Área: Sustentabilidade | **Tema:** Produção Sustentável

FRAMEWORK SOBRE O PENSAMENTO CRÍTICO ENTRE TEORIA E PRÁTICA DE INDICADORES AMBIENTAIS

CRITICAL THINKING FRAMEWORK BETWEEN THEORY AND PRACTICE OF ENVIRONMENTAL INDICATORS

Wagner Pietrobelli Bueno, Bruna Dones Gayer, Eduardo Da Silva Fernandes, Érico Marcon e Guilherme Brittes Benitez

RESUMO

O objetivo do trabalho é propor um framework de indicadores em produção mais limpa (PmaisL) e práticas de gestão ambiental (PGA) por meio de métodos matemáticos multicriterais. Estes métodos auxiliam na tomada de decisões complexas quando o ambiente não é favorecido por muitas informações. Para tanto, a metodologia é composta por meio da utilização das técnicas multicriteriais Fuzzy-Analytic Hierarchy Process (FAHP) para realização dos cálculos sobre os respondentes e Fuzzy Sets para construção de cenários e simulação. Para a coleta de dados foram investigados 20 gestores de distintos setores industriais no qual utilizavam algumas práticas ambientais nas organizações, além de três especialistas com conhecimentos teóricos sobre compreensão e implementação de processos sustentáveis nas indústrias. O questionário foi aplicado de acordo com o artigo de Tseng, Lin e Chiu (2009) utilizando os mesmos critérios e subcritérios. Resultados apresentados enaltecem a relevância de indicadores com fatores organizacionais, treinamento e pessoas e, sistemas e tecnologias. Mesmo assim, os gestores respondentes ainda consideraram a aplicabilidade das técnicas de PmaisL complexas no sistema industrial, por fatores como necessidades em quebra de cultura organizacional, infraestrutura e custos altos.

Palavras-Chave: produção mais limpa, sustentabilidade, indicadores ambientais, pensamento crítico

ABSTRACT

The objective of this article is to propose a framework of indicators for cleaner production and practices of environmental management through multicriteria mathematical methods. Since, these methods help making complex decisions when the environment does not present information. In this sense the methodology is composed of multicriteria techniques of Fuzzy-Analytic Hierarchy Process (FAHP) in order to calculate the respondents' information and Fuzzy Sets to build scenarios and simulation. For data collection, 20 managers of different industrial sectors that apply some environmental practices in the organizations were investigated, as well as three specialists on the comprehension and implementation of sustainable processes in industries. The questionnaire was applied according to the article of Tseng, Lin and Chiu (2009) using the same criteria and subcriteria. Results present the relevance of indicators along with organizational factors, training and staff and systems and technology. However, managers still consider the applicability of cleaner production techniques as complex in the industrial system, due to factors such as organizational culture breakdown, infrastructure and high costs.

Keywords: cleaner production, sustainability, environmental indicators, critical thinking.

Eixo Temático: Produção Sustentável

FRAMEWORK SOBRE O PENSAMENTO CRÍTICO ENTRE TEORIA E PRÁTICA DE INDICADORES AMBIENTAIS

CRITICAL THINKING FRAMEWORK BETWEEN THEORY AND PRACTICE OF ENVIRONMENTAL INDICATORS

RESUMO

O objetivo do trabalho é propor um *framework* de indicadores em produção mais limpa (PmaisL) e práticas de gestão ambiental (PGA) por meio de métodos matemáticos multicriterais. Estes métodos auxiliam na tomada de decisões complexas quando o ambiente não é favorecido por muitas informações. Para tanto, a metodologia é composta por meio da utilização das técnicas multicriteriais *Fuzzy-Analytic Hierarchy Process* (*FAHP*) para realização dos cálculos sobre os respondentes e *Fuzzy Sets* para construção de cenários e simulação. Para a coleta de dados foram investigados 20 gestores de distintos setores industriais no qual utilizavam algumas práticas ambientais nas organizações, além de três especialistas com conhecimentos teóricos sobre compreensão e implementação de processos sustentáveis nas indústrias. O questionário foi aplicado de acordo com o artigo de Tseng, Lin e Chiu (2009) utilizando os mesmos critérios e subcritérios. Resultados apresentados enaltecem a relevância de indicadores com fatores organizacionais, treinamento e pessoas e, sistemas e tecnologias. Mesmo assim, os gestores respondentes ainda consideraram a aplicabilidade das técnicas de PmaisL complexas no sistema industrial, por fatores como necessidades em quebra de cultura organizacional, infraestrutura e custos altos.

Palavras-chave: produção mais limpa, sustentabilidade, indicadores ambientais, pensamento crítico.

ABSTRACT

The objective of this article is to propose a framework of indicators for cleaner production and practices of environmental management through multicriteria mathematical methods. Since, these methods help making complex decisions when the environment does not present information. In this sense the methodology is composed of multicriteria techniques of Fuzzy-Analytic Hierarchy Process (FAHP) in order to calculate the respondents' information and Fuzzy Sets to build scenarios and simulation. For data collection, 20 managers of different industrial sectors that apply some environmental practices in the organizations were investigated, as well as three specialists on the comprehension and implementation of sustainable processes in industries. The questionnaire was applied according to the article of Tseng, Lin and Chiu (2009) using the same criteria and subcriteria. Results present the relevance of indicators along with organizational factors, training and staff and systems and technology. However, managers still consider the applicability of cleaner production techniques as complex in the industrial system, due to factors such as organizational culture breakdown, infrastructure and high costs.

Keywords: cleaner production, sustainability, environmental indicators, critical thinking.

1 INTRODUÇÃO

A interação entre produção limpa e consumos ambientalmente sustentáveis é um campo fértil de pesquisa que tem avançado constantemente no meio empresarial. Ser sustentável economicamente por meio de uma produção mais limpa é um conceito que muitos gestores buscam para suas organizações atualmente (MANZINI; VEZZOLI, 2011; YONG et al., 2016). Assim, considerar a matéria prima como desenvolvimento sustentável deixou de ser um viés único nos sistemas produtivos. Muitas organizações caminham para combinações no qual, práticas de serviços sustentáveis, ou seja, as sistemáticas dos processos são tão significativas quanto ao produto em transformação (SILVESTRE; SILVA NETO, 2014; VAN HOOF; LYON, 2013; YONG et al., 2016).

Nesse contexto, a intensificação da industrialização global e a magnitude com que a população consome matéria-prima, faz com que especialistas relacionados a teorias e práticas sustentáveis reflitam a respeito de melhorias em um ambiente onde há uma forte demanda em produtos e serviços com fatores ambientais e sociais propensos a serem mais rentáveis de maneira econômica (TSENG; LIN; CHIU, 2009).

É nesse sentido, que métodos relacionados à produção mais limpa (PmaisL) e práticas de gestão ambiental (PGA), são considerados eficientes para redução e eficiência dos processos, especificamente na geração de resíduos industriais. Os termos PmaisL e PGA contribuem significativamente para inovações sustentáveis de processos, produtos e serviços, correspondente a usos de recursos naturais e minimização de resíduos gerados (GUIMARÃES; SEVERO; VASCONCELOS, 2017).

Compreende-se que, há muitos trabalhos relacionados à PmaisL e PGA na literatura com distintas abordagens e técnicas consolidadas. Sendo assim, a principal contribuição científica deste artigo tem como base a replicação e melhoria do método utilizado pelos autores Tseng, Lin e Chiu (2009) intitulado "*fuzzy ahp-based of cleaner production implementation in Taiwan PWB manufacturer"* que utilizou critérios para avaliar a tomada de decisão de PmaisL no setor manufatureiro como um estudo de caso. As questões que motivaram a realizar este artigo provêm da interpretação identificar a percepção de especialistas (teóricos e práticos) quanto aos critérios e conceitos de prioridade em produção mais limpa no caráter industrial.

Outra questão que será avaliada no artigo é o modelo que melhor define a construção destes conceitos na produção mais limpa. É nesse sentido, que o objetivo do artigo, em suma, é propor um *framework* de PmaisL e PGA aos gestores por meio de metodologias multicriteriais.

Partindo disso, o presente artigo possui uma metodologia baseada em cálculos multicriteriais *Fuzzy-Analytic Hierarchy Process* (*FAHP*) com o propósito de sugerir 3 modelos com critérios sustentáveis para produção mais limpa. Avaliar obtendo assim, modelo A, modelo, B e modelo C. Para identificar a melhor alternativa entre os modelos, foi aplicado o método de *Fuzzy Sets*. Com o auxílio desse método, pode-se obter o modelo por meio de simulações e comparações de cenários, definindo então o modelo que resultaria em uma melhor tomada de decisão para aplicação de estágios em gestão ambiental condizente com as respostas de especialistas teóricos e com *know-how* utilizando as técnicas ambientais de modo prático.

Desse modo, a projeção dos resultados esperados é fazer com que os modelos encontrados sejam praticáveis, resultando em indicadores capazes de ajudar as equipes e responsáveis na construção e desenvolvimento de produção mais limpa nas organizações. O modelo proposto final poderá oferecer de modo multicriterial as decisões que deverão ser tomadas para fornecer um padrão adequado aos gestores na implementação de PmaisL e PGA.

2 REFERENCIAL

2.1 ORGANIZAÇÕES E SUSTENTABILIDADE

As questões ambientais passaram a ser um dever e uma preocupação da sociedade, empresas e pessoas que são afetadas pelas atividades industriais no meio ambiente. No caso em especial das empresas, um dos motivos que faz com que estas adotem políticas ambientais em suas operações e estratégias é uma possível melhora de imagem para assim gerar mais oportunidades de negócios (TANNURI; BELLEN, 2014).

No entanto, fazer mudanças de hábitos em organizações em atividade é complexo, pois muitas vezes esbarra em questões culturais (BRITO; BRUNSTEIN; AMARO, 2014). Cabe à direção da empresa, propor e rever fatores que possam envolver toda a equipe e, trazer retornos à empresa e cliente com base em melhorias de gestão ambiental (MOURA, 2011).

Assim, partindo do conceito de sustentabilidade, a norma ISO 14001, que atualmente é fundamental para que as empresas brasileiras almejem o mercado internacional (POMBO e MAGRINI, 2008), define que uma organização precisa estabelecer fundamentações capazes de identificar suas atividades ambientais, quanto a processos, produtos e serviços prestados. Assim, tais aspectos contribuem para ações socioambientais, sendo que de algum modo, se tenha influência no que está sendo produzido (NASCIMENTO; TOMETICH, 2013; SVENSSON, 2015).

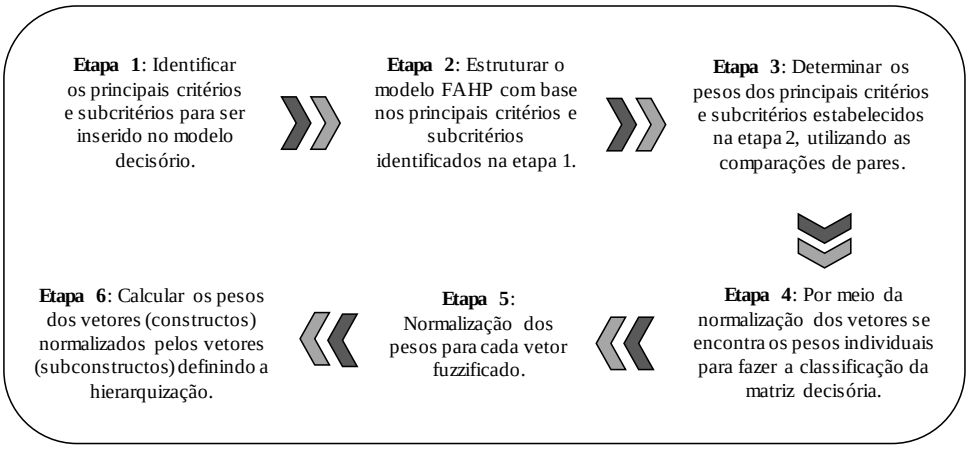
Tais adaptações de processos e produtos, incentivados pela ISO 14001, acabam sendo um diferencial importante para as organizações obterem vantagem competitiva. No entanto, o custo de implantação da ISO 14001 é elevado, sendo muitas vezes inacessível a pequenas empresas, e também requer mudanças significativas na cultura e estrutura de uma organização (POMBO e MAGRINI, 2008).

Desse modo, aspectos ambientais são compostos por diversos elementos provindos de produtos ou serviços gerados por uma organização de qualquer tamanho, que podem ser interagidos com o meio ambiente (MOURA, 2011). Dar-se então, a relevância em identificar estes critérios para avaliações de indicadores de desempenho sustentáveis, que normalmente são evidenciados nos relatórios de sustentabilidade emitidos pelas organizações para demonstrar um desempenho ambiental positivo a grupos de interesses. (TANNURI; BELLEN, 2014).

2.2 EXTENSÃO CHANG *FUZZY-ANALYTIC HIERARCHY PROCESS* (*FAHP*)

Harmonizando as teorias *FAHP* forma-se uma estrutura que propõe uma pré-qualificação e escolha de quais critérios será considerada de maior importância. Para isso, criou-se a necessidade em elaborar seis etapas que direcionam os cálculos para identificar os pesos dos critérios conforme demonstradas na Figura 1 (CHOU; YU, 2013).

Figura 1 – Estrutura para escolha de critérios



Fonte: Autores

Seguindo estas seis etapas é possível se chegar a uma padronização para processos decisórios, fornecendo soluções que reduzam as falhas na proposta de pesquisa, ante as incertezas e imprecisões não encontradas (RASHID; HUSNINE, 2014; WU et al., 2014; WANG, 2015; FALAT; MARCEK; DURISOVA, 2016; ZARE et al., 2016).

Neste viés, a finalidade dos estudos realizados pela metodologia *Analytic Hierarchy Process* (*AHP*) é a hierarquização das ações que se encontram em primeiro plano e as de segundo plano para escolha da ordem de tomada de decisão. Ressalva que, essas ações devem estar de acordo ao IC – Índice de Consistência que avalia o grau de inconsistência da matriz realizada par a par, pela Equação 1 (ZARE et al., 2016).

$$IC = \frac{|\lambda \max - N|}{N-1} \tag{1}$$

Posteriormente, a Razão de Consistência, RC é realizada, permitindo considerar a inconsistência, em função dos julgamentos realizados, por meio da Equação 2, que deve ser menor que 0,10.

$$RC = \frac{IC}{IR} \tag{2}$$

As teorias *FAHP* aperfeiçoam estruturas, que qualificam os processos decisórios para problemas ou sugestões, escolhidas através de critérios que são considerados de maior importância. Portanto, Van Laarhovem e Pedrycz (1983) sugerem que para fundamentação aplicativa de *FAHP* elaborem-se quatro etapas sequenciais.

Antes de iniciar as seis etapas propostas mencionados no parágrafo anterior são necessárias que se organize o processo de transformação de escalas. Primeiro organiza-se as escalas de *AHP* (valores ímpares) e posteriormente transformados para escala *fuzzy*, como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Escala de conversões

Escala	Avaliação-AHP	Inversa-AHP	Avaliação-*Fuzzy*	Inversa-*Fuzzy*
Extremamente preferido	1	1	(1;1;3)	(1/3;1;1)
Muito fortemente preferido	3	1/3	(1;3;5)	(1/5;1/3;1)
Fortemente preferido	5	1/5	(3;5;7)	(1/7;1/5;1/3)
Moderadamente preferido	7	1/7	(5;7;9)	(1/9;1/7;1/5)
Igualmente preferido	9	1/9	(7;9;9)	(1/9;1/9;1/7)

Fonte: SAATY e SHIH (2009); KAHRAMAN, (2008); Chang (1996).

Utilizando o método da extensão de Chang (1996) são calculadas conforme as etapas consideradas na sequência, que são:

Etapa 1: Transformação dos valores originais (*crisp*) do modelo *AHP* original em números *fuzzy* e a comparação pareada de cada critério e subcritério em uma matriz. Esta operação pode ser visualizada pela seguinte expressão matemática:

$$(M_{g1}^{j})_{n\times n} = \begin{bmatrix} M_{g1}^{1} & M_{g1}^{2} & \cdots & M_{g1}^{m} \\ M_{g2}^{1} & M_{g2}^{2} & \cdots & M_{g2}^{m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ M_{gn}^{1} & M_{gn}^{2} & \cdots & M_{gn}^{m} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} (1,1,1) & (a_{12},b_{12},c_{12}) & \cdots & (a_{1m},b_{1m},c_{1m}) \\ (a_{21},b_{21},c_{21}) & (1,1,1) & \cdots & (a_{2m},b_{2m},c_{cm}) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ (a_{n1},b_{n1},c_{n1}) & (a_{n2},b_{n2},c_{n2}) & \cdots & (1,1,1) \end{bmatrix}$$

Etapa 2: O valor da medida sintética *fuzzy* em relação ao i^{th} objeto é definida pelas Equações 3, 4, 5 e 6.

$$S_i = \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} \otimes \left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j}\right]^{-1} \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^{n} M_{ij} = \left(\sum_{j=1}^{n} l_{ij}, \sum_{j=1}^{n} m_{ij}, \sum_{j=1}^{n} u_{ij}\right), i = 1,2,3,\ldots, \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} M_{gi}^{j} = \left(\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} l_{ij}, \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} m_{ij}, \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} u_{ij}\right) \quad (5)$$

$$\left[\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} M_{ij}\right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} u_{ij}}, \frac{1}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} m_{ij}}, \frac{1}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} l_{ij}}\right) \quad (6)$$

Etapa 3: O grau de possibilidade de $M_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ é definido pela Equação 7.

$$V\ (M_2 \geq M_1) = sup_{y\geq x}\left[min\left(\mu_{M_2}(x), \mu_{M_2}(y)\right)\right] \quad (7)$$

E, pode ser equivalentemente a Equação (8):

$$V(M_2 \geq M_1) = hgt(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d) = \begin{cases} 1, se\ m_2 \geq m_1 \\ 0, se\ l_1 \geq l_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, cc \end{cases} \quad (8)$$

A formulação deste trabalho seguiu o método original de Chang (1996), portanto utilizou-se a primeira e a terceira condição da Equação (8).

Etapa 4*:* O grau de possibilidade para um número *fuzzy* convexo ser maior do que números *fuzzy* convexos $M_i (i = 1, 2, 3, \dots, k)$ pode ser definido pela Equação 9.

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = V[(M \geq M_1)] \; e \; (M \geq M_2) \; e \dots e \; (M \geq M_k) =$$

$$\min V(M \geq M_i), i = 1, 2, 3, \dots, k \tag{9}$$

A Equação (9) assume a forma da Equação (10) avaliando o mínimo das possibilidades:

$$d'^{(A_i)} = \min V(S_j \geq S_i) \tag{10}$$

Etapa 5**:** Por meio da normalização, os vetores de peso são obtidos pela Equação (11) onde W é um número não *fuzzy*.

$$W_i = \frac{w_i'}{\sum_{i=1}^{n} w_i'} \tag{11}$$

Etapa 6**:** Cálculo dos pesos globais para os subcritérios. Os pesos globais dos subcritérios são calculados pela multiplicação do peso local de cada subcritério pelo peso do critério a que pertence. Este último procedimento define a hierarquização final de todos os subcritérios por meio dos seus pesos obtidos.

2.3 Logica *Fuzzy Sets*

A teoria do *Fuzzy Sets* foi introduzida por Zadeh (1965) com a finalidade de fornecer uma ferramenta para se trabalhar com uma enorme gama de problemas onde há uma indefinição que surge principalmente a partir de uma ambiguidade intrínseca do que de uma variação estatística (DE LUCA; TERMINI, 1973).

A lógica *fuzzy* envolve valores complexos de sistema não lineares. Em relação a regra que direciona os dados para que possam variar entre os extremos 0 e 1, tornando-se uma lógica multivalorada, conforme as Equações 12 e 13. Na lógica *fuzzy* o caso de expressão correta é a Equação 13, onde se considera um conjunto *A*, em um elemento x com relação ao conjunto (KAHRAMAN, 2008; MASSA et al., 2015).

$$f(x) = \begin{cases} 1 & se, e \; somente \; se, x \in a \\ 0 & se, e \; somente \; se, x \notin a \end{cases} \tag{12}$$

$$\mu(x) = \begin{cases} 1 & se, e \; somente \; se, x \in a \\ 0 & se, e \; somente \; se, x \notin a \\ 0 \leq \mu(x) \leq 1 & se \; x \; pertence \; parcialmente \; a \end{cases}$$

Assim que, o conceito é trabalhar com maior número de informações possíveis, de bivalência ou multivalência, por meio de métodos de incertezas, sendo explicado, com expressões linguísticas.

A fuzzificação é composta por *fuzzy* triangular e trapezoidal. A proposição entre esses dois métodos de busca de resultados é o relacionamento entre as variáveis do modelo e regiões *fuzzy*. As Equações 14 e 15 representam respectivamente os dois métodos de fuzzificação. Um valor *fuzzy* triangular é composto se sua função de pertinência é de acordo com a Equação 14:

$$\varphi A(x) = \begin{cases} 0, \text{se } x \leq a \\ \dfrac{x-a}{u-a}, \text{se } a < x \leq u \\ \dfrac{x-b}{u-b}, \text{se } u \leq x < b \\ 0, \text{se } x \geq b \end{cases} \quad (14)$$

É um valor trapezoidal e dito e sua função de pertinência é apresentada conforme a Equação 15.

$$\varphi A(x) = \begin{cases} \dfrac{x-a}{b-a}, \text{se } a \leq x < b \\ 1, \text{se } b \leq x \leq c \\ \dfrac{d-x}{d-c}, \text{se } c < x \leq d \\ 0, \text{ caso contrário} \end{cases} \quad (15)$$

A equação que corresponde a defuzzificação é o centro de gravidade. Pois, este apresenta a média das áreas de todas as figuras correspondentes do conjunto *fuzzy*. Para tanto as Equações para esse domínio *fuzzy* são 16 e 17.

$$G(B) = \frac{\sum_n^{i=0} ui\varphi B(ui)}{\sum_n^{i=0} \varphi B(ui)} \quad (16)$$

$$G(B) = \frac{\int \mathbb{R}\, u\varphi B(u)du}{\int \mathbb{R}\, \varphi B(u)du} \quad (17)$$

Assim, qualquer número real, que de certa forma possa representar o conjunto *fuzzy B* (citado nas equações) pode ser considerado uma defuzzificação de *B*.

3 METODOLOGIA

Do ponto de vista de abordagem do problema, este artigo pode ser classificado como sendo qualitativo pelo modo de busca de coleta de dados e quantitativo pela utilização de cálculos matemáticos. De acordo com os objetivos e procedimentos técnicos, partindo de uma extensão do trabalho de Tseng, Lin e Chiu (2009) o artigo tem como foco um estudo de caso múltiplo holístico de modo exploratório-descritivo.

Ao total, 20 empresas participaram da coleta de dados, sendo estas dos seguintes setores: calçadista; confecções de painéis plásticos; gráficas; pré-moldados; madeireira; estruturas metálicas; materiais em pvc e laticínios. Foram entrevistados a partir de um questionário escalar, um gestor de cada empresa, com cargos de gerência ou sócios.

Também, foi aplicado o mesmo questionário de modo paritário a três especialistas na linha de pesquisa em sustentabilidade, sendo dois da UFRGS (um professor de doutorado e um aluno de mestrado) e um aluno de doutorado da UNISINOS. Estas entrevistas contêm quatro constructos chaves sendo: organização; sistemas e tecnologia; avaliação de desempenho; treinamentos e pessoas. Com base em cada um desses constructos obtêm-se subcategorias conforme descritas no artigo de Tseng; Lin e Chiu (2009). A elaboração e aplicação dos questionários foram oriundas do método *Analytic Hieranchy Process* (*AHP*). Os cálculos foram compostos pelos métodos *FAHP* e *Fuzzy Sets*.

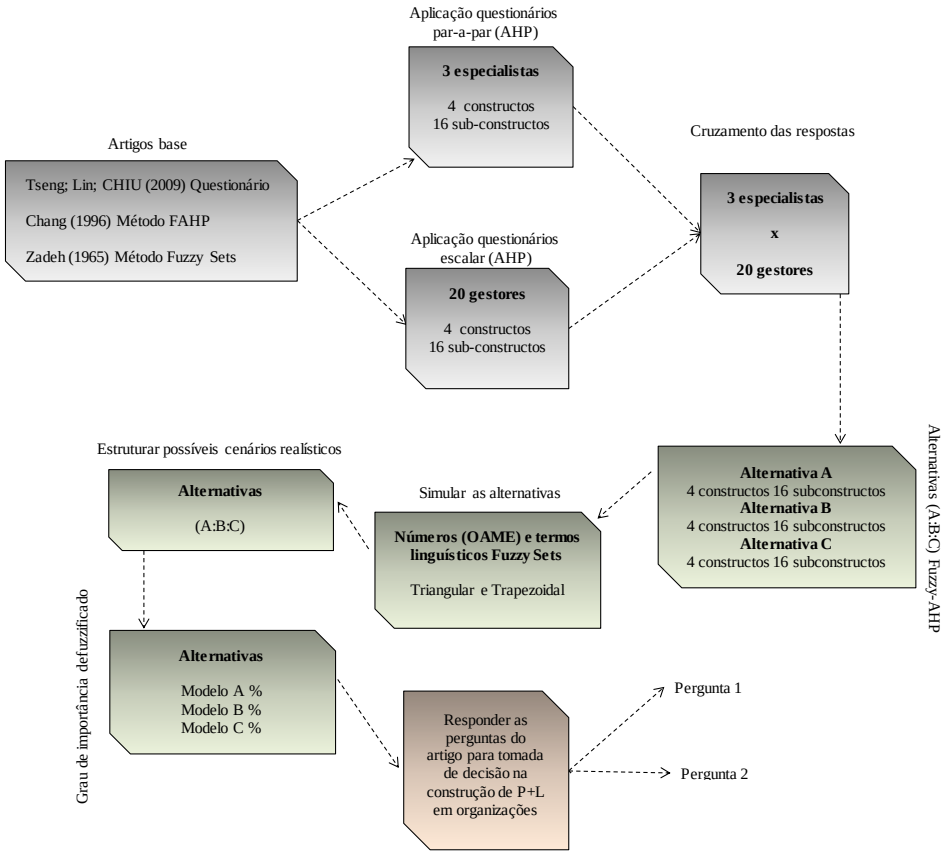
3.2 CRITÉRIOS DE SIMULAÇÃO FAHP PARA *FUZZY SETS*

A Figura 2 tem como objetivo apresentar o *framework* que deverá ser contemplado na projeção do artigo. Desse modo, mediante a aplicação dos questionários *AHP* e, simulação *Fuzzy Sets*, as siglas utilizadas foram: NAC-não atende parcialmente; NAT-não atende; APA-atende parcialmente; ATE- atende; APL- atende plenamente, para atender respectivamente as escalas da Tabela I, utilizando o software DecisorGUI.

Para simulação é importante ressaltar que, os termos linguísticos foram determinados de acordo com a perspectiva dos pesquisadores, porém, os graus de pertinência (ponderação de valores) foram adotados conforme os resultados finais das alternativas (A: B: C) do *FAHP* e, sofreram alterações que foram empregadas matematicamente de acordo com a Operação Algébrica por Multiplicação Escalar (OAME) proposta pela lógica *fuzzy sets*.

Na Figura 2 as cores em escala de cinza representam as os *inputs* realizados pelos cálculos em *Fuzzy-AHP*, em escala de verde, são realizados os cálculos em *Fuzzy Sets* e a caixa em cor laranja são os *outputs* possíveis encontrados na pesquisa.

Figura 2 – *Framework* da pesquisa



Fonte: Autores

Após realizar múltiplos cenários projetando como se comportaria um sistema produtivo real baseado em normas e regulamentos em produção mais limpa, são inseridas as alternativas (A; B; C) do *FAHP* na simulação, para então, encontrar o grau de confiabilidade (entre 0 e 100%) sobre qual modelo condiz com uma melhor perspectiva de aplicação na tomada de decisão gerencial. Necessariamente, são realizadas diversas simulações para encontrar um melhor resultado e então responder às questões de pesquisa, utilizando o software *InFuzzy*.

4 RESULTADOS

Os resultados apresentados nesta pesquisa procuram auxiliar a tomada de decisão dos gestores quanto a quais indicadores devem ser utilizados primeiro e qual o percentual para que possa ter ganho na aplicação de um sistema produtivo com produção mais limpa.

4.1 ANÁLISE *FAHP* ENTRE OS MODELOS

A análise *FAHP* serve para apresentar de forma mais próxima possível o pensamento humano quanto a tomada de decisão. Para tanto, a construção das matrizes par-a-par obteve razão de consistência abaixo do estipulado por Saaty <0,10. Para o modelo (A) os constructos ficaram com (0,06) modelo (B) (0,06) e modelo (C) (0,05). O Quadro 1 apresenta o RC para os subconstructos. A importância em apresentar a razão de consistência é informar o quanto as questões envolvidas foram compreendidas pelos respondentes e o grau de veracidade sobre as mesmas conforme destacados por Saaty. Nesse sentido, todas as matrizes permaneceram abaixo de 0,10.

Quadro 1 – Razão de Consistência Saaty das matrizes dos subconstructos

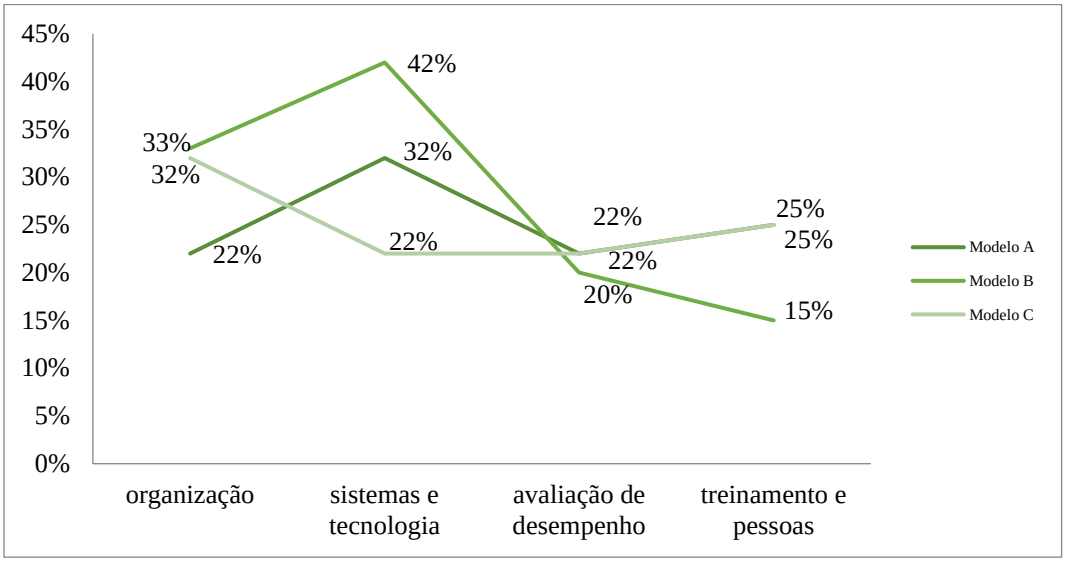
	Modelo A	**Modelo B**	**Modelo C**
Organização	RC - 0,10<0,04	RC - 0,10<0,07	RC - 0,10<0,06
Sistemas e Tecnologia	RC - 0,10<0,09	RC - 0,10<0,10	RC - 0,10<0,06
Avaliação de Desempenho	RC - 0,10<0,08	RC - 0,10<0,10	RC - 0,10<0,06
Treinamentos e Pessoas	RC - 0,10<0,10	RC - 0,10<0,06	RC - 0,10<0,01

Fonte: Autores.

Utilizando as mesmas regras para os três modelos (A:B:C) e partindo dos resultados de *FAHP* conforme os questionários, a lógica construída a partir de valores originados entre (0 e 1) obtiveram os resultados defuzzificados com a capacidade combinatória dos constructos, conforme mostra o gráfico da Figura 3. Primeiramente, os cálculos realizados no *FAHP* quanto aos modelos obtiveram os seguintes aspectos confirmatórios: no modelo (A) a capacidade combinatória dos constructos (22;32;22;34) resultou em uma probabilidade de 17,21% de ganho e uma confiabilidade de 50%. Para o Modelo (B) a capacidade combinatória dos constructos (32;42;11;15) resultou em uma probabilidade de 22,21% e a confiabilidade 52,09% e o Modelo (C) a capacidade combinatória dos constructos (33;22;20;25) resultou em uma probabilidade de 17,60% com a confiabilidade de 48,12%.

O gráfico da Figura 3 apresenta alguns pontos distintos entres os analistas teóricos e práticos. Dois dos três modelos propostos seguem um raciocínio lógico semelhante. Pode-se dizer que o modelo (A) e (C) estão mais próximos em linha de pensamento quanto a processos decisórios em PmaisL. Os constructos organização e sistemas e tecnologia, para os modelos (A) e (C) obtiveram apenas 54% não sendo considerados muito relevantes pelos especialistas. Ou seja, para os modelos (A) e (C), os valores dos indicadores nos constructos permaneceram próximos e estáveis, nenhum constructo teve um destaque considerável. Percebe-se também, que no modelo B a partir da Figura 3, sistemas e tecnologia e, organização, em conjunto, representaram 75% dos indicadores com uma superioridade bastante significativa com o foco em sistemas e tecnologia. Fato este, que pode ter remetido a inserção da alta tecnologia desenvolvida nas industrias como sendo revolução da I4.0.

Figura 3 - Fuzzificação dos respondentes Teoria x Prática



Fonte: Autores

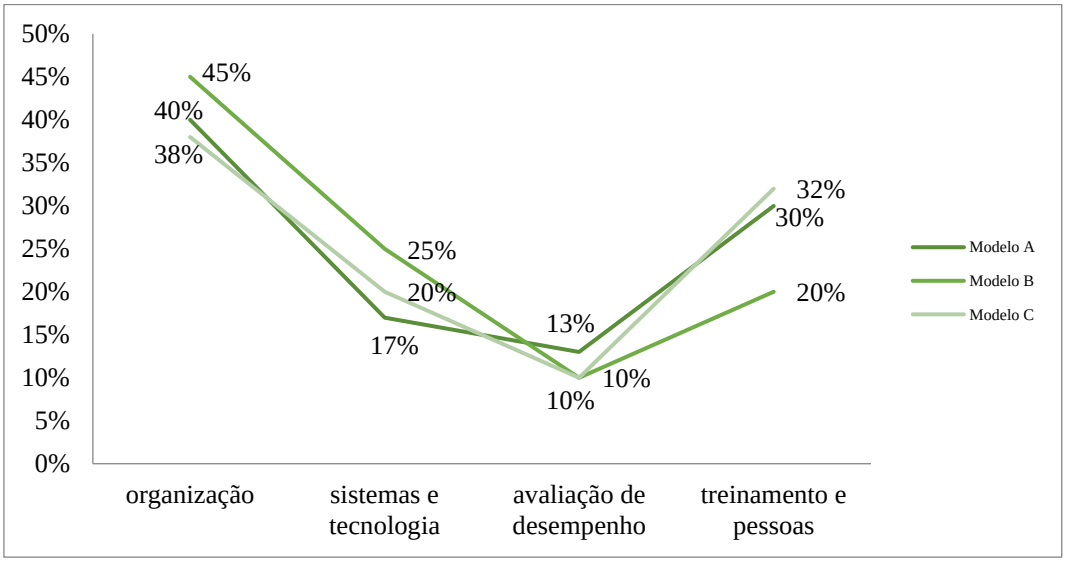
Considera-se que entre a teoria e a prática existe uma lacuna de pensamento evolutivo quanto a aplicação de produção mais limpa no setor industrial. Para tanto, a pesquisa buscou melhorar os modelos utilizando a lógica *fuzzy*. Este controlador/simulador tem como proposição elencar o quanto o modelo é robusto para aplicação nas indústrias, se aproximando do raciocínio lógico humano em tomada decisão entre teóricos e práticos. Neste sentido, partindo dos resultados do *FAHP* para cada modelo (A;B;C) os resultados combinatórios dos constructos simulados obtiveram melhorias que serão apresentadas a seguir, no item 4.2.

4.2 ANÁLISE DEFUZZIFICADO ENTRE OS MODELOS

Para o Modelo (A) os constructos resultaram em 57,71% de confiabilidade utilizando como melhor combinação resultante no sistema de (40;17;13;30) e a probabilidade de ganho em 22,12%. No Modelo (B) a probabilidade de ganho resultou em 22,90% e 57,61% de confiabilidade com os constructos (45;25;10;20) e, no Modelo (C) a probabilidade de ganho gerou em torno de 19,01% e 57,79% de confiabilidade de acordo com os constructos (38;20;10;32).

Ao contrário dos resultados *FAHP* onde o destaque estava entre organização e sistemas e tecnologia, após defuzzificar os modelos a ênfase ficou entre organização e treinamentos e pessoas. O que pode ser bastante significativo, pois se o gestor credita energia da empresa para ser competitiva mercadologicamente o fator treinar pessoas é fundamental para que consiga então, após, aplicar em tecnologia. Ou seja, após a simulação ficou bastante evidente que desenvolver na gestão e liderança, planos estratégicos, mudanças de cultura e treinamentos e desenvolvimentos é fundamental pensando em evoluir a empresa no sentido de realizar produção mais limpa.

Figura 4: similaridade entre os modelos após construção dos cenários probabilísticos



Fonte: Autores

A defuzzificação serve para que seja possível analisar a probabilidade em confiabilidade para se tomar determinada decisão. Nesse sentido, foram construídos 50 possíveis cenários e 115 simulações para tomada decisão no software *InFuzzy*. Sendo assim, em comparação mediana entre os resultados obtidos, na Figura 3 condiz que, a relação teoria e prática se resume em iniciar os processos de aplicação em produção mais limpa por meio da organização e sistemas e tecnologia, enquanto que, na Figura 4 indica que uma decisão eficiente deve ser iniciada com base na organização e treinamento dos colaboradores, comentado anteriormente. Corroborando, não se pode afirmar uma tomada de decisão padroniza de pesquisa, entre qual modelo estaria mais eficiente ao inserir na indústria (FERREIRA et al. 2017). São variáveis que dependem muito da estrutura e cultura organizacional da empresa atualmente e, como a mesma deseja inserir estes indicadores.

Pimenta e Gouvinhas (2012) enaltecem a justificativa que visando um resultado mais sistêmico, para que se possa obter êxito na implementação de PmaisL, as variáveis devem ser percebidas pelo gestor com base nas políticas, metas e objetivos bastante concisos organizacionalmente e, então, realizar treinamento dos colaboradores para que todos os níveis organizacionais tanto quanto (estratégico, tático e operacional) possam estar cientes sobre aplicabilidade e desenvolvimento do PmaisL na empresa, no qual o principal fator para melhorias a ser adotada em organizações é o desenvolvimento cultural (FERREIRA et al., 2017).

Dentre os destaques encontrados no gráfico da Figura 4, questões tecnológicas, segundo a literatura, (FERREIRA et al., 2017) são fatores relativamente importantes para qualquer estrutura organizacional. A evolução para Industria 4.0 conhecida como um dos passos mais importantes para progressão humana já traz pontos fortes sobre sua aplicabilidade, porém, todo e qualquer processo tecnológico a ser implementado precisa primeiramente organizar e treinar a empresa.

4.3 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE HIERÁRQUICA ENTRE OS MODELOS ANTES E APÓS SIMULAÇÃO

Após a defuzzificação, ficou consumado que os três modelos são considerados adequados para aplicação devido sua verossimilhança entre os valores nos constructos. O

ranking do *FAHP* é uma importante fonte de informação para adequar aos indicadores na empresa que deseja construir. Para isso, no estudo, foi importante apresentar o comportamento dos critérios e subcritérios quanto a aplicação dos mesmos para indicadores antes e após a simulação.

No Quadro 2, observa-se que entre as subcategorias o indicador de maior relevância após a simulação ficou gestão e liderança. Esta afirmação se dá, porque muitas empresas que desejam tornar-se competitivas devem iniciar por uma gestão consistente para então fazer abrangências em outros pontos na empresa. Somente com uma melhoria na gestão e liderança é que se consegue passar a todos os envolvidos na empresa o que realmente se almeja.

Quadro 2- critérios de prioridades para indicadores

Critérios	Conceitos	Antes Sim. MA	Após Sim. MA	Antes Sim. MB	Após Sim. MB	Antes Sim. MC	Após Sim. MC
Organização Antes Sim- 2º Após Sim -1º	Gestão e liderança	2º	2º	1º	1º	1º	1º
	Plano estratégico	5º	3º	4º	2º	2º	2º
	Foco no cliente	1º	1º	8º	8º	7º	7º
	Compromisso de gestão	8º	8º	5º	3º	3º	3º
Sistemas e tecnologia Antes Sim -1º Após Sim - 3º	Ferramentas e tecnologia	7º	7º	3º	5º	5º	5º
	Análise e melhoria de processos	3º	4º	2º	4º	4º	4º
	Análise da cadeia de fornecedores	4º	5º	7º	7º	6º	6º
	Avaliação do ciclo de vida	6º	6º	6º	6º	8º	8º
Avaliação de desempenho Antes Sim - 4º Após Sim - 4º	Medição de desempenho interno	9º	12º	11º	15º	10º	12º
	Medição de desempenho externo	10º	13º	12º	16º	12º	13º
	Melhoria contínua	12º	14º	13º	14º	16º	16º
	Critérios de medição	16º	15º	14º	11º	11º	14º
Treinamentos e pessoas Antes Sim - 3º Após Sim - 2º	Treinamento de colaborador	13º	11º	9º	9º	9º	9º
	Mudança de cultura	14º	15º	10º	10º	13º	10º
	Envolvimento do empregado	11º	9º	15º	12º	14º	15º
	Existência da cultura organizacional	15º	10º	16º	13º	15º	11º

Fonte: autores.

Neste mesmo sentido outros subconstructos se destacaram hierarquicamente na pesquisa como, planos estratégicos ficando entre os três mais relevantes, no qual o plano ambiental deve coincidir com as orientações estratégicas da organização, otimizar o uso de recursos e assegurar a disponibilidade de funcionários treinados para implementação da produção mais limpa. Para compromisso de gestão, a intenção é promover a criação de valores claros e visíveis de qualidade, juntamente com um sistema de gestão para orientar todas as atividades da empresa para a excelência da qualidade.

Para ferramenta e tecnologia, a sua utilização se dá no sentido de evitar uso de produtos químicos, fazer reciclagem e reutilização para aperfeiçoar eficiência ambiental. Em análises e melhorias de processos para empresa, devem ser desenvolvidas filosofias de qualidade, política ambiental, procedimentos e objetivos, adquirindo informações de funcionários, clientes, fornecedores e concorrentes. E, quanto ao foco no cliente, considera-se atenções quanto a exigências e expectativas dos clientes, visando sua satisfação.

5 DISCUSSÃO DOS INDICADORES

Pergunta 1: qual a percepção dos especialistas (teóricos e práticos) quanto ao uso dos critérios e conceitos de prioridade em PmaisL no caráter industrial?

No viés dos especialistas, ficou bastante claro, conforme o gráfico da Figura 3 que o nível de compreensão e aplicabilidade entre teoria e prática ainda tem algumas barreiras que necessitam ser analisadas, ou seja, o que a teoria apresenta não está sendo percebida pelos gestores no momento da prática e a importância de cada critério. Introduzir produção mais limpa exige não somente responsabilidades iniciais dos gestores, como culturalmente dos colaboradores. O que a teoria explica é que, por meio dos subconstructos analisados necessita-se de maiores conhecimentos sobre o real conceito em aplicar questões de sustentabilidade nas organizações. Implementar sem conhecer a real necessidade da empresa é ter custos altos e muitas vezes desnecessários.

Desse modo, percebeu-se que os especialistas práticos necessitam de mais abordagens sobre o trabalho com produção mais limpa nas organizações, ou seja, como seria a estruturação hierárquica destes indicadores para aplicação nas empresas. A perspectiva dos resultados na pesquisa era de que os três modelos estivessem verossimilhança, porém, não foi este resultado apresentado pelo método multicriterial *AHP*. Somente após a aplicação de simulações que a lógica do pensamento similar foi apresentada no modelo.

Pergunta 2: qual o modelo que define a melhor construção dos conceitos na PmaisL?

Os métodos multicriteriais probabilísticos, são muito utilizados para fazer afirmações a respeito do modelo que poderá ser utilizado em determinada empresa (FERREIRA *et. al*. 2017). E com simulações e construção de cenários é possível alcançar uma tomada de decisão bastante segura em se tratando de sustentabilidade abordada nesta pesquisa.

Para cenários envolvendo *FAHP* com respostas dos especialistas o melhor modelo a ser considerado como indicadores é o modelo B, conforme Quadro 3, pois sua confiabilidade correspondeu a 52,09%. Em termos literários, essa porcentagem é considerada baixa (FERREIRA *et. al*. 2017) visto que alguns autores trazem como sendo um modelo aplicável acima de 70%.

Quadro 3 – *FAHP* real e *Fuzzy Sets*

Fahp – real		
Indicador Modelo A (22%; 32%; 22%; 34%)	Capacidade do Modelo A 17,21%	Confiabilidade do Modelo A 50%
Indicador Modelo B (32%; 42%; 11%; 15%)	Capacidade do Modelo B 22,21%	Confiabilidade do Modelo B 52,09%
Indicador Modelo C (33%; 22%; 20%; 25%)	Capacidade do Modelo C 17,60%	Confiabilidade do Modelo C 48,12%
Fuzzy Sets - simulado		
Indicador Modelo A (40%; 17%; 13%; 30)	Capacidade do Modelo A 22,12%	Confiabilidade do Modelo A 57,71%
Indicador Modelo B (45%; 25%; 10%; 20%)	Capacidade do Modelo B 22,90%	Confiabilidade do Modelo B 57,61%
Indicador Modelo C (38%; 20%; 10%; 32%)	Capacidade do Modelo C 19,01%	Confiabilidade do Modelo C 57,79%

Fonte: autores.

Porém, após fazer 115 simulações com 50 cenários, uma melhora foi apresentada pelo *Fuzzy Sets* nos modelos (A;B;C). Pode se dizer então, que os três modelos são considerados relevantes após a simulação, pois o índice de porcentagem não sofreu altas variações. Sendo assim, compreende-se que no *Fuzzy Sets* foi encontrado um padrão de tomada de decisão no qual se tem similaridade quanto a confiabilidade e aplicabilidade do modelo em pensamento de produção mais limpa. Estes dados podem ser percebidos na Figura 4.

A melhor tomada de decisão a respeito do modelo de indicadores que deve ser utilizado é uma questão que tem como principal ação compreender junto as necessidades da

empresa. Algumas organizações podem optar por utilizar indicadores que obtenham maiores êxitos em organização e treinamento e pessoas, nesse sentido a melhor escolha seria o modelo (C). Caso o empreendedor queira optar por organização e sistemas e tecnologia encontraria a solução de melhorias no modelo (B). Neste estudo a principal contribuição para os resultados foi apresentar a confiabilidade de cada modelo no método *FAHP* e no método *Fuzzy Sets* contemplando indicadores.

6 CONCLUSÃO

A proposição do artigo é buscar que uma verossimilhança entre os três modelos no qual as constantes possam ser justificadas por apenas um valor. Quando se compara os modelos simulados (A;B;C) percebe-se que há similaridade, o que significa que apesar de os teóricos serem de instituições distintas, o pensamento quanto a melhor forma de aplicar as práticas de produção mais limpa está consideravelmente próxima, utilizando a construção de cenários *Fuzzy Sets*.

Esse fato deixa claro perante a literatura que a teoria e a prática precisam de mais estudos em sinergia. Existe uma lacuna de pesquisa para identificar o porquê estes dois campos entre teóricos e práticos ainda mantêm-se com pensamentos literalmente distantes para aplicação como apresentado na Figura 3.

Quando se trata de estudos de métodos *FAHP* e Lógica *Fuzzy* para os modelos não existe uma forma certa ou errada de aplicação. Este fator depende muito da complexidade do ambiente organizacional em que está por ser aplicado. Porém, projetos com porcentagens abaixo de 70% podem sofrer baixas ao aplicar os indicadores *fuzzy*. Neste artigo o pressuposto foi de compreender o quão próximo está o pensamento sobre aplicações de técnicas ambientais em sistemas organizacionais.

Após realizar várias técnicas, as porcentagens apresentadas pelo gráfico quanto aos modelos (A;B;C) afirmam que a capacidade de evolução para melhoria dos modelos ainda depende de outros fatores não abordados neste artigo. Os gestores respondentes ainda consideram a aplicabilidade das técnicas de PmaisL complexas no sistema industrial, por fatores como quebra de cultura organizacional, infraestrutura, desenvolvimento de pessoal, Tempo de Resposta Rápida para Melhorias (TRRM) e custos altos.

Os teóricos consideram que há necessidades de as organizações serem mais agressivas quanto a abordagem sustentável devido as projeções oferecidas pelo mercado. A saída, segundo os teóricos, seria o desenvolvimento primeiramente do nível estratégico em querer realizar mudanças, o tático em buscar estas melhorias contínuas e os operadores por acreditarem em um TRRM capaz de gerir bons resultados para todos. Para tanto, uma lacuna, não estudada no artigo é identificar as barreiras que explicam a pouca similaridade entre teoria e prática quando relacionado com questões ambientais.

REFERÊNCIAS

BRITO, M. D.; BRUNSTEIN, J.; AMARO, R. A. Sustentabilidade, incubadoras de empresas e universidades: um olhar para a nova geração de empreendedores. **38º Encontro ANPAD**. 2014.

CHANG, Da-Yong. Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. **European journal of operational research**, v. 95, n. 3, p. 649-655, 1996.

CHOU, Chien-Chang; YU, Ker-Wei. Application of a new hybrid fuzzy AHP model to the location choice. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2013, 2013.

DE LUCA, Aldo; TERMINI, Settimo. A definition of a nonprobabilistic entropy in the setting of fuzzy sets theory. In: **Readings in Fuzzy Sets for Intelligent Systems**. 1993. p. 197-202.

FALAT, Lukas; MARCEK, Dusan; DURISOVA, Maria. Intelligent soft computing on forex: exchange rates forecasting with hybrid radial basis neural network. **The Scientific World Journal**, v. 2016, 2016.

FERREIRA, Alexandre Rodrigues et al. Priorização dos requisitos de sustentabilidade em incubadoras tecnológicas: Um estudo de caso na região central do Rio Grande do Sul, Brasil. **Interciencia**, v. 42, n. 2, p. 108, 2017.

KAHRAMAN, Cengiz (Ed.). **Fuzzy multi-criteria decision making: theory and applications with recent developments**. Springer Science & Business Media, 2008.

MANZINI, Ezio; VEZZOLI, Carlo. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis. Os requisitos ambientais dos produtos industriais**. Edusp, 2002.

MASSA, F. et al. Finite element analysis of frictionless contact problems using fuzzy control approach. **Engineering Computations**, v. 32, n. 3, p. 585-606, 2015.

MOREIRA, José Carlos Teixeira. **Foco do cliente:** O cliente como real investidor para o futuro da sua empresa. São Paulo: Gente, 2009.

NASCIMENTO, Luís Felipe; TOMETICH, Patrícia. **Sustentabilidade:** Resultados De Pesquisa Do Ppga/ea/ufrgs. Porto Alegre: Sul, 2013.

NETO, S. M.; PIRES, IRS. Medição de desempenho em cadeias de suprimentos: um estudo na indústria automobilística. **Gestão & Produção, São Carlos**, v. 19, n. 4, p. 733-746, 2012.

PIMENTA, Handson Claudio Dias; GOUVINHAS, Reidson Pereira. A produção mais limpa como ferramenta da sustentabilidade empresarial: um estudo no estado do Rio Grande do Norte. **Production**, v. 22, n. 3, p. 462-476, 2012.

POMBO, Felipe Ramalho; MAGRINI, Alessandra. Panorama de aplicação da norma ISO 14001 no Brasil. **Gestão & Produção**, v. 15, n. 1, p. 1-10, 2008.

RASHID, Tabasam; HUSNINE, Syed Muhammad. Multicriteria group decision making by using trapezoidal valued hesitant fuzzy sets. **The Scientific World Journal**, v. 2014, 2014.

SAATY, Thomas L.; SHIH, Hsu-Shih. Structures in decision making: On the subjective geometry of hierarchies and networks. **European Journal of Operational Research**, v. 199, n. 3, p. 867-872, 2009.

SILVESTRE, B. S. SILVA NETO, R. E. Are cleaner production innovations the solution for small mining operations in poor regions? The case of Padua in Brazil. **Journal of cleaner production**, v. 84, p. 809-817, 2014.

SVENSSON, G. Sustainable quality management: a strategic perspective. **TQM Magaz**. v. 18, p. 22-29, 2015.

TANNURI, G.; BELLEN, H. M. V. Indicadores de desempenho ambiental evidenciados nos relatórios de sustentabilidade: uma análise à luz de atributos de qualidade. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 8, n. 1, p. 2-19, 2014

TSENG, Ming-Lang; LIN, Yuan-Hsu; CHIU, Anthony SF. Fuzzy AHP-based study of

cleaner production implementation in Taiwan PWB manufacturer. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, n. 14, p. 1249-1256, 2009.

VAN HOOF, Bart; LYON, Thomas P. Cleaner production in small firms taking part in Mexico's Sustainable Supplier Program. **Journal of Cleaner Production**, v. 41, p. 270-282, 2013.

VAN LAARHOVEN, P. J. M.; PEDRYCZ, Witold. A fuzzy extension of Saaty's priority theory. **Fuzzy sets and Systems**, v. 11, n. 1-3, p. 229-241, 1983.

WANG, Ming-Tang. Use of a combination of AHP and ism for making an innovative rescue caring design in landslide area. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2015, 2015.

WU, J. T, WANG, J. Q. WANG, J. ZHANG, H. Y. CHEN, X. H. Hesitant fuzzy linguistic multicriteria decision-making method based on generalized prioritized aggregation operator. **The Scientific World Journal**, v. 2014, 2014.

YONG, J. Y. KLEMES, J. J. VARBANOV, P. S. HUISINGH, D. Cleaner energy for cleaner production: modelling, simulation, optimisation and waste management. **Journal of Cleaner Production**, v. 111, p. 1-16, 2016.

ZADEH, Lotfi A. Fuzzy sets. **Information and control**, v. 8, n. 3, p. 338-353, 1965.

ZARE, R. NOURI, J. ABDOLI, M. A. ARABI, F.ATAVI, M. The integrated fuzzy AHP and goal programing model based on LCA results for industrial waste management by using the nearest weighted approximation of FN: aluminum industry in Arak, Iran. **Advances in Materials Science and Engineering**, v. 2016, 2016.