referencia com valor 0 quando não há relação e 1 quando é possível se dizer que o produto tem ao menos um de seus processos de manufatura concebidos naquele local. Realizado esse procedimento entre todos os elementos que fazem parte dessa matriz, é possível se agrupar, através de uma permuta destes, o que possuem maior grau de similaridade, sendo possível a identificação dos considerados como de maior semelhança (BERKHIN, 2002; LUDEWIG et al., 2009).

#### 5. Metodologia

A fim de se atingir com plenitude os objetivos estipulados para o estudo, primeiramente foi definida como empresa alvo do estudo uma industrial de médio-porte do ramo metal-mecânico localizada no interior do estado do Rio Grande do Sul, há qual possui mais de 40 anos de presença no mercado, e possui um faturamento médio bruto mensal que ultrapassa os 2,5 milhões de reais.

De acordo com o estabelecido pela Figura 2, a pesquisa está compreendida através do cumprimento de quatro etapas, iniciando-se primeiramente pela descrição dos principais conceitos bibliográficos a respeito da gestão industrial e da abordagem multicritério de apoio à decisão, conforme referência prescrita nos capítulos anteriores.

**Figura 2.** Etapas para a consolidação da priorização dos setores



Fonte: Autores.

A segunda parte do problema visa identificar os produtos que são comercializados pela empresa, utilizando-se para tal a série histórica anual de 2012 como referência, por se tratar de um horizonte de vendas considerado pelos gestores como ideal para os próximos anos de produção, onde os dados foram obtidos através de pesquisas no software de gerenciamento *Enterprise Resources Planning* (ERP) da empresa, no qual também se disponibiliza aos usuários diversas informações a respeito de cada um dos produtos, tais como: dia em que ocorreu cada venda, valores brutos da comercialização, dimensões unitárias, tempo decorrido no processo para a sua manufatura, etapas de processamento das peças, dentre outras consideradas como relevantes para a resolução do problema de pesquisa abordado.

Com os dados a respeito dos produtos formatados, parte-se para a proposta de agrupamento destes em famílias, a fim de otimizar o processo analítico e o entendimento do comportamento do sistema de manufatura, no qual é proposta a utilização da metodologia de clusterização matricial para a sua concepção. A partir dessa etapa, tem-se por meio das AHP Referenciado e B-G, viabilizados a partir da utilização de uma planilha eletrônica, a proposta de determinação das famílias consideradas como mais relevantes para a empresa, no qual foi definido pelos pesquisadores que as duas de maior relevância serão utilizadas para pautar as decisões quantitativas a respeito da relativização dos setores mais importantes do contexto.

Dessa forma, foi possível ser realizada a definição dos critérios que nortearão a seleção proposta, no qual se considerou para a sua estruturação conceitos a respeito de sistemas de produção abordados por Shingo (1996), Gaither (2001), Davis et al. (2003), Laugeni e Martins (2006), Ohno (2007), Slack et al. (2008) e Tubino (2009), de maneira a possibilitar a definição de cada um dos critérios para a avaliação do sistema, que demandarão por consequência, da definição de uma estrutura hierárquica capaz de organizá-las sequencialmente em níveis, sendo para tanto proposta a utilização da metodologia *Function Analysis System Technique* (FAST), baseando-se em Bartolomei e Smith (2001), Bytheway (2007), Suh (2007) e Mukhopadhyaya (2012) para tal organização.

Para a última etapa está compreendida a seleção do setor a serem realizadas as modificações prioritariamente, partindo-se inicialmente da definição de cada um deles e, logo a seguir, por meio dos dados obtidos nos passos anteriores, da determinação de qual é o mais relevante, por meio da AHP Referenciado e AHP B-G, novamente utilizando de planilhas eletrônicas para tais tarefas. Esse processo está proposto em duas partes, onde a primeira compreende a verificação dos setores com base na família de produtos melhor colocada na relativização, enquanto a segunda propõe o mesmo entendimento utilizando a segunda colocada. Finalmente, com os resultados consolidados parte-se para a etapa das conclusões a respeito do sistema melhor ranqueado, observando-se principalmente se existiram pontos de divergências durante o processo de escolha, a fim de se tomar ações para mitigar os seus efeitos nos resultados numéricos obtidos.

## 6. Aplicação e resultados

Para a realização do trabalho foi utilizado como base um sistema de manufatura de engrenagens que possui como características gerais as vendas de produtos por e-mail, telefone, utilização de estoque de matéria-prima conforme a previsão de vendas e produção através de um fluxo funcional intermitente entre processos, preferencialmente sem utilização de estoque para os produtos prontos. A relação entre as diversas áreas funcionais da empresa, juntamente com os seus procedimentos e relações, obedece ao fluxo comum de informações, compartilhado por meio de um sistema ERP que integra os dados mais relevantes em relação aos produtos comercializados conforme o contexto de cada uma dessas áreas.

Logo, verificou-se um total aproximado de 350 tipos distintos de itens vendidos durante o ano de 2012, dos quais podem, devido a características de concepção estrutural e de vendas, serem classificados em 12 famílias distintas, tais como: engrenagens

catalogadas, engrenagens tipo A, engrenagens tipo B, engrenagens tipo C, engrenagens para corrente de transmissão, engrenagens de módulo, polias catalogadas, polias tipo A, polias tipo B, eixos, caixas de transmissão e outros, onde para cada uma foi realizado o agrupamento em clusters através da aplicação do método matricial de organização, percebendo-se que dos agrupamentos mais de 50% da dos itens se encontra alocada em apenas duas destas (engrenagens tipo A e B), o que já pressupõe a importância de comercialização destas para a empresa.

Quanto à hierarquização através dos métodos AHP referenciado e B-G, primeiramente foram determinados como critérios de avaliação os fatores volume de vendas e faturamento bruto anual, considerando ambas com um mesmo grau de importância, obtendo-se ao fim a família “engrenagens tipo A” como melhor colocada, com  $w_f = 41,6\%$ ,  $\mu_i = 42,0\%$ ,  $\rho_f = 41,8\%$  ( $\Delta_f = 0,4\%$ ), seguido das “engrenagens tipo B” com  $\rho_f = 28,8\%$  ( $\Delta_f = 0,2\%$ ) e “polias tipo A”,  $\rho_f = 14,3\%$  ( $\Delta_f = 0,2\%$ ), o que, em conjunto com os resultados encontrados na clusterização sintetiza o alto grau de relevância das duas primeiras colocadas em relação ao sistema, sendo estas por consequência as escolhidas para a definição do setor da manufatura a ser priorizado.

Definida as famílias de produtos para o estudo parte-se para a determinação dos critérios, respeitando por premissa básica as referências bibliográficas propostas no momento da estruturação das bases conceituais do modelo, sendo apontados para tanto cinco conceitos-chave ( $Cy$ ),  $\forall y \in \{1, 2, \dots, 5\}$ , capazes de atender a resolução do problema, denominados por: processos intersetoriais de fabricação ( $C1$ ), transportes internos ( $C2$ ), tempo de manufatura ( $C3$ ), *buffers* de produção ( $C4$ ) e mão-de-obra ( $C5$ ), resultando para cada um deles na elaboração de indicadores  $Iu$ ,  $\forall u \in \{1, 2, \dots, 10\}$ , capazes de mensurar o nível de desempenho de cada setor em relação às famílias de produtos adotadas para verificação.

Para os processos intersetoriais, estes estão elencados de acordo com as operações realizadas dentro de cada um dos locais produtivos, sejam estas de natureza humana ou automatizada, onde é possível mensurar a sua quantidade ( $I1$ ) desde a sua entrada no local até a sua expedição, bem como da complexidade ( $I2$ ) que cada uma das tarefas possui intrinsecamente para ser concluída, considerando-se apenas as atividades que agregam valor ao produto, sendo calculados por família de produtos a partir das definições propostas pelas Equações (7) e (8),

$$I1_{Aq_{FP}} = \sum_{pt=1}^n OP_{pt} \quad (7)$$

$$I2_{Aq_{FP}} = \sum_{pt=1}^n \sum_{OP=1}^n (\varphi_{OP})_{pt} \quad (8)$$

onde  $pt$  é relativo a cada um dos postos de trabalho existentes no setor em consideração,  $Aq$  está proposto para identificar cada um dos setores mensurados,  $\forall q \in \{1, 2, \dots, n\}$ ,  $OP$  é relativa a quantidade de operações realizadas em cada um destas e  $\varphi \in \{1, 2, \dots, 5\}$  é relativo ao grau de complexidade atribuído para cada uma das operações realizadas, considerando o valor 1 como menos complexo e 5 sendo o maior.

Em relação aos transportes internos, tem-se a relação do quanto os materiais em processo dentro do setor devem ser movimentados para o cumprimento pleno das tarefas designadas, sendo representados para o caso na relação existente entre o número absoluto total ( $I3$ ) e a distância média necessária ( $I4$ ) para percorrer todos os trajetos internos durante o processamento, visando-se observar o quanto, em relação à distância total da fábrica, um dado tipo de deslocamento interno é utilizado, podendo ser considerado muitas vezes como de baixa necessidade para o processamento do produto, sendo para tanto calculados por meio das Equações (9) e (10),

$$I3_{Aq_{FP}} = NT \quad (9)$$

$$I4_{Aq_{FP}} = \sum_{NT=1}^n \overline{DP}_{NT} \quad (10)$$

para  $NT$  correspondente ao número de transportes e  $\overline{DP}$  a distância percorrida (em metros) percorrida para cada um deles.

O terceiro fator está relacionado a quantidade temporal média necessária para se completar as operações exigidas em cada local, podendo ser originado por meio de duas naturezas distintas, do processamento das peças em si ( $I5$ ) e do tempo em que elas ficam a espera ( $\overline{TE}$ ) ou estão em transporte ( $\overline{TT}$ ) para serem processadas ( $I6$ ), sendo importante esse cálculo por considerar ambas de grau inexistente se relacionados as atividades que realmente agregam valor ao produto (processamento em si das peças), de maneira que o cálculo correspondente a ambos indicadores é descrito pelas Equações (11) e (12), respectivamente,

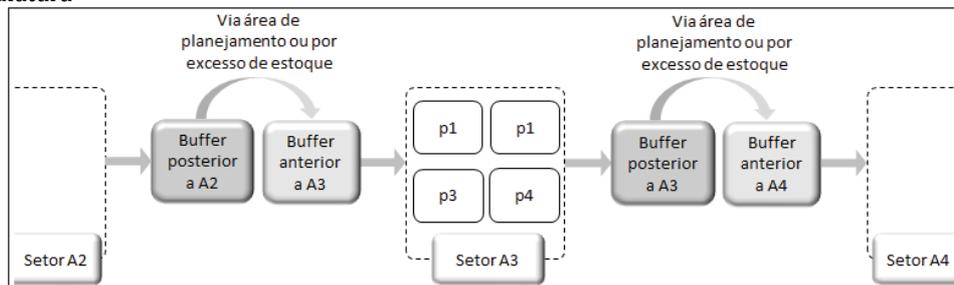
$$I5_{Aq_{FP}} = \sum_{pt=1}^n \overline{TP} \quad (11)$$

$$I6_{Aq_{FP}} = \overline{TE} + \overline{TT} \quad (12)$$

de maneira que  $\overline{TP}$  referencia o tempo médio em que a peça deve ficar para realizar todas as tarefas de produção designadas para o setor, para todos os tempos calculados em minutos.

Para os *buffers* de produção, ao decorrer do processamento dos produtos estão designados, teoricamente, de forma a alocar os materiais em processo produtivo temporariamente até que o processo subsequente seja acionado a absorver a demanda correta do processo anterior, ou haja necessidade por excesso de estoque de se absorver parte dessa quantidade, de maneira que os materiais permanecem parados nestes, sendo o seu desenvolvimento muitas vezes planejado pelas áreas de planejamento e controle de produção da empresa, conforme mostra a Figura 3.

**Figura 3.** Ilustração esquemática da funcionalidade padrão dos *buffers* entre processos na manufatura



Fonte: Autores.

Porém, é consenso vigente que esse tipo de prática deve ser eliminada ao máximo dentro da indústria em questão, pois a sua utilização aumenta proporcionalmente o tempo de ciclo medido desde a entrada da matéria-prima até a saída dos produtos prontos, o que onera consideravelmente os custos de produção de cada um. Como os tempos existentes internamente nos processos se encontram mensurados pelo indicador anterior, as Equações (13) e (14) propõem, respectivamente, o cálculo dos *buffers* antes ( $I7$ ) e depois ( $I8$ ) de cada setor,

$$I7_{Aq_{FP}} = \sum_{na=1}^n \overline{TBa}_{na} \quad (13)$$

$$I8_{Aq_{FP}} = \sum_{np=1}^n \overline{TBd}_{np} \quad (14)$$

onde  $na$  corresponde ao número de armazenamentos existentes para cada tipo de peça antes do setor em questão,  $np$  é o mesmo valor, somente calculado para os *buffers* localizados após o referido anteriormente, e  $\overline{TBa}$  e  $\overline{TBd}$  são, respectivamente, os tempo em que as peças ficam armazenadas antes e depois deste local.

Por fim, tem-se a caracterização no modelo da influência da mão-de-obra para a execução dos processos consolidados, partindo-se inicialmente do total de operadores que cada um dos setores ( $I9$ ) necessita para a plenitude da execução das atividades para a manufatura do produto, bem como da estimativa do nível de instrução ( $I10$ ) que se julga

necessária para cada um destes realizar as atividades básicas no local, tomando por consideração desde a sua formação escolar ( $FA$ ), nível de especialização necessária ( $NE$ ), tempo de exercício mínimo na atividade exigida ( $TE$ ) e o tempo de treinamento interno ( $TT$ ) que o capacitem para exercer a tarefa estipulada. Para tanto, ambos indicadores são mensurados a partir das respectivas definições propostas pelas Equações (15) e (16) a seguir,

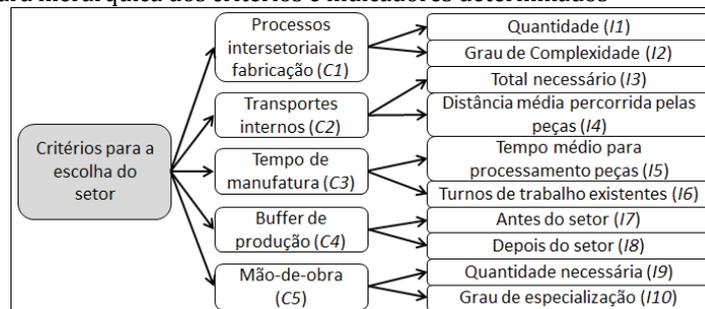
$$I9_{Aq_{FP}} = \sum_{pt=1}^n OP \quad (15)$$

$$I10_{Aq_{FP}} = \frac{\sum_{OP=1}^n (FA+NE+TE+TT)_{OP}}{n} \begin{cases} FA; NE \rightarrow \gamma \in \{1, 2, \dots, 5\} \\ \sigma \in \{1, 2, \dots, 5\} \propto TE; TT \rightarrow TE_{p_{OP}} = 3; TT_{p_{OP}} = 3 \end{cases} \quad (16)$$

para tanto,  $FA$  e  $NE$  são proporcionais aos valores estipulado na escala  $\gamma$ , sendo novamente 1 considerado como pontuação de mínimo e 5 máximo, enquanto  $TE$  e  $TT$  são calculados com base no período necessário para a formação de cada operador, seguindo a proporção de valoração pressuposta para a escala  $\sigma$ , considerando que quanto maior o tempo necessário de experiência e treinamento, conforme um tempo considerado padrão para mensurar tal proporção ( $TE_{p_{OP}}$  e  $TT_{p_{OP}}$ ), mais complexo pode ser considerada cada tarefa do setor, logo maior será a pontuação, não havendo para tanto a possibilidade de ultrapassar o valor igual a 5.

Com essas definições é possível estabelecer a estrutura hierárquica dos critérios em relação aos indicadores propostos para mensurar cada um dos setores da manufatura, a fim de facilitar a coleta e verificação dos dados, conforme mostra a Figura 4, por meio da metodologia FAST.

Figura 4. Estrutura hierárquica dos critérios e indicadores determinados



Fonte: Autores.

Para este caso em específico optou-se por adotar, tanto para os critérios quanto para os indicadores, um peso relativo em relação ao problema equivalente para os elementos, de maneira que cada  $Cy$  possui um valor equivalente a 20% em relação ao objetivo, enquanto para  $Iu$  esse valor é igual a 10%, sendo esses valores incorporados na modelagem da priorização dos setores quando da definição dos fatores de escala  $q_a$  relativos a cada um dos indicadores.

Com isso, é necessária a definição dos setores que fazem parte da manufatura dos produtos da indústria de engrenagens em questão, no qual se podem aferir ao total 11 locais por onde os materiais em processo podem ser deslocados, sendo eles: oxicorte (A1), serras (A2), usinagem mecânica (A3), usinagem CNC (A4), dentadoras (A5), rebarbamento (A6), rasgo de chaveta (A7), furação (A8), prensa (A9), pintura (A10) e limar (A11). Com isso, é proposta como etapa seguinte ao estudo a elaboração da priorização relativa entre eles, conforme as informações resultantes do estudo a respeito das famílias de produtos, no qual se elencou para a verificação as denominadas por “engrenagens tipo A” e “engrenagens tipo B”, bem como dos critérios de avaliação pressupostos anteriormente.

Para tanto, por se tratar de um estudo que visa a verificação do desempenho individual de cada família de produtos em relação aos indicadores pressupostos, no qual

considera para a AHP a incorporação de cada um dos resultados de  $I_u$  na variável  $T_f$  para os cálculos estabelecidos previamente. Logo, devido aos resultados  $\rho_f$  gerados em ambas as famílias possuírem o mesmo tipo de comportamento das variáveis, pode-se realizar a compilação destes em apenas um valor normalizado ( $\vartheta_f$ ), através da média aritmética entre ambos, retornando assim um panorama mais amplo do comportamento do sistema em questão. Com isso, é possível após a verificação no sistema de manufatura obter o valor de cada setor, conforme proposto pela Tabela 2.

**Tabela 2.** Resultados da priorização realizada para os setores da manufatura

	Engrenagens tipo A				Engrenagens tipo B				$\vartheta_f$
	$w_f$	$\mu_i$	$\Delta_f$	$\rho_f$	$w_f$	$\mu_i$	$\Delta_f$	$\rho_f$	
<b>A4</b>	14,7%	14,8%	-0,1%	14,7%	15,3%	15,2%	0,1%	15,3%	15,0%
<b>A5</b>	11,3%	11,3%	-0,1%	11,3%	12,1%	12,2%	-0,1%	12,2%	11,7%
<b>A8</b>	10,6%	10,9%	-0,3%	10,7%	10,1%	10,0%	0,1%	10,1%	10,4%
<b>A10</b>	10,4%	10,4%	0,0%	10,4%	9,8%	9,9%	-0,1%	9,9%	10,1%
<b>A3</b>	9,6%	9,7%	0,0%	9,7%	9,2%	9,3%	-0,1%	9,3%	9,5%
<b>A6</b>	8,4%	8,1%	0,2%	8,3%	8,1%	8,1%	0,0%	8,1%	8,2%
<b>A9</b>	7,6%	7,6%	-0,1%	7,6%	7,8%	7,8%	0,0%	7,8%	7,7%
<b>A2</b>	7,5%	7,4%	0,2%	7,4%	7,6%	7,6%	0,0%	7,6%	7,5%
<b>A1</b>	6,9%	6,9%	0,0%	6,9%	7,1%	7,0%	0,1%	7,1%	7,0%
<b>A11</b>	6,8%	6,7%	0,1%	6,8%	6,6%	6,6%	0,0%	6,6%	6,7%
<b>A7</b>	6,2%	6,1%	0,1%	6,2%	6,3%	6,3%	0,0%	6,3%	6,2%

Fonte: Autores.

Sendo correto afirmar que o setor escolhido prioritariamente para as modificações é o denominado por “usinagem CNC”, pois se constatou que o seu resultado ( $\vartheta_{A4} = 15,0\%$ ) é aproximadamente 4% superior ao segundo melhor ( $\vartheta_{A5} = 11,7\%$ ), padrão que se perpetuou ao transcorrer de todas AHP realizadas durante o estudo, independente da natureza dos métodos aplicados. Além disso, levando-se em consideração a atuação frente ao cenário de cada um dos critérios individualmente, é possível afirmar que para todos os cinco fatores propostos o setor *A4* é o mais relevante, para uma variação de  $\vartheta_f$  localizada desde um mínimo igual a 14% (para *C3*) até um máximo de 15,8% (para *C2*), o que complementa as conclusões mencionadas anteriormente a respeito da importância de se iniciar os processos de modificações neste local.

Ainda, para essa mesma forma de verificação encontrou-se para *C2* uma distorção nos posicionamentos entre *A5* (10,7%), *A8* (11,3%) e *A10* (11%), fato esse que serviu como ponto de observação dos pesquisadores quanto o papel de segundo mais relevante de *A8* para o sistema, sendo esta hipótese momentaneamente suprimida pelos resultados estabelecidos nos outros quatro fatores, nos quais *A5* se apresenta novamente na segunda colocação.

É importante destacar também o baixo nível de diferença ( $\Delta_f$ ) encontrado para os resultados obtidos pelos métodos Referenciado e B-G em ambos os casos, sendo o maior detectado o relativo a *A8* (-0,3%), o que torna a utilização em conjunto destes dois válido com relação ao sistema abordado no caso.

## 7. Conclusões

Conforme o escopo central da temática abordada de se verificar o setor mais relevante dentro do contexto de uma empresa de manufatura de engrenagens, pode-se afirmar que esta foi cumprida com êxito, através do cumprimento das quatro etapas metodológicas sequenciais (revisão bibliográfica, famílias, critérios e setores), contribuindo significativamente para se encontrar como local mais relevante a “usinagem CNC”, possibilitando assim a realização de prospecções de melhorias com base nos conceitos *lean manufacturing*, de modo a gerar um cronograma composto de planos de ação a curto, médio

e longo prazo para se otimizar as atuais condições desse local.

Além dos objetivos especificados, a análise dos setores retornou como informação relevante a identificação de diversas possibilidades de melhoria dentro no sistema de manufatura, principalmente relativo ao tempo em que as peças ficam em espera entre tarefas dentro de cada um dos setores, independente do seu nível de relevância em relação ao sistema, além da existência de um número elevado de *buffers* de materiais entre cada um dos locais, fato esse que se encontra atualmente em um grau considerado como crítico, principalmente entre a “usinagem CNC” e as “dentadoras”, sendo proposto para tanto planos de ação simultaneamente aos planejados para o local escolhido.

Por fim, pode-se afirmar como principais limitantes do estudo a falta de organização das informações a respeito do sistema, pois apesar de existir um sistema ERP que integra as informações a respeito dos produtos da empresa, este possui diversas falhas, principalmente relacionadas as fontes que o alimentam com dados a respeito das condições reais de produção. Logo, com isso espera-se no futuro, além da realização das projeções de melhoria prioritárias para o setor determinado e das condições dos *buffers* entre locais referidos acima, um melhor controle da maneira com que os dados são coletados da área industrial, seja por meio de reciclagem dos funcionários ou pela utilização de meios eletrônicos de controle dos processos.

#### Referências

- BARTOLOMEI, J.; SMITH, E.** A system dynamic model of government engineering support during the development phase of a military acquisition program, 19<sup>th</sup> International Conference of The System Dynamics Society, Atlanta/USA, Julho 23-27, 2001.
- BERKHIN, P.** Survey of Clustering Data Mining Techniques. Accrue Software, 2002.
- BYTHEWAY, C. W.** Fast Creativity & Innovation: Rapidly Improving Processes, Product Development and Solving Complex Problems. J. Ross Publishing: Plantation, 2007.
- DAVIS, M.D.; AQUILANO, N.J.; CHASE, R.B.** Fundamentos da Administração da Produção. Porto alegre: Bookman, 2003.
- ENSSLIN, L.; MONTIBELLER, G.N.; NORONHA, S.M.** Apoio à decisão – metodologia para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas. Florianópolis: Insular, 2001.
- FASULO, D.** An Analysis of Recent Work on Clustering Algorithms. Technical Report, Dept. of Computer Science and Engineering: Washington, 1999.
- FULLERTON, R.R.; KENNEDY, F.A.; WIDENER, S.K.** Management accounting and control practices in a lean manufacturing environment. Accounting, Organizations and Society, v. 38, n. 1, p. 50-71, 2013.
- FURLAN, A.; VINELLI, A.; DAL PONT, G.** Complementarity and lean manufacturing bundles: an empirical analysis. International Journal of Operations & Production Management, v. 31, n. 8, p. 835-850, 2011.
- GAITHER, N.** Administração da Produção e Operações. São Paulo: Pioneira Thompson Learning, 2001.
- GOMES, L.F.A.M., ARAYA, M.C.G.; CARIGNANO, C.** Tomada de decisões em cenários complexos: Introdução aos métodos discretos de apoio multicritério à decisão. São Paulo: Cengage Learning, 2011.
- GOMES, C.F.; GOMES, L.F.A.M.** Tomada de decisão gerencial: Enfoque Multicritério. São Paulo: Atlas, 2012.
- GOTTSCHALK, P.; SOLLI-SÆTTER, H.** Towards a stage theory for industrial management research. Industrial Management & Data Systems, v. 109, n. 9, p. 1264-1273, 2009.
- IENCO, D.; PENSA, R.G.; MEO, R.** From context to distance: learning dissimilarity for categorical data clustering. ACM Transactions on Knowledge Discovery from data, v. 6, n.1, 2012.

- JONES, D.; WOMACK J.** Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation. Free Press: New York, 2003.
- LAUGENI, F.P.; MARTINS, P.G.** Administração da Produção. São Paulo: Saraiva, 2006.
- LOOTSMA, F.A.** Scale sensitive in the multiplicative AHP and Smart. Journal of Multi-Criteria Decision Analysis. 1993, 2, 87 – 110.
- LUDEWIG, D.R.; OPAZO, M.A.U.; GIMENES, R.M.T.; SOUZA, E.G.** O processo de gestão de custos e planejamento de resultados utilizando técnicas de análise estatística de agrupamentos. Acta Scientiarum Technology, v. 31, n. 2, p. 215-220, 2009.
- MUKHOPADHYAYA, A. K.** Function Analysis System Technique (A Stimulating Tool). I K International Publishing House: Andhra Pradesh, 2012.
- OHNO, T.** Workplace management. Gemba Press: New York, 2007.
- ROTHER, M.; SHOOK, J.** Learning to see. Lean Enterprise Institute: Cambridge, 1999.
- SAATY, T.L.** The Analytic Hierarchy Process. New York: McGraw Hill, 1980.
- SAATY, T.L.** Decision making with the Analytic Hierarchy Process. International Journal of Services Sciences. 2008, 1(1), 83 – 98.
- SAATY, T.L.; VARGAS, L.G.** Methods, concepts & applications of the Hierarchy Process. New York: Springer, 2012.
- SHINGO, S.** O sistema Toyota de Produção: do ponto de vista da engenharia de produção. Porto Alegre: Bookman, 1996.
- SLACK, N.; CHAMBERS, R.; JOHNSTON, R.; BETTS, A.** Operation and process management: principles and practice for strategic impact. Prentice Hall, Lebanon, 2008.
- SUH, N.P.** Axiomatic Design - Advances and Applications. New York: Oxford University Press. 2007, 5, 239 - 298.
- TUBINO, D.F.** Planejamento e controle da produção. São Paulo: Atlas, 2009.
- TZENG, G.H.; HUANG, J.J.** Multiple attribute decision making: methods and applications. Boca Raton: Chapman and Hall/CRC, 2011.
- YAN, X.; ZHU, Y.; ZOU, W.; WANG, L.** A new approach for data clustering using hybrid artificial bee colony algorithm. Neurocomputing, v. 97, p. 241-250. 2012.
- YANG, M.G.; HONG, P.; MODI, S.B.** Impact of lean manufacturing and environmental management on business performance: An empirical study of manufacturing firms. International Journal of Production Economics, v. 129, n. 2, p. 251-261, 2011.
- VORONINA, N.** Service industry management: Organizational aspect. European Journal of Business and Economics, v. 3, p. 37-40, 2011.
- VUČIJAK, B.; KUPUSOVIĆ, T.; MIDŽIĆ-KURTAGIĆ, S.; ČERIĆ, A.** Applicability of multicriteria decision aid to sustainable hydropower. Applied Energy, v. 101, p. 261-267, 2013.
- WALLENUS, J.; DYER, J.S.; FISHBURN, P.C.; STEUER, R.E.; ZIONTS, S.; DEB, K.** Multiple criteria decision making, multipleattribute utility theory. Management Science. 2008, 54(7), 1336 – 1349.
- WATSON, S.R.; FREELING, A.N.S.** Assessing attribute weights by ratios. Omega. 1982, 10(6), 582 – 583.
- WONG, Y.C.; WONG, K.Y.** Approaches and practices of lean manufacturing: The case of electrical and electronics companies. African Journal of Business Management, v. 5, n. 6, p. 2164-2174, 2011.