

O método AHP para priorização de projetos de automação em uma fábrica de carrocerias automotivas

The AHP method for prioritizing automation projects in an automotive body shop

DOI:10.34117/bjdv7n6-361

Recebimento dos originais: 17/05/2021

Aceitação para publicação: 17/06/2021

Sílvio Sérgio Silveira de Siqueira

Me

PPGEP UFF

Endereço: Av. Dos Trabalhadores n. 420 - Vila Santa Cecilia - Volta Redonda – RJ

E-mail: silviosiqueira91@gmail.com

Luis Alberto Duncan Rangel

Dr

PPGEP UFF

Endereço: Av. Dos Trabalhadores n. 420 - Vila Santa Cecilia - Volta Redonda – RJ

E-mail: luisduncan@id.uff.br

Daniel Calazans de Freitas Barroso

Me

PPGEP UFF

Endereço: Av. Dos Trabalhadores n. 420 - Vila Santa Cecilia - Volta Redonda – RJ

Mariana Gabriela Silveira de Siqueira

Eng

PPGEP UFF

Endereço: Av. Dos Trabalhadores n. 420 - Vila Santa Cecilia - Volta Redonda – RJ

E-mail: mgsilveirasiqueira@hotmail.com

RESUMO

A indústria automobilística no Brasil entrou em declínio econômico durante a segunda metade da década de 2010. Projetos foram cortados e as verbas para investimentos foram reduzidas. Com recursos mais escassos os projetos de automação de processos podem ser uma forma viável de tornar a indústria automobilística mais competitiva, entretanto deve ocorrer uma priorização de áreas para serem automatizadas. A seguinte pesquisa é um estudo de caso em uma fábrica de carrocerias no Sul Fluminense, onde os decisores (diretores e gerentes) criaram uma ordem de preferência de automatização de processos na linha de produção, porém sem comprovação quantitativa. A pesquisa buscou utilizar o método de apoio à tomada de decisão Analytic Hierarchy Process (AHP), para modelar a preferência dos decisores e as expectativas de ganho. Comparou-se os processos através de análises de dados por especialistas e gerou-se uma ordem de preferências de automação. Ao final da pesquisa observou-se que o AHP representou de maneira quantitativa o desejo dos decisores, de modo que a priorização de projetos definida pelo método foi a mesma que era esperada pelos decisores e especialistas.

Palavras-Chave: AHP, Apoio à Decisão, Automação.

ABSTRACT

The automobile industry in Brazil went into economic decline during the second half of the 2010s. Projects were cut and investment funds were reduced. With scarcer resources, process automation projects may be a viable way to make the automotive industry more competitive, but there must be a prioritization of areas to be automated. The following research is a case study in a car body factory in Sul Fluminense, where the decision makers (directors and managers) created an order of preference for automation of processes on the production line, but without quantitative proof. The research sought to use the Analytic Hierarchy Process (AHP) decision support method to model the decision makers' preference and expected gains. The processes were compared through data analysis by experts and an order of automation preferences was generated. At the end of the research it was observed that the AHP represented in a quantitative way the decision makers' desire, so that the prioritization of projects defined by the method was the same as what was expected by the decision makers and experts.

Keywords: AHP, Decision Support, Automation.

1 INTRODUÇÃO

A Indústria automobilística no Brasil fez parte de um processo de industrialização nos anos 1950, que livraria o Brasil de um atraso representado por uma economia agrária. Historicamente a indústria tem-se concentrado em polos industriais como o Polo do ABC e o do Sul Fluminense. Além da sua importância econômica para o Brasil, a indústria automobilística foi propulsora da economia mundial no início do século XX e até hoje é importante em escala global. Para se ter uma ideia em 2008, no mundo inteiro, a Indústria automobilística movimentou cerca de US\$ 2,5 trilhões, atribuindo a ela 10% do PIB dos países desenvolvidos (CASSOTI; GOLDENSTEIN, 2009).

Nos anos 90 o Brasil, que vinha de uma economia fechada e protecionista, passou por um processo de abertura econômica. Ocorreu neste período a abertura dos portos e a valorização da moeda local. A Indústria automobilística nacional, que antes era um setor privilegiado pelo protecionismo, passou a enfrentar dificuldades ao competir com os veículos importados. Tal dificuldade fica evidente ao analisar a balança comercial entre 1992 e 1997, em que mesmo as exportações crescendo 34,18%, as importações cresceram 63,34% (VALE; PUDO, 2012).

Pergunta-se quais ações as montadoras devem tomar para superarem seus rivais e manterem-se competitivas no mercado, visto que a linha de automóveis e veículos leves vem apresentando queda nas vendas desde 2013 com um pequeno aumento em 2017 (FENABRAVE, 2018)?

Uma das alternativas é o aumento da produtividade. A produtividade engloba o aumento de produção e a redução de custo, podendo a redução de custo dar-se por meio de troca de matéria prima, por eliminação de processos que não agregam valor ao produto, redução de desperdícios, aumento da qualidade e diminuição de não conformidades, entre outros (FONSECA et al. 2016). Uma forma aumentar a produtividade que engloba todos os fatores anteriormente citados é a substituição da mão de obra operacional por processos automatizados. Processos insalubres e desgastantes provocam o esgotamento físico do operador diminuindo o ritmo de trabalho, aumentando o número de erros operacionais e de não conformidades e gerando custo por afastamento devido à doença ou lesão. A substituição do operador por processos automatizados em alguns casos é de grande valia para indústria e a mantém mais competitiva no mercado pelo aumento da produtividade (LIMA et al.; 2017).

A substituição de toda a operação por automação, entretanto, passa por entraves tanto em legislação como no custo de instalação, contratação de mão de obra especializada e manutenção dos equipamentos. Por estes motivos os gestores precisam avaliar quais setores e plantas realmente se beneficiariam com a instalação de postos de trabalho automatizados, sem que isso se converta em custo desnecessário ou em baixo retorno à empresa. Com estes entraves e com a grande quantidade de critérios que devem ser avaliados, a aplicação de métodos de Apoio Multicritério à Decisão (AMD) são úteis para resolver estes tipos de problema.

O Apoio Multicritério à Decisão permite a análise de problemas complexos que exigem uma decisão ou preferência, envolvendo critérios qualitativos e quantitativos que às vezes são conflitantes. Os métodos de apoio multicritério à decisão tem caráter técnico e científico, dando base e argumento para o decisor apoiar sua decisão (GOMES; ARAYA; CARIGNANO, 2004). Entretanto, pelo problema ainda ter um caráter qualitativo, ele depende do decisor ou decisores, que irão avaliar a importância de cada critério de acordo com o objetivo buscado e definir os objetivos que deverão ser alcançados. Devido a esta característica, o método não apresenta uma solução ótima para o problema, e sim aquela ou aquelas que melhor atendem a necessidade dos decisores.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA NO SUL FLUMINENSE

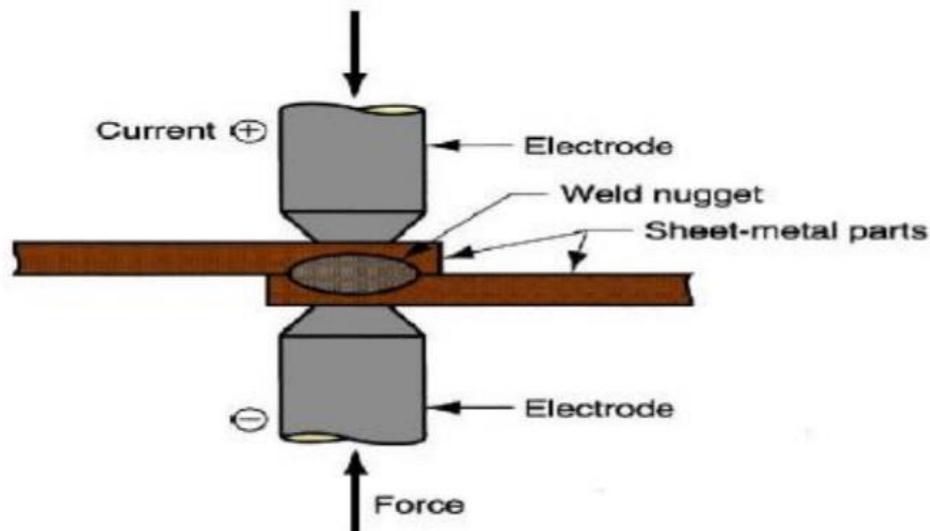
O Polo Industrial do Sul Fluminense possui três grandes montadoras, duas localizadas no município de Resende e uma localizada no município vizinho de Porto

Real. A cidade de Resende, a maior entre as duas, possui segundo o IBGE (2019) 130.334 habitantes, sendo que 39.512 destes estão ocupados economicamente. Estima-se que a Indústria automobilística do Sul Fluminense é responsável por empregar entre 10 e 15% desta população ativa. A indústria automobilística também contribui para que o PIB per capita da cidade seja o nono maior do Estado do Rio de Janeiro (IBGE, 2019).

2.2 SOLDA POR RESISTÊNCIA ELÉTRICA

O processo por solda por resistência elétrica é o mais comum na Indústria automobilística e consiste no processo de união de duas ou mais chapas distintas. Sendo realizado por pressão e pelo calor gerado durante a circulação de corrente elétrica na resistência das juntas (KEARNS, 1980), o local onde acontece a junção do material fica marcado com o formato do eletrodo, normalmente em forma de ponto nas chapas. Por este motivo o local da união é chamado de ponto de solda e a soldagem por resistência elétrica é também conhecida por solda a ponto, a soldagem ocorre conforme Figura 1:

Figura 1: Soldagem por resistência.



Fonte: Dolcinotti (2017).

A Figura 1 mostra o processo de soldagem por resistência, onde os eletrodos geram pressão e calor em um ponto entre duas chapas metálicas, esse efeito gera a união das chapas. O equipamento eletropneumático responsável por esse processo de soldagem é chamado de PSW, do inglês Projecting Spot Weld e pode ser visto na Figura 2 – PSW.

Figura 2: PSW.



Fonte: O autor.

Algumas PSW podem aplicar até dois mil e setecentos pontos de solda por hora. A PSW é formada por um sistema pneumático, corpo de pinça, braço de solda, porta eletrodos, eletrodos, transformador, sistema de refrigeração, sistema eletrônico de comando de solda, anel giratório, haste de sustentação, cabos de força, comando e mangueiras, barramentos flexíveis, caixas de conexões elétricas, braço de sustentação com dispositivos de segurança e balancins para segurar pinça e cabos.

2.3 ERGONOMIA

Iida e Buarque (2016) definem a ergonomia como o estudo da adaptação do trabalho ao ser humano. O conceito de trabalho é bastante amplo não se limitando somente ao trabalho executado com máquinas e equipamentos para transformar materiais e matérias-primas, mas sim todas as associações do ser humano com atividades produtivas. Vidal (2001) define que a ergonomia objetiva modificar os sistemas de trabalho para adequar as atividades neles existentes às características, habilidades e limitações das pessoas com vista ao seu desempenho eficiente, confortável e seguro.

A questão ergonômica é uma preocupação constante das empresas. De acordo com a UNICAMP (2001), a ergonomia é um dos principais fatores para o absenteísmo na Indústria. Segundo Batti et al., (2013) em 2008 ocorreram 747.663 acidentes de trabalho, no Brasil, nos diversos ramos da economia, correspondendo a um total de 2.038 acidentes por dia.

2.4 QUALIDADE

A baixa qualidade tem como uma de suas consequências o recall. Recall é uma solicitação de devolução de lote ou de uma linha inteira de produtos feita pelo próprio fabricante. Geralmente ocorrendo pela descoberta de problemas de qualidade que afetam

a segurança do produto. De acordo com dados divulgados pela Secretaria Nacional do Consumidor do Ministério da Justiça e Segurança Pública (SENACON, 2017), somente em 2016, mais de 9,6 milhões produtos sofreram recalls no Brasil, maior cifra registrada desde 2003, quando começou o levantamento feito pelo órgão, destes produtos 76% são carros e 7,2% são motos. Números que preocupam a indústria automobilística.

A qualidade das carrocerias obedece a normas internas para julgamentos de criticidade, que busca avaliar o produto usando a visão do cliente. Os problemas de qualidade existentes na área de carroceria, causados durante processo de solda, são divididos em duas classes.

A) Problemas de solda: Pontos de solda importante A e B são pontos de solda estruturais para a carroceria e que unem peças importantes para a segurança do veículo, caso a PSW seja má posicionada, sem que os eletrodos estejam perpendiculares com a chapa o ponto de solda pode não ocorrer com a corrente desejada, gerando problema de ponto solto, ou rebarbas geradas nestes pontos. Outro problema decorrente e crítico é o ponto ausente, que ocorre quando o operador esquece de realizar a solda ou posiciona a PSW em uma posição diferente da posição onde deveria ocorrer a solda.

B) Amassados: Os Amassados causados por PSW ocorrem quando o operador choca a PSW contra uma parte visível da carroceria ao posiciona-la para aplicar o ponto de solda. Operadores iniciantes, falta de atenção ou cansaço do operador tendem a aumentar a incidência de amassados. Os amassados podem ocorrer em qualquer peça, porém só é considerado defeito se este amassado for em uma região visível para o cliente, ao contrário dos defeitos de solda, não causam risco para a segurança do veículo.

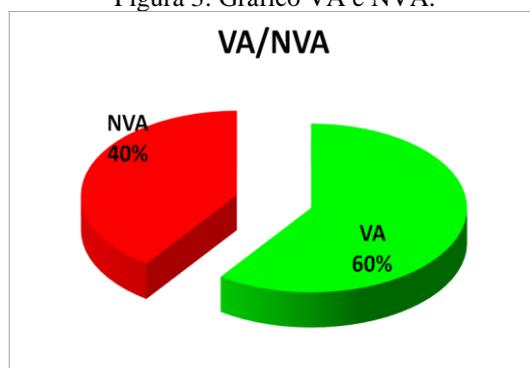
2.5 TEMPO CICLO

Shingo (1996) postulou que os sistemas de produção podem ser entendidos como redes de processos e operações. Shingo (1996) então diferencia processo como o acompanhamento dos materiais ao longo do tempo, já a operação refere-se ao acompanhamento dos sujeitos do trabalho (homens, máquinas, equipamentos, robôs). Partindo deste princípio, pode-se entender os conceitos de takt time e tempo ciclo.

O takt time (do alemão Taktzeit, onde takt significa compasso, ritmo. Ezeit significa tempo, período) é o intervalo de tempo no qual um processo deve ser concluído para atender a demanda do cliente posterior (GOMES; Leonardo, 2018). Taiichi Ohno (1996) definiu matematicamente dizendo que o takt time é “o resultado da divisão do tempo diário de operação pelo número de peças requeridas por dia”.

Ao tempo ciclo, são agregados os desperdícios que não geram valor ao produto, como movimentação de operadores, checks de qualidade e outras atividades. Estes desperdícios são encontrados no processo pelo mapeamento do fluxo de valor. Alvarez e Antunes Jr. (2001) afirmam que o mapeamento do fluxo de valor, em inglês Value Stream Mapping (VSM), tem a finalidade de passar para o papel, todo o fluxo por onde passa o produto para ser produzido, possibilitando a análise e posteriormente a implementação de ferramentas e técnicas para eliminar o desperdício. Implementando o VSM, pode-se reproduzir graficamente quais atividades gera valor (VA) e aquelas que não agregam (NVA), conforme Figura 3:

Figura 3: Gráfico VA e NVA.



Fonte: Siqueira, Costa, Assumpção (2019).

A Figura 3 mostra um exemplo onde um operador de determinado posto de trabalho, usa 60% do seu tempo de trabalho em atividades que agregam valor ao produto e 40% em atividades que não agregam valor ao produto. Atividades que não agregam valor podem ser eliminadas por meio de padronização das operações em alguns casos, porém em outros são inerentes ao processo.

2.6 PAYBACK

O período temporal necessário para que determinado investimento seja reavido financeiramente é chamado de payback (MORGADO; SOUSA, 2019). Para Cooper e Slagmulder (2003) a gestão de custos é uma ferramenta crucial para a sobrevivência das empresas. Não bastando somente a redução dos mesmos, como também administrá-los para reforçar o posicionamento estratégico junto aos clientes e fornecedores. Vanalle e Salles (2011) reforçam que a parceria entre empresa e fornecedor, não somente para o posicionamento estratégico como também para novas práticas de gestão e uso intensivo das tecnologias.

De acordo com Vanalle e Salles (2011) as pressões competitivas sobre as montadoras levaram as mesmas a buscar junto aos seus fornecedores novas formas de relacionamento, que passaram a envolver entre outros fatores a busca por fornecedores globais e uma maior responsabilidade dos fornecedores no desenvolvimento de projetos. No ramo automotivo as montadoras, usam desta prática e possuem fornecedores globais, onde os mesmos são responsáveis por fornecer globalmente equipamentos para determinado processo. A empresa deste estudo de caso possui um fornecedor global para equipamentos de automação de soldagem em carrocerias. O custo é por tanto global, variando somente a questão de transporte e custo de suporte e mão de obra para a instalação.

Contrário aos custos do investimento, tem-se a redução de custo esperada. Essa redução de custo esperada deve-se principalmente a três fatores.

- Eliminação da necessidade de operador (cálculo de custo anual);
- Redução de custo com retrabalhos e perdas de peças não OK por erros operacionais;
- Aumento do volume de produção decorrente da automação.

2.7 DECISÃO MULTICRITÉRIO DISCRETA

Foi durante a década de 1970, que começaram a surgir os primeiros métodos de apoio multicritério à decisão, sendo uma área da pesquisa operacional (RANGEL; BRANDALISE, 2006). Os métodos surgiram com o intuito de auxiliar na análise de situações específicas em que um decisor, utilizando a razão, deveria resolver um problema em que existiam vários objetivos a serem alcançados simultaneamente. Atualmente os métodos AMD são aplicados em múltiplas áreas e pesquisas, sendo um instrumento importante para auxiliar os decisores na priorização de projetos em empresas (SOUSA; RANGEL; HERNÁNDEZ, 2018).

O grande mérito dos métodos AMD segundo Gomes, Araya e Carignano (2004) é o fato deles se basearem na elaboração de modelos matemáticos no apoio à decisão utilizando dados quantitativos, tornando-os, portanto, de caráter científico. Ao mesmo tempo leva-se em consideração características subjetivas pelo fato de contar com critérios qualitativos e de levar em consideração as preferências dos gestores. Cabe à estes gestores definir quais serão os critérios e alternativas levados em consideração e que atenderão aos seus interesses (MAGALHÃES; RANGEL; SILVA, 2017).

Os métodos AMD também incorporam uma série de características como:

- Análise do processo de decisão em que a metodologia é aplicada tem sempre o objetivo de identificar informações e regiões críticas;
- A existência de uma compreensão melhor das dimensões do problema;
- A possibilidade de ocorrerem diversas formulações válidas para o problema em questão;
- Aceitar o fato de que em problemas complexos, as situações nem sempre se ajustam a um formalismo perfeito e em particular, de que as estruturas que representam de forma parcial a comparabilidade entre as alternativas que podem ser relevantes no processo de auxílio à decisão;
- O uso de representações de uma estrutura de preferências ao invés de se utilizar representação numérica artificial, o que pode ser mais apropriado para determinado tipo de problema.

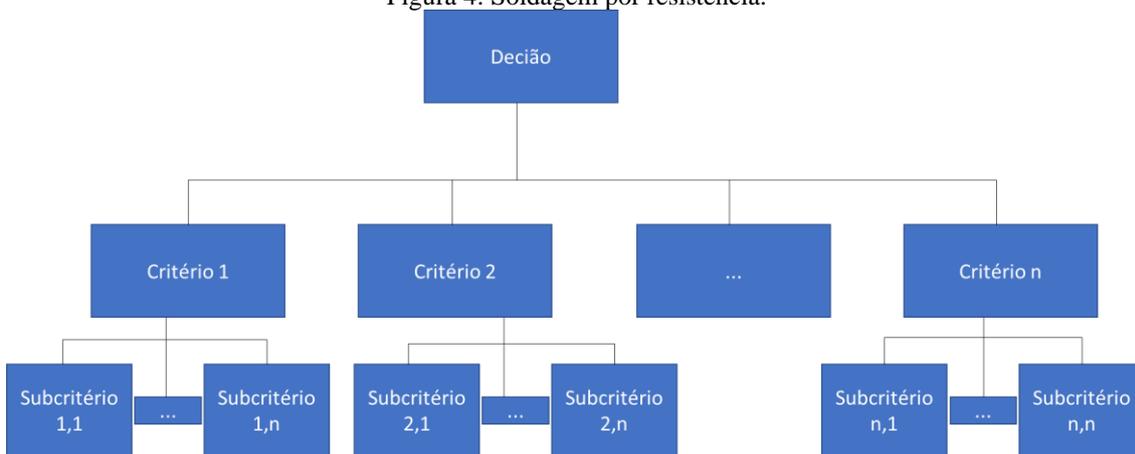
Pode-se deduzir com base nestas afirmações que os métodos AMD procuram representar mais fielmente possível as opiniões dos decisores e que o AMD não irá apresentar uma solução para o problema como uma verdade absoluta. Como o próprio nome diz, são métodos de apoio para fundamentar e recomendar matematicamente uma decisão, ou curso de ações a serem tomadas de modo que se chegue nos objetivos.

2.8 ANALYTIC HIERARCHY PROCESS

A escolha do método deve seguir uma lógica, para que o intuito do decisor seja de fato atendido, como no estudo de caso o objetivo é a seleção de uma alternativa $\alpha(P\alpha)$ e os critérios são compensatórios, um método que atende a proposta é o Analytic Hierarchy Process (AHP), da escola americana. Criado por Tomas L. Saaty na década de 70 (BERTAHONE; BRANDALISE, 2017) e (SAATY, 1980). O método é uma abordagem projetada para lidar tanto com o racional quanto com o intuitivo de forma a selecionar a melhor alternativa sendo considerada uma série de critérios (CRUZ et al., 2018) Segundo Gomes, Kessia (2009), neste método, o problema de decisão é dividido em níveis hierárquicos, facilitando sua compreensão e avaliação. O Método AHP clássico possui outras variações como o AHP Multiplicativo (LOOTSMA, 1990) o Método AHP Referenciado (WATSON; FREELING, 1982) e o Método AHP B-G (BELTON; GEAR, 1985). O método AHP permite que os atributos sejam organizados e ponderados matematicamente de forma a inferir sobre as decisões (JUNIOR; LOURES; SANTOS; SZEJKA, 2020)

Para o apoio da decisão no modelo AHP clássico é necessário definir quais critérios serão avaliados. Pode-se apresentar os critérios de avaliação no formato de árvore, onde o topo consiste no objetivo da decisão e as suas divisões de critérios e subcritérios dividindo-os em níveis hierárquicos (SILVA, 2007). Deste modo tem-se como critérios e hierarquia que estão demonstrados conforme exemplo da Figura 4:

Figura 4: Soldagem por resistência.



Fonte: Silva (2007 adaptado).

Após a divisão do problema em níveis hierárquicos como na Figura 4, deve-se determinar uma medida global para cada uma das alternativas classificando-as. Em seguida, cada decisor deve fazer uma comparação par a par de cada elemento do mesmo nível hierárquico gerando uma matriz de decisão quadrada. Assim sendo, o decisor deverá a partir de uma escala predefinida representar suas preferências entre os elementos comparados. Gomes; Araya e Carignano (2004) explicam, sendo um elemento de nível superior C_k , será feita a comparação dos elementos de um nível inferior A_j , em relação a C_k , gerando uma matriz quadrada de preferências. Estes critérios são comparados em relação ao critério C_k , Custo, buscando a maximização do critério, gerando uma matriz quadrada.

A matriz é dada na forma por $n \times n$, onde n é o número de elementos do level (BENMOUSS et al., 2019). Verifica-se na Matriz 1:

$$\text{Matriz 1: Matriz } n \times n \left| \begin{array}{cccc} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{array} \right|$$

Fonte: Benmouss et al (2019).

O decisor portanto, deverá realizar $n(n-1) / 2$ comparações, sendo realizadas comparações para a par em todos níveis hierárquicos. É denominada matriz dominante aquela que expressa o número de vezes em que uma alternativa domina ou é dominada pelas demais, sendo também conhecida como matriz de decisão.

Uma alternativa é considerada superior se ela dominar a outra alternativa em um número de fatores maior que o número de fatores nos quais a outra alternativa a domina. A escala Saaty, ou escala verbal, é baseada em uma análise do tema de estímulos e respostas (Saaty, 1980). Saaty observou que apesar das diferenças entre os estímulos seguirem uma escala geométrica, a percepção destes pela mente humana obedece a uma escala linear. A escala verbal então obedece a um limite psicológico, segundo qual o ser humano pode julgar corretamente 7 ± 2 pontos, ou seja, no máximo 9 pontos. Por este motivo Saaty (1980) definiu a Escala Fundamental apresentada, por Bertahone e Brandalise (2017) na Tabela 1:

Tabela 1: Escala Saaty.

| Escala Numérica | Escala Verbal | Explicação |
|-----------------|---|---|
| 1 | Ambos elementos de igual importância | Ambos elementos contribuem com a propriedade de igual forma |
| 3 | Moderada importância de um elemento sobre o outro. | A experiência e a opinião favorecem um elemento sobre o outro. |
| 5 | Forte importância de um elemento sobre o outro. | Um elemento é fortemente favorecido. |
| 7 | Importância muito forte de um elemento sobre o outro. | Um elemento é muito fortemente favorecido sobre o outro. |
| 9 | Extrema importância de um elemento sobre o outro. | Um elemento é favorecido com pelo menos com uma ordem de magnitude de diferença |
| 2, 4, 6, 8 | Valores intermediários entre opiniões adjacentes. | Usados como valores de consenso entre as opiniões |
| Incremento 0,1 | Valores intermediários na graduação mais fina. | Usados para as graduações mais finas das opiniões. |

Fonte: Bertahone, Brandalise (2017).

Mais do que uma escala numérica, ela usa os aspectos psicológicos para justificar essa atribuição de 9 pontos em nível de importância, exceto pelo numeral 1 que representa o mesmo peso para todos os critérios (GODOI 2014). Trata-se, portanto de uma escala qualitativa que se torna uma escala quantitativa, tornando possível a aplicação do método quantitativo. Segundo Godoi (2014), a importância dos critérios deve ser obtida através de comparações par a par. Essas comparações geram o valor numérico da tabela conforme interpretação. Por definição de Saaty (1980) as atividades devem ser recíprocas, ou seja,

uma atividade i em relação a uma atividade j recebe um dos valores da Tabela 1, a atividade j em relação a atividade i receberá o valor recíproco.

Saaty (1980) demonstrou que sendo n o número de elementos a serem comparados e λ_{\max} o autovetor de A e q o vetor próprio correspondente. Sendo os dados consistentes, tem-se $\lambda_{\max} = n$ e $a_{ij} = w_i/w_j$. Porém, devido as circunstâncias da decisão, quase sempre se verifica a inconsistência nos juízos, porém determinado grau de inconsistência é admitido pelo método AHP. Quanto mais próximo λ_{\max} é de n , mais consistente a matriz. Saaty (1980) então demonstra que, deverá ser encontrado o vetor que satisfaça a Equação 1:

$$Aw = \lambda_{\max} \times w \quad (1)$$

Para obter o autovetor, o valor de λ_{\max} é gerado pela Equação 2:

$$\lambda_{\max} = x \quad (2)$$

Segundo Saaty (1980), é possível avaliar a consistência de uma matriz A , utilizando um índice de consistência (IC). Segundo o teorema, A é consistente se $\lambda_{\max} > n$. Sendo A consistente então quando é calculada a magnitude de perturbação da matriz A , utilizando a Equação 3:

$$IC = (\lambda_{\max} - n) / (n-1) \quad (3)$$

O IC deverá ter um valor menor do que 0,1. Tal inconsistência é aceitável pois de acordo com (SAATY, 1986), a inconsistência é inerente ao pensamento humano, desta forma, deve-se ter cuidado com a utilização de processos matemáticos que forcem a obtenção de consistência do problema, já que podem alterar significativamente o resultado do problema.

Após os cálculos e comparação par a par, as matrizes devem ser normalizadas por meio da média geométrica, de modo que a comparação par a par se transforme em vetores que serão usados no apoio a decisão (CRAWFORD e WILLIAMS, 1985)

3 APLICAÇÃO DO MÉTODO

A Pesquisa foi feita em uma fabricante de automóveis localizada no Sul Fluminense, na fábrica de carrocerias, durante os anos de 2018 e 2019. O método AHP foi empregado utilizando quatro critérios de avaliação que são os pilares globais da Empresa e também quatro alternativas de área para serem automatizadas foram avaliadas.

Os critérios escolhidos foram:

- Ergonomia: Os benefícios ao eliminar postos economicamente ruins pela automação;
- Qualidade: Dividida em dois subcritérios, sendo o primeiro, falhas de soldagem manual que podem gerar problemas críticos de segurança. O segundo subcritério são os amassados gerados pelo processo manual, que são menos críticos pois afetam somente aspecto do veículo;
- Tempo Ciclo: Visa eliminar possíveis operações que são gargalos do processo por meio da automação;
- Payback: É o tempo em que a empresa obterá o retorno financeiro do investimento realizado na automação. Prioriza-se investimentos baixos que gerem economia grande.

As alternativas para serem automatizadas, são compostas de setores que realizam a solda de partes da carroceria. Todos estes setores são de soldagem por resistência elétrica, ainda que os setores realizem outras atividades fora a soldagem, como por exemplo movimentação de peças, inspeções de qualidade e preenchimento de documentos. Os setores, que são as alternativas desta pesquisa, são:

- Compartimento do Motor: Setor onde são soldadas as longarinas e toda a estrutura frontal do veículo que receberá o motor. Composto por 11 operadores
- Piso: Setor onde o piso é soldado, para receberem os bancos posteriormente e outros componentes. Composto por 15 operadores
- Laterais: Onde são soldadas as laterais, é um setor onde as peças ficam visíveis aos clientes, ao contrário do piso e compartimento do motor. Composta por 13 operadores
- Partes móveis: São soldadas as partes móveis, portas dianteiras, portas traseiras, porta-malas e capô. As peças também são visíveis aos clientes. Composta por 10 operadores.

3.1 GRAU DE IMPORTÂNCIA DOS CRITÉRIOS

Uma equipe formada por especialistas em conjunto com um grupo de decisores, compostos por gerentes da empresa, aplicaram o método AHP na primeira etapa de modo a distribuir a importância dos critérios utilizando a matriz do método e a escala de Saaty, sendo visto na Tabela 2. Após essa avaliação, os valores foram normalizados na Tabela 3:

Tabela 2: Comparação par a par dos critérios.

| Critérios | Ergonomia | Qualidade | Tempo | Payback |
|-----------|-----------|-----------|-------|---------|
| Ergonomia | 1 | 1/3 | 1/3 | 1/5 |
| Qualidade | 3 | 1 | 1 | 1/3 |
| Tempo | 3 | 1 | 1 | 1/3 |
| Payback | 5 | 3 | 3 | 1 |

Fonte: O autor.

Tabela 3: Critérios normalizados

| Critérios | Média geométrica | Vetor de decisão |
|-----------|------------------|------------------|
| Ergonomia | 0,3861 | 0,0776 |
| Qualidade | 1,0000 | 0,2010 |
| Tempo | 1,0000 | 0,2010 |
| Payback | 2,5900 | 0,5205 |

Fonte: O autor.

Após a normalização, encontrou-se um IC igual a 0,0154. Logo a matriz é consistente e o julgamento não será afetado. Com base nestas informações a função objetivo é dada pela Equação 4:

$$F(a) = 0,0776.a1 + 0,2010.a2 + 0,2010.a3 + 0,5205.a4 \quad (4)$$

Sendo:

- **a1**: Peso da alternativa no critério ergonomia;
- **a2**: Peso da alternativa no critério qualidade;
- **a3**: Peso da alternativa no critério tempo ciclo;
- **a4**: Peso da alternativa no critério payback;

3.2 AVALIAÇÃO DO CRITÉRIO ERGONOMIA

Repete-se o procedimento agora para critério individual e analisando as alternativas conforme a escala Saaty, que pode ser visto na Tabela 4. A comparação é normalizada na Tabela 5:

Tabela 4: Comparação par a par no critério Ergonomia.

| Ergonomia | Motor | Piso | Laterais | Partes móveis |
|-------------|-------|------|----------|---------------|
| Motor | 1 | 1 | 1/4 | 1/3 |
| Piso | 1 | 1 | 1/4 | 1/3 |
| Laterais | 4 | 4 | 1 | 2 |
| Partes móv. | 3 | 3 | 1/2 | 1 |

Fonte: O autor.

Tabela 5: Normalização do critério Ergonomia.

| Ergonomia | Média geométrica | Vetor de decisão |
|---------------|------------------|------------------|
| Motor | 0,5373 | 0,1094 |
| Piso | 0,5373 | 0,1094 |
| Laterais | 2,3784 | 0,4845 |
| Partes móveis | 1,4565 | 0,2967 |

Fonte: O autor.

Sendo IC igual a 0,0087. Logo a Matriz é consistente para o critério ergonomia.

3.3 AVALIAÇÃO DO CRITÉRIO QUALIDADE

Para o critério Qualidade existe a subdivisão em dois critérios, qualidade de solda e qualidade de amassados. Utilizando o método AHP, gerou-se uma função objetivo para o critério Qualidade, sendo esta função dada pela Equação 5:

$$\text{Max } F(c) = 0,8.c1 + 0,2.c2 \quad (5)$$

Sendo,

c1: Peso da alternativa no critério qualidade de solda

c2: Peso da alternativa no critério qualidade de amassados

A Matriz de comparação par a par (Tabela 6) e a matriz normalizada para o critério Qualidade de solda (Tabela 7) podem ser vistas abaixo:

Tabela 6: Comparação par a par no subcritério qualidade de solda.

| Solda | Motor | Piso | Laterais | Partes móveis |
|---------------|-------|------|----------|---------------|
| Motor | 1 | 2 | 1/5 | 1/9 |
| Piso | 1/2 | 1 | 1/5 | 1/9 |
| Laterais | 5 | 5 | 1 | 1/5 |
| Partes móveis | 9 | 9 | 5 | 1 |

Fonte: O autor.

Tabela 7: Subcritério qualidade de solda normalizado

| Solda | Média geométrica | Vetor de decisão |
|---------------|------------------|------------------|
| Motor | 0,4591 | 0,0679 |
| Piso | 0,3247 | 0,0480 |
| Laterais | 1,4953 | 0,2210 |
| Partes móveis | 4,4860 | 0,6631 |

Fonte: O autor.

Sendo o IC igual a 0,0752, por tanto a Matriz é consistente. Já para o critério Qualidade de amassados, a Matriz de comparação par a par (Tabela 8) e a Matriz

normalizada (Tabela 9) podem ser vistas abaixo:

Tabela 8: Comparação par a par no subcritério qualidade de amassados.

| Amassados | Motor | Piso | Laterais | Partes móveis |
|---------------|-------|------|----------|---------------|
| Motor | 1 | 3 | 1/9 | 1/9 |
| Piso | 1/3 | 1 | 1/9 | 1/9 |
| Laterais | 9 | 9 | 1 | 1/3 |
| Partes móveis | 9 | 9 | 3 | 1 |

Fonte: O autor.

Tabela 9: Subcritério qualidade de amassados normalizado.

| Amassados | Média geo. | Vetor de decisão |
|---------------|------------|------------------|
| Motor | 0,4387 | 0,0634 |
| Piso | 0,2533 | 0,0366 |
| Laterais | 2,2795 | 0,3294 |
| Partes móveis | 3,9482 | 0,5706 |

Fonte: O autor.

Sendo o IC igual a 0,1031, o que torna a Matriz não consistente. Entretanto, Saaty (1980) assume a inconsistência como algo inerente ao comportamento humano, e deve-se evitar modelos matemáticos que forcem uma consistência. Parte dessa inconsistência é dada pela extrema importância das alternativas Laterais e Partes Móveis sobre as demais, entretanto, quando comparadas entre si as Partes Móveis possui uma preferência moderada em relação as Laterais. Em consenso com a equipe foi definido que essa inconsistência seria admitida no modelo.

Após as definições para os subcritérios, foi verificada na Função objetivo o peso de cada alternativa para o critério Qualidade, que pode ser visto na Tabela 10

Tabela 10: Vetores de decisão para Qualidade

| Qualidade | FO Qualidade |
|---------------|--------------|
| Motor | 0,067 |
| Piso | 0,04572 |
| Laterais | 0,24268 |
| Partes móveis | 0,6446 |

Fonte: O autor.

3.4 AVALIAÇÃO DO CRITÉRIO TEMPO

Para o critério Tempo, são realizadas as comparações na Matriz par a par (Tabela 11) e também a normalização (Tabela 12) como podem ser vistas abaixo:

Tabela 11: Comparação par a par no critério Tempo.

| Tempo | Comp. Motor | Piso | Laterais | Pts. Móveis |
|-------------|-------------|------|----------|-------------|
| Comp. Motor | 1 | 1 | 1/9 | 1/5 |
| Piso | 1 | 1 | 1/9 | 1/5 |
| Laterais | 9 | 9 | 1 | 4 |
| Pts. Móveis | 5 | 5 | 1/4 | 1 |

Fonte: O autor.

Tabela 12: Normalização do critério Tempo.

| Tempo | Média geométrica | Vetor de decisão |
|-------------|------------------|------------------|
| Comp. Motor | 0,3861 | 0,0585 |
| Piso | 0,3861 | 0,0585 |
| Laterais | 4,2426 | 0,6432 |
| Pts. Móveis | 1,5811 | 0,2397 |

Fonte: O autor.

Têm se um IC igual a 0,032. Por tanto a Matriz é consistente para o critério Tempo.

3.5 AVALIAÇÃO DO CRITÉRIO PAYBACK

Para o critério Payback, as alternativas são avaliadas e comparadas na Matriz par a par (Tabela 13) e a matriz normalizada (Tabela 14) podem ser vistas abaixo:

Tabela 13: Comparação par a par no critério Payback

| Payback | Comp. Motor | Piso | Laterais | Pts. Móveis |
|-------------|-------------|------|----------|-------------|
| Comp. Motor | 1 | 1/4 | 1/3 | 1/3 |
| Piso | 4 | 1 | 2 | 2 |
| Laterais | 3 | 1/2 | 1 | 1 |
| Pts. móveis | 3 | 1/2 | 1 | 1 |

Fonte: O autor.

Tabela 14: Normalização do critério Payback

| Payback | Média geométrica | Vetores de decisão |
|-------------|------------------|--------------------|
| Comp. Motor | 0,4082 | 0,0883 |
| Piso | 2,0000 | 0,4327 |
| Laterais | 1,1067 | 0,2395 |
| Pts. Móveis | 1,1067 | 0,2395 |

Fonte: O autor.

Têm se um IC igual a 0,069. Por tanto a Matriz é consistente para o critério Payback.

3.6 RESULTADOS OBTIDOS

Uma vez montada a função objetivo, com as atribuições e pesos dos critérios vistos na equação, os analistas da decisão, organizaram por meio do Excel, a função objetivo. Relembrando, a função objetivo foi dada pela Equação 4:

Com os cálculos dos vetores de decisão realizados, têm se o cálculo da função objetivo na Tabela 15:

Tabela 15: Vetores de decisão das alternativas

| máx FO | Ergonomia | Qualidade | Tempo | Payback | TOTAL |
|-------------|-----------|-----------|--------|---------|--------|
| Comp. Motor | 0,1094 | 0,067 | 0,0585 | 0,0883 | 0,0797 |
| Piso | 0,1094 | 0,04572 | 0,0585 | 0,4327 | 0,2547 |
| Laterais | 0,4845 | 0,24268 | 0,6432 | 0,2395 | 0,3403 |
| Pts. Móveis | 0,2967 | 0,6446 | 0,2397 | 0,2395 | 0,3254 |

Fonte: O autor.

Na função objetivo, organizou-se de modo que as variáveis fossem substituídas pelas variáveis de todas as alternativas em função dos critérios. Totalizando assim quatro funções onde se realizou o cálculo. Os valores encontrados para a função objetivo de cada alternativa, geram o ranking dos projetos que pode ser visto na Tabela 16:

Tabela 16: Ranking de prioridade dos Projetos

| | | |
|----|-----------------------|--------|
| 1º | Laterais | 0,3403 |
| 2º | Partes Móveis | 0,3254 |
| 3º | Piso | 0,2547 |
| 4º | Compartmento do motor | 0,0797 |

Fonte: O autor.

Percebeu-se que o projeto de automação da Lateral, é o projeto de automação prioritário para que atenda às necessidades dos decisores na Planta.

4 CONCLUSÕES

O método AHP permitiu que os pensamentos e ideias de preferência dos decisores e especialistas da empresa fossem organizados de maneira lógica e quantitativa. A pesquisa também permitiu que fosse provado de maneira quantitativa que as Laterais e as Partes Móveis eram os setores de soldagem manual que deveriam ser priorizados para serem automatizados. Outro fator importante foi que existia uma dúvida entre a equipe de qual setor traria mais ganho caso fosse automatizado, as Laterais ou as Partes Móveis. Ficou provado que o ganho seria maior automatizando as Laterais e a equipe entrou em consenso após o estudo.

A escolha pelo método AHP provou-se acertada em comparação a outros métodos por se tratar de um método compensatório. Diferentes critérios foram levados em consideração e impactaram no resultado final, algo que era desejado pelos decisores.

Observou-se que o método também poderá ser usado futuramente para o apoio à decisão em outros setores da fábrica, como pintura e montagem, sendo necessária

somente a adequação dos pesos, critérios e alternativas para que melhor atendam a empresa no momento desejado.

REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, R. DOS R.; ANTUNES JR., J. A. V. Takt-Time: Conceitos e Contextualização dentro do sistema Toyota de produção. *Gestão & Produção*, v. 8, n. 1, p. 1–18, 2001
- BATTI, C. F. B; et al. Contribuições Da Análise Ergonômica Em Uma Linha De Produção De Mosaicos. XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Salvador 2013.
- BELTON, V. A.; GEAR. T. The Legitimacy of rank reversal - a comment. *Omega* v.13, n3, 1985
- BENMOUSS, K. et al. AHP-based Approach for Evaluating Ergonomic Criteria. *Procedia Manufacturing*, 2019 v. 32, p. 856–863.
- BERTAHONE, P. B.; BRANDALISE, N. Uso Do Método Analytic Hierarchy Process (Ahp) Para Escolha De Fornecedor De Farinha De Trigo : Um Estudo de caso. Simpósio de Excelência e Tecnologia (SEGET), v. 4, Resende, 2017.
- CASSOTI, B. P; GOLDENSTEIN, M. Panorama do setor automotivo: as mudanças estruturais da indústria e as perspectivas para o Brasil. *Biblioteca Digital - BNDS*, v. 29, p. 359–392, 2009.
- COOPER, R.; SLAGMULDER, R. Redução de custos com inteligência. *HSM Management*, 2003.
- CRAWFORD, G.; WILLIAMS, C. The analysis of subjective judgement matrices. The Rand Corporation, USA, 1985.
- CRUZ, E. T. L. de O; PEREIRA, V. C. dos S; DEFALQUE, C. M; JÚNIOR, N, de S. O Analythic Hierarchy Process (AHP) no apoio à tomada de decisão em localização de uma base logística de brigada. Simpósio de Excelência e Tecnologia (SEGET). Resende, 2018.
- DOLCINOTTI, G. L.; Redução de fagulhamento em máquinas automáticas de solda a ponto em indústria automotiva. Trabalho de Graduação para obtenção do diploma em Engenharia Elétrica na UNESP. Guaratinguetá, 2017.
- FENABRAVE. Anuário do setor de distribuição de veículos automotores no Brasi/2017. Milxtor Arte, p. 96, 2018.
- FONSECA, A. J.; BUENO, B. M.; RICCI, G. L.; BRAGA, W. L. M. O impacto do sequenciamento da produção nos indicadores de produtividade e qualidade. *NOVAE - ISSN: 2357-7797, São Paulo, Vol. 4, N°2, JUL-DEZ, 2016*
- GODOI, W. da C. Método De Construção Das Matrizes De Julgamento Paritários No Ahp – Método Do Julgamento Holístico. *Revista Gestão Industrial*, v. 10, n. 3, p. 474–493, 2014.

GOMES, Kessia. G. A. Um método multicritério para localização de unidades celulares de intendência da FAB. PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO - PUC-RIO, 2009.

GOMES, Leonardo. de C. Utilização do Overall Equipment Effectiveness (OEE) em células de manufatura considerando o takt time. *Gepros: Gestão da Produção, Operações e Sistemas*, v. 13, n. 3, p. 276, 2018.

GOMES, L. F. A. M.; ARAYA, M. C. G.; CARIGNANO, C. Tomada de decisões em cenários complexos. São Paulo, Pioneira Thomson Learning, 2004.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa Nacional por cidade: Panorama 2019. Rio de Janeiro, 2019,

IIDA, Itiro; BUARQUE, Lia. Ergonomia Projeto e Produção, Blucher 3ªed. São Paulo, 2016.

JUNIOR, M. L., LOURES, E. D. F. R., SANTOS, E. A. P., & SZEJKA, A. L. Avaliação da gestão da segurança funcional de máquinas na indústria automotiva sob a ótica da interoperabilidade. *Brazilian Journal of Development*, 6(1), 2020.

KEARNS, W. H., *Welding ProcessAWS Welding Handbook*, vol.3, 7.ed. American Welding Society, Macmillan Press Ltd, London, England, 1980

LIMA. I. T. S.; dos SANTOS. P. V. S.; da COSTA. M. A.; dos SANTOS, P. B.; de FREITAS. T. R.; da SILVA, P. V.; LIMA. M. M. Automação como processo do aumento da produtividade, *Revista de Trabalhos Acadêmicos - Universo Recife*, Vol. 4, Nº 2, 2017

LOOTSMA F. A. A multiplicative variant of the analythic hierarchy process. Report of the faculty of technical mathematics and informatics, Delft University of Technology, 1990.

MAGALHÃES, R. F.; RANGEL, L. A. D.; SILVA, C. A. . Utilização do Apoio Multicritério à Decisão para Avaliação de Órgãos de Fomento Pesquisa. *Simpósio de Excelência de Gestão e tecnologia XIV SEGeT*, p. 16, 2017.

MORGADO, S. M. A.; SOUSA, M. Avaliação da viabilidade económica da energia solar fotovoltaica: Estudo de caso da política de segurança pública. *Revista da UIIPS - Unidade de Investigação do Instituto Politécnico de Santarém*, Vol. 7 Nº 2, ISSN: 2182-9608, Santarém - Portugal, 2019

OHNO, T. O Sistema Toyota de Produção - Além da produção em larga escala. Bookman, Porto Alegre - RS, 1996

RANGEL, L. A. D.; BRANDALISE, N. Métodos do auxílio multicritério à decisão que empregam a utilidade aditiva. *XIII SIMPEP*, Bauru, 2006

SAATY, T. L. *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill, 1980

SAATY, T. L. *Axiomatic Foundation of the Analytic Hierarchy Process Management Science*, 1986.

SENACON - Secretaria Nacional do Consumidor. *Boletim Recall 2016*. Brasília, 2017
SHINGO, S, *O Sistema Toyota de Produção do Ponto de Vista da Engenharia de Produção*. Bookman, Porto Alegre, 1996.

SILVA, D. M. R. E. *Aplicação do Método AHP para Avaliação de Projetos Industriais*. Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de mestre em Engenharia Industrial, Pontífice Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC RJ, Rio de Janeiro, 2007.

SIQUEIRA, S. S. S. de; COSTA, K. A.; ASSUMPÇÃO. A. R. P. *KAIZEN aplicação da ferramenta no setor de solda automotiva*. *Brazilian Journal of Development*, 2019.

SOUSA, B. C. DA S.; RANGEL, L. A. D.; HERNÁNDEZ, C. T. *Priorização de projetos de melhoria de produtividade através do método multicritério PROMÉTHÉE II*. *Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento*, v. 10, n. 1, p. 27–40, 2018.

UNICAMP. *Manual sobre ergonomia*. 1. ed. Campinas, 2001.

VALE, C. P. do; PUDO, P. B. *O mercado automobilístico no cenário econômico brasileiro*. *Interfaces*, v. 4, n. 3, p. 69–72, 2012.

VANALLE, R. M.; SALLES, J. A. A. *Relationship between assemblers and suppliers: Theoretical models and case studies in the brazilian auto industry*. *Gestao e Producao*, v. 18, n. 2, p. 237–250, 2011.

VIDAL, M. C. R; *A Interdisciplinaridade da Ergonomia*. *Revista Ação Ergonomica* v. 1, p. 6, 2001.

WATSON, S. R.; FREELING, A. N. S. *Assessing attribute weights by ratios*. *Omega* v.10, n.6, 1982