

“As (novas) perspectivas da segurança pública a partir da utilização da Engenharia de Produção.”
Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil – 25 a 27 de Maio de 2022.

Seleção de Medidor de Estresse Térmico a partir dos Métodos Multicritério AHP e AHP Gaussiano

Daniel Augusto de Moura Pereira (UFCG) danielmoura@ufcg.edu.br
Antonio Carlos da Silva Vaz (UFMG) a.carlosvaz1@gmail.com
Marcos dos Santos (IME) marcosdossantos_doutorado_uff@yahoo.com.br
David de Oliveira Costa (UFF) dcosta.doc@gmail.com

Resumo

A escolha de um equipamento ideal para mensuração da carga térmica, para fins de constatação de insalubridade pelo agente calor, pode ser um trabalho cognitivamente difícil, em virtude da quantidade de modelos disponíveis no mercado e das diferentes características de cada modelo. Neste sentido, trabalho trata da seleção de medidor de estresse térmico em uma empresa prestadora de serviço na área de Higiene e Segurança do Trabalho. Para tanto, foram realizados 6 passos como procedimento metodológico, a saber: identificação do problema, classificação dos equipamentos, definição das características mínimas dos equipamentos, pesquisa em base de dados secundárias, Apoio Multicritério à Decisão e seleção do equipamento. Os resultados dos dois métodos multicritério indicaram, de maneira consensual, qual o melhor e o pior modelo para a compra. De maneira alternativa, ainda realizou-se uma destilação nos métodos multicritérios, caso a empresa optasse pela não seleção do modelo indicado inicialmente. Desta feita, após a destilação, foi indicado, de maneira consensual pelos dois métodos multicritérios utilizados, um novo modelo de medidor de estresse térmico a ser adquirido.

Palavras-Chaves: Medidor de Estresse Térmico; Apoio Multicritério à decisão; AHP; AHP-Gaussiano

1. INTRODUÇÃO

O art. 7º, XXIII da Constituição Federal do Brasil, garantiu expressamente ao trabalhador, que exerce suas atividades no Brasil, a percepção de um adicional em sua remuneração como

forma de indenização por prestar atividades insalubres. Entende-se por insalubridade o dano, de maneira mediata, causado por agentes físicos, químicos e biológicos, a saúde do trabalhador enquanto realiza determinada atividade de trabalho.

As atividades e operações insalubres encontram-se indicadas na Norma Regulamentadora (NR) 15, da Portaria nº 3.214/1978, do Ministério do Trabalho e Emprego, a qual descreve os agentes químicos, físicos e biológicos prejudiciais à saúde do empregado, bem como os respectivos limites de tolerância.

Para constatação do adicional de insalubridade, existem diversos equipamentos de medição que auxiliam nesta tarefa. No caso da constatação da insalubridade pelo agente calor, pertencente ao grupo dos riscos físicos, o equipamento regulamentado pela NR-15, em seu Anexo 3, é o medidor de estresse térmico.

Existem vários tipos de medidores de estresse térmico no mercado. A escolha pelo modelo mais viável, do ponto de vista financeiro, nem sempre se traduz na melhor, uma vez que aquele modelo pode não atender às especificações solicitadas na NR supracitada. De outra banda, a opção pelo modelo mais caro não significa, necessariamente, a melhor escolha. Diante disso, o processo de escolha do modelo de medidor de estresse térmico passa a ser elementar para o sucesso técnico e econômico na constatação de uma atividade insalubre pelo agente calor.

Neste sentido, o processo de seleção do medidor de estresse térmico, pode ser realizado a partir de ferramentas de Apoio Multicritério à Decisão (AMD), com o intuito de auxiliar o grupo de decisores a realizarem a sugestão dos melhores modelos baseados em critérios meramente técnicos.

Portanto, o objetivo deste trabalho é selecionar o melhor medidor de estresse térmico, com auxílio dos Métodos Multicritério *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e AHP-Gaussiano, para uma empresa prestadora de serviços na área de Saúde e Segurança do Trabalho.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

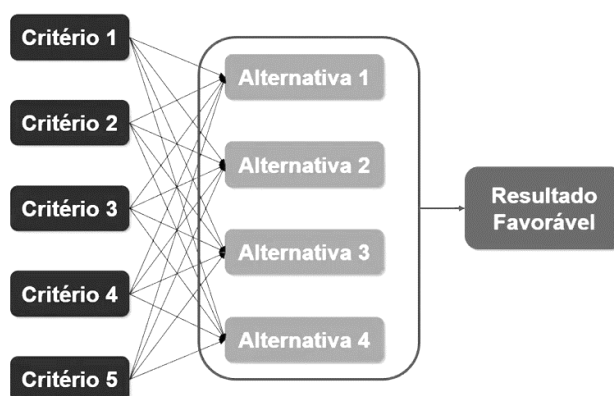
2.1 Método AHP clássico

Koloseni *et al.* (2020) descrevem que o método AHP, proposto pelo professor Thomas Saaty (1980), tem diversas aplicabilidades, entre elas estão: estudo de destinação de recursos, processo de escolha de fornecedores, decisões gerenciais estratégicas entre outras áreas.

Calabrese *et al.* (2019) define que o Método *AHP*, possui quatro eixos elementares em sua estrutura (figura 1):

- i. Critérios e alternativas (número finito de alternativas, comparado em função de um número finito de critérios); Santos (2021) entende que, existe uma limitação no número de critérios (15).
- ii. Comparação paritária (um critério pode ser preferível ou indiferente a outro critério);
- iii. Escala Fundamental – Escala de Saaty (cada elemento é medido conforme prioridade sobre outros elementos, baseados numa escala numérica);
- iv. Hierarquia (fundamento básico do método. Os critérios são ordenados em níveis hierárquicos).

Figura 1 - Estrutura analítica multicritério



Fonte: Moreira (2021)

Missaglia *et al.* (2020) ressaltam que, é fundamental entender a real situação ou o real problema e, apenas após esse alinhamento seja modelada matematicamente tal situação. Agora, para isso passa por fazer uma análise detalhada processo/cenário em questão e extrair as possíveis variáveis/critérios. Sem que haja entendimento desse princípio elementar, é impossível atribuir os fatores, critérios e os respectivos pesos desse sistema.

Gomes *et al.* (2020) afirmam que a tomada de decisão baseada em análises estruturadas hierarquicamente, demonstram coerência a cada etapa de validação, em seus critérios e níveis, que ao final apontam para alternativa adequada à situação, a depender do objetivo.

Afim de aplicar os conceitos em análise multicritério, é necessário respeitar algumas etapas:

- i. Identificar decisores;

Etapa 2: Cálculo do autovetor

$$W_i = \left(\prod_{j=1}^n w_{ij} \right)^{\frac{1}{n}}$$

Etapa 3: Cálculo da normalização dos autovetores

$$T = \frac{w_1}{\sum w_i}; \frac{w_2}{\sum w_i}; \frac{w_3}{\sum w_i}$$

Etapa 4: Índice que relaciona os critérios da matriz de consistência

$$\lambda_{\text{máx}} = T * W$$

Etapa 5: índice de consistência (IC)

$$IC = \frac{\lambda_{\text{máx}} - n}{(n - 1)}$$

Etapa 6: Razão de consistência (RC). Para cálculo, considerar o índice randômico (tabela 2).

$$RC = \frac{IC}{CA}$$

Tabela 2 - Índice de randômico para n (CA)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Fonte: Adaptado Gomes *et al.* (2004)

2.2 Método AHP-GAUSSIANO

Gomes *et al.* (2004) aponta para existência de versões do AHP clássico, sendo eles: o Método AHP Multiplicativo (Lootsma, 1990), o Método AHP Referenciado (Watson e Freeling, 1982) e o Método AHP B-G (Belton e Gear, 1985). Neste mesmo entendimento, surge o Método AHP-Gaussiano (Santos, Costa e Gomes, 2021), que aumenta essa relação dos Métodos de Análise Multicritério de (AMD).

Para Santos *et al.* (2021), o Método AHP-Gaussiano, apresenta uma nova perspectiva que é baseada em análise da sensibilidade que é gerado em função do **fator gaussiano**. Com

isso, consegue-se gerar pesos dos critérios mediante às entradas quantitativas, das alternativas de cada critério observado. A estrutura algébrica proposta, segue o mesmo princípio lógico do Método AHP Clássico, proposto por Saaty (1980). O diferencial deste método está na inserção dos conceitos de média e de desvio padrão. Outro aspecto que difere do método clássico é que não se aplica o conceito da escala fundamental de Saaty.

Moreira (2021) entende que o AHP-Gaussiano, apresenta características de métodos compensatórios, de maneira que os atributos, inseridos na matriz de decisão, são independentes e, os atributos qualitativos são transformados numa base numérica. Ressalta-se que, a viabilidade do modelo apenas será satisfeita em que as alternativas possuam entradas cardinais em seus critérios.

Logo, as etapas para aplicação do Método AHP – Gaussiano são:

- Determinar a matriz de decisão (definir se os critérios são: monotônico de benefício ou de custo);
- Calcular a média das alternativas em cada critério;
- Calcular o desvio padrão dos critérios, com base nas amostras das alternativas;
- Calcular o fator gaussiano para cada critério (em seguida normalizar a matriz);
- Ponderação da matriz de decisão (o produto entre cada critério e o fator normalizado);
- Normalização dos resultados;
- Obtenção do *ranking*.

Conforme os itens 2, 3 e 4, nas etapas do método, deve-se considerar as equações a seguir:

i. Média aritmética

$$\underline{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

ii. Desvio padrão

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \underline{x})^2}{n - 1}}$$

iii. Fator gaussiano

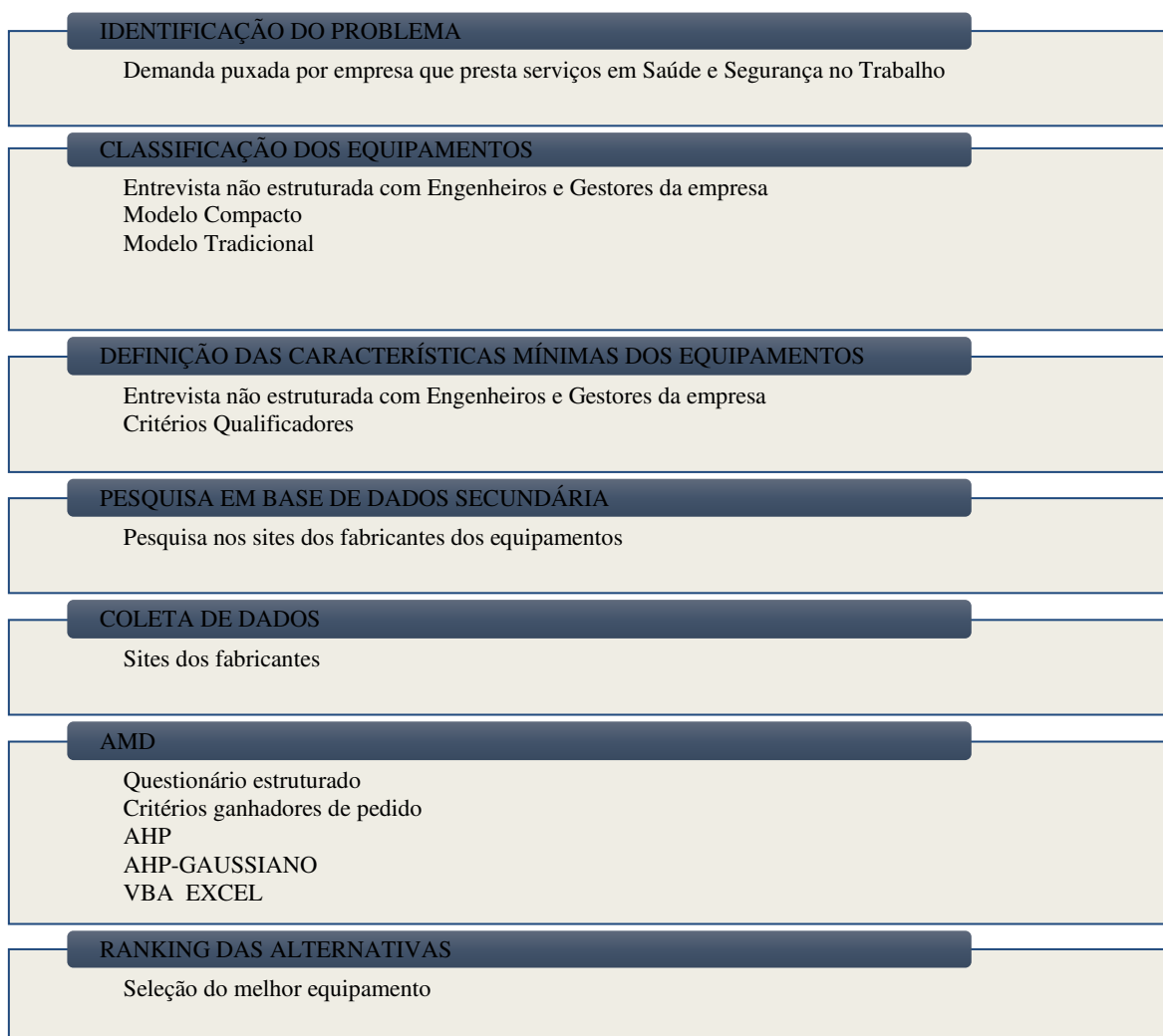
$$f_{\text{gaussiano}} = \frac{\sigma}{\underline{x}}$$

Neste método o papel do decisor será elencar os critérios e as alternativas, não sendo necessário a etapa de pontuar, baseado na escala fundamental de Saaty. Isso torna o método mais robusto, pois minimiza situações tendenciosas no processo decisório, caso existam.

3. METODOLOGIA

O artigo em tela trata-se de um trabalho exploratório e quantitativo. O sumário metodológico da pesquisa pode ser visualizado na Figura 2.

Figura 2 - Sumário da metodologia utilizada



Fonte: Autores (2021)

A primeira etapa da metodologia constou da identificação do problema. Neste caso, o problema foi puxado por uma empresa prestadora de serviços na área de Saúde e Segurança do

Trabalho que desejava saber, para fins de compra, qual o melhor medidor de estresse térmico para analisar insalubridade pelo agente calor.

Na segunda etapa, realizou-se uma entrevista não estruturada com os Engenheiros e Gestores da organização em estudo e foi gerada uma classificação para os tipos de medidores de estresse térmico, a saber: modelo tradicional e o modelo compacto. O modelo tradicional, aquele que atende a Norma Regulamentadora 15, e o modelo compacto, aquele utilizado para medições de calor pontuais (*vide* Figura 3). O primeiro recorte feito foi a opção de comprar o modelo que atende a legislação para medição de insalubridade pelo agente calor, portanto, o modelo tradicional.

Figura 3 - Medidores de estresse térmico compacto e tradicional



Fonte: Fabricantes (2021)

A terceira etapa constou da definição das características mínimas dos que os medidores de estresse térmico deveriam ter, ou seja, os critérios qualificadores. Isto se deu porque no mercado há mais de 15 tipos de medidores de estresse térmico, com características e tamanhos distintos. Foram definidos os critérios qualificadores que os equipamentos deveriam ter, a saber: display de cristal líquido, escala variando minimamente entre 10 °C 100 °C *datalogger*, resolução de 0,1°C, precisão mínima de 0,5 °C, bateria com duração mínima de 4 horas, temperatura de operação, minimamente, entre 10 °C e 60 °C e interface, através de *software*, com computador. Feito isto, restaram 6 modelos que tinham minimamente aquelas características.

A quarta etapa foi a busca, numa base secundária de dados, dos *sites* dos fabricantes dos medidores de estresse térmico pré-selecionados para a modelagem. Em seguida, foi realizada a coleta das informações técnicas de todos os 6 aparelhos em questão.

A sexta etapa de metodologia iniciou-se com um questionário estruturado sobre quais características eram as mais importantes de serem consideradas para a compra de um medidor de estresse térmico. O questionário foi enviado para os Engenheiros e Gestores da organização em estudo e o *feedback* com os critérios ganhadores de pedido foi: resolução do aparelho, precisão do aparelho, autonomia da bateria, capacidade de armazenamento da memória, massa do equipamento e o custo.

A seguir foi utilizado o VBA em Excel, desenvolvido por Baldini *et al* (2021), para modelagem e processamento dos dados obtidos, para rodar o AHP e AHP-Gaussiano. O *output* gerado desta modelagem foi o *ranking*, por ordem de importância, das alternativas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a modelagem dos métodos AHP e AHP-Gaussiano, foram considerados 6 alternativas, do tipo tradicional, de medidores de estresse térmico. De maneira análoga, consideraram-se também 6 critérios para a mesma modelagem, a saber: resolução do aparelho, precisão do aparelho, autonomia da bateria, armazenamento em memória, peso e custo.

A Figura 4 ilustra a base de dados para a modelagem dos métodos AHP e AHP-Gaussiano.

Figura 4 - Matriz de decisão AHP-Gaussiano

AHP - GAUSSIANO

Número de Alternativas	6
Número de Critérios	6

Limpar Tudo

GERAR BASE AHP-Gaussiano

GERAR BASE AHP-Gaussiano + AHP

PROCESSAR AHP-Gaussiano

PROCESSAR AHP-Gaussiano + AHP

Tipo	MIN	MIN	MAX	MAX	MIN	MIN
	Resolução (oC)	Precisão (oC)	Bateria (h)	Memória (n)	Peso (g)	Custo (\$)
TGD - 400	0,1	0,5	4	65000	640	6399
All-in-One	0,1	0,5	48	60	350	5900
ITEMP	0,1	0,25	30	80	300	4390
TGM 200	0,1	0,1	8	30	500	4200
ITEG 500	0,1	0,1	40	300000	250	4000
Protemp 3	0,1	0,5	10	120	600	2890

Fonte: Autores (2021)

Para os critérios Resolução, Precisão, Massa e Custo, classificam-se em critérios monotônicos de custo. Ou seja, quanto menor o valor, melhor classificação. Logo, devem ser minimizados. Por outro lado, no caso de autonomia de bateria e capacidade de armazenamento

da memória, esses critérios serão classificados como monotônico de benefício. Onde, quanto maior for o valor atribuído, melhor classificação terá. Logo, devem ser maximizados.

A Figura 5 mostra o *output* do modelo AHP-Gaussiano. Dela é possível verificar os critérios, já com suas normalizações, as medidas de variabilidade, Fator Gaussiano do grupo amostral e o Rank de ordenamento das alternativas. Pode-se perceber que a melhor alternativa é o modelo ITEG 500, seguido do TGD-400, All-in-One, TGM 200, ITEMP e, por último, o Protemp 3.

Figura 5 - Matriz de decisão normalizada e o resultado do AHP-Gaussiano

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	AHP-G	RANK
A1	0,166667	0,066667	0,028571	0,177941	0,101332	0,112616	0,117664	2
A2	0,166667	0,066667	0,342857	0,000164	0,185292	0,122141	0,102135	3
A3	0,166667	0,133333	0,214286	0,000219	0,216174	0,164153	0,096188	5
A4	0,166667	0,333333	0,057143	8,21E-05	0,129705	0,171579	0,096635	4
A5	0,166667	0,333333	0,285714	0,821265	0,259409	0,180158	0,534289	1
A6	0,166667	0,066667	0,071429	0,000329	0,108087	0,249353	0,053089	6
Média	0,166667	0,166667	0,166667	0,166667	0,166667	0,166667		
Desvio Padrão	0	0,131656	0,132378	0,328473	0,063977	0,048895		
Fator Gaussiano	0	0,789937	0,794265	1,970839	0,383864	0,293369		
Fator G. Norma.	0	0,186646	0,187669	0,465669	0,090699	0,069317		

Fonte: Autores (2021)

A Figura 6, mostra o *output* do método AHP e faz a comparação do seu *ranking* de alternativas com o do método AHP-Gaussiano. É possível perceber que, assim como aconteceu com o método AHP-Gaussiano, a melhor alternativa é o modelo ITEG-500 e a pior alternativa é o Protemp 3. A segunda melhor alternativa é o TGM200, seguido do TGD-400 e do All-in-One.

Figura 6 - Análise comparativa entre os Métodos AHP e AHP-Gaussiano

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	AHP-G	RANK	AHP	RANK
A1	0,167	0,067	0,029	0,178	0,101	0,113	0,118	2,000	0,124	3,000
A2	0,167	0,067	0,343	0,000	0,185	0,122	0,102	3,000	0,063	5,000
A3	0,167	0,133	0,214	0,000	0,216	0,164	0,096	5,000	0,078	4,000
A4	0,167	0,333	0,057	0,000	0,130	0,172	0,097	4,000	0,127	2,000
A5	0,167	0,333	0,286	0,821	0,259	0,180	0,534	1,000	0,553	1,000
A6	0,167	0,067	0,071	0,000	0,108	0,249	0,053	6,000	0,056	6,000

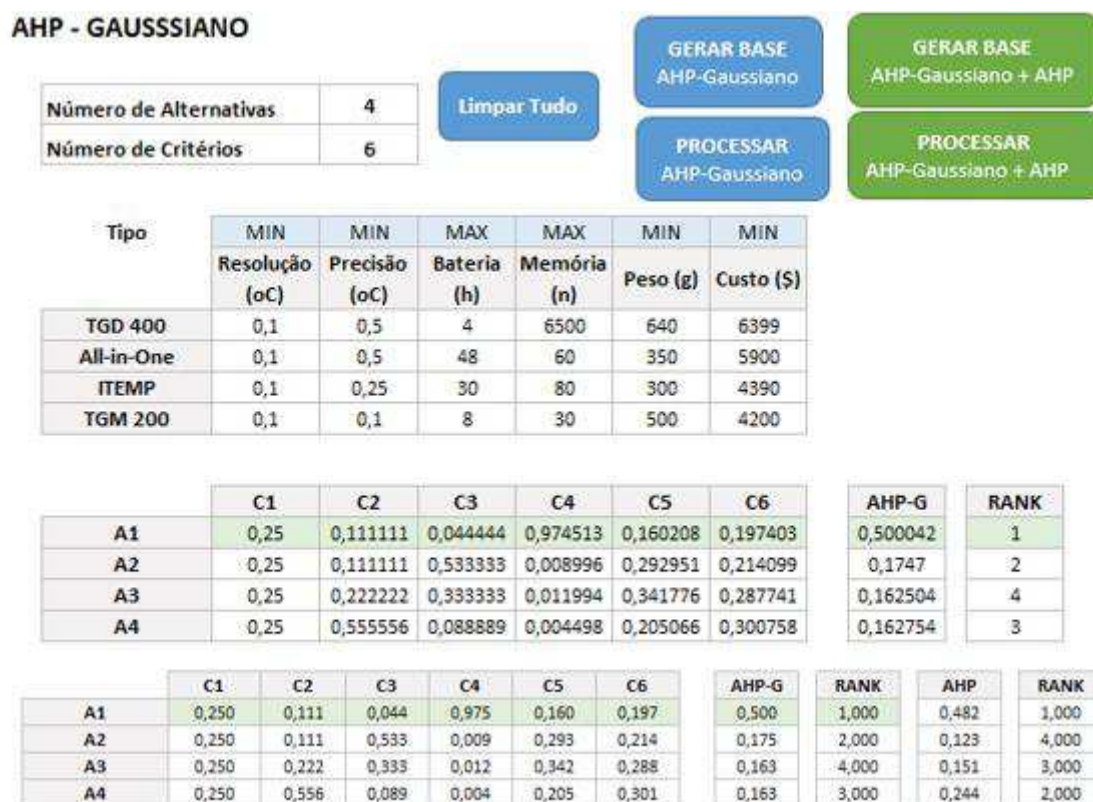
Fonte: Autores (2021)

Fácil perceber que, após a modelagem nos dois métodos, duas inferências são cristalinas: a melhor alternativa de compra de medidor de estresse térmico é o modelo ITEG-

500. Por outro lado, a pior alternativa de compra é o modelo Protemp 3. E, assim sendo, inicialmente, o decisor já sabe a decisão a ser tomada (a alternativa viável e a alternativa que não se deve ser selecionada).

No entanto, a falta de consenso entre o *ranking* de segundo, terceiro, quarto e quinto colocados, apresentados pelos dois métodos, abre espaço para, caso o decisor não aceite a opção de melhor compra, seja por *n* fatores, (ex.: por uma política de custos da empresa, ou de não comprar de marcas pouco consolidadas no mercado) fazer uma destilação do modelo, ou seja, retirar o que é de consenso, neste caso a melhor alternativa (ITEG 500) e a pior alternativa (Protemp 3) e realizar nova modelagem com os modelos restantes. A Figura 7 mostra a nova modelagem após o processo de destilação.

Figura 7 - Modelagem AHP e AHP-Gaussiano pós-processo de destilação



Fonte: Autores (2021)

Da Figura 7, pode-se inferir que após o processo de destilação, a melhor opção passar a ser, nos dois métodos, o medidor de estresse térmico TGD 400.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho versou sobre a seleção de medidores de estresse térmico, a partir da utilização dos métodos multicritérios AHP e AHP-Gaussiano, para uma empresa de Saúde e Segurança no Trabalho. Após o processamento foram pré-selecionados 6 equipamentos para a modelagem e processamento no AHP e AHP-Gaussiano. Os resultados dos dois métodos indicaram, de maneira consensual, qual o melhor e o pior modelo para a compra.

Vale ressaltar que tão importante quanto saber o que comprar, é saber o que não comprar também. Neste sentido, o modelo ITEG-500 foi tido como a melhor opção de compra. Por sua vez, o modelo Protemp 3 foi a pior alternativa de compra.

Alternativamente, foi realizada uma destilação da modelagem inicial proposta, retirando a melhor e a pior opção de compra. Essa simulação foi realizada imaginando a hipótese do decisor da empresa, objeto de estudo resolver, por n fatores, não seguir o primeiro resultado obtido. Importante destacar que não houve consensualidade do *ranking* entre segundo e quinto lugar, nos dois *ouptus* dos métodos multicritérios utilizados.

Feita a destilação e processada a nova modelagem, os dois métodos indicaram o modelo TGD-400 como sendo a alternativa de compra.

O resultado deste trabalho, ressalta a importância da utilização de Métodos Multicritérios robustos para tomada de decisão dentro da área de Engenharia de Segurança do Trabalho. Destaca-se ainda que os métodos de decisão utilizados não são excludentes, mas sim, complementares, a todos os outros já utilizados (e consolidados) na área de trabalho objeto de estudo.

REFERÊNCIAS

Armando Calabrese, Roberta Costa, Nathan Levialdi, Tamara Menichini, Integrating sustainability into strategic decision-making: A fuzzy AHP method for the selection of relevant sustainability issues, *Technological Forecasting and Social Change*, Volume 139, 2019, Pages 155-168, ISSN 0040-1625, <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.11.005>.

BALDINI, Fabio; SANTOS, Marcos.; COELHO, Leandro dos Santos; MARIANI, Viviana Cocco. AHP-GAUSSIANO em VBA (v.1) 2021.

Cathy Macharis, Johan Springael, Klaas De Brucker, Alain Verbeke, PROMETHEE and AHP: The design of operational synergies in multicriteria analysis.: Strengthening PROMETHEE with ideas of AHP, *European*

Journal of Operational Research, Volume 153, Issue 2, 2004, Pages 307-317, ISSN 0377-2217,
[https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00153-X](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00153-X).

COSTA, David de Oliveira; SANTOS, MARCOS DOS; PEREIRA, Daniel Augusto de Moura. O Processo de Compras de Insumos numa Indústria na Perspectiva do Método Analytic Hierarchy Process (AHP). *Anais do IX Simpósio de Engenharia de Produção - SIMEP 2021*.

Gomes, Luiz Flavio Autran Monteiro Tomada de decisões em cenários complexos : introdução aos métodos discretos do apoio multicritério à decisão / Luiz Flavio Autran Monteiro Gomes, Marcela Cecilia González Araya, Claudia Carignano ; tradutora técnica Marcela Cecilia González Araya. - São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.

Koloseni, D .; Helldin, T .; Torra, V. AHP-Like Matrices and Structures—Absolute and Relative Preferences. *Mathematics* 2020, 8, 813. <https://doi.org/10.3390/math8050813>.

Dos Santos, Marcos & Costa, Igor & Gomes, Carlos Francisco. (2021). *Multicriteria Decision Making in the Selection of Warships: a New Approach to the AHP Method*. International Journal of the Analytic Hierarchy Process. 13. 10.13033/ijahp.v13i1.833.

Missaggia, André; Caetano, Nattan; Silva, Deoclécio; Ruppelt, Marcos; *Tomada de decisão multicritério aplicada a biocombustíveis*; Exacta – Engenharia de Produção (2020),
<https://doi.org/10.5585/exactaep.v18n4.14265>.

Santos, Marcos. Notas de aula – *Tomada de Decisão com o Método AHP-Gaussiano*, (2021).

Moreira, Miguel Ângelo Lellis. Notas de aula – *Método de Tomada de Decisão Multicritério*, (2021).