

ANÁLISE DE UMA EQUIPE DE MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS MÓVEIS DE UMA EMPRESA DE MINERAÇÃO

Rui José Gonçalves Tavares¹

RESUMO

Nas abordagens tradicionais do dimensionamento de equipes, é possível determinar a quantidade de homens-hora (Hh) necessários para atender as demandas específicas. Contudo, deve ser considerada a produtividade efetiva de cada equipe de trabalho e eliminadas as improdutividades, de forma que o tempo de trabalho efetivo se reduz, na melhor das hipóteses, a 70% do tempo originalmente disponível. Um aspecto que raramente é levado em consideração é a Confiabilidade Humana, em função de exigir uma abordagem essencialmente qualitativa para sua mensuração e por isso, fatores humanos relevantes são desconsiderados. A utilização de Conjuntos *Fuzzy* associados a metodologia de Análise de Confiabilidade de Sistemas pode fornecer uma ótica diferenciada a um tema tratado por setores de Recursos Humanos, mas com um tratamento de Estatística e Confiabilidade. Este trabalho analisa o dimensionamento de uma equipe de manutenção em uma empresa de mineração, aplicando conjuntos e números *fuzzy* e análise de confiabilidade humana, buscando desenvolver um sistema confiável e capaz de compensar as incertezas do comportamento humano e colaborar para aperfeiçoamento dos processos de recrutamento e treinamento das equipes.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contexto da criação da equipe de Manutenção de Frota

Em operação no Pará desde 1996, um grupo industrial francês² trouxe para o estado sua experiência como líder mundial em soluções especiais de base mineral para a indústria. A empresa opera em solo paraense a maior planta de produção de caulim do mundo e detém 71% de participação na produção de caulim no Brasil. Em 2018, a alta direção da empresa decidiu-se pela primarização das atividades de operação e manutenção dos equipamentos de lavra de uma de suas unidades, atividades antes realizadas por empresa terceirizada. Em outubro de 2019 foi implantada a Coordenação de Manutenção de Frota de Equipamentos (GesFrota), com a missão de operacionalizar a manutenção da frota de equipamentos e dar suporte à gerência de mina nos processos relativos a essas atividades. A estruturação do Sistema de Gestão da Manutenção partiu de um estágio de “zero absoluto”, pois como já mencionado previamente, as operações eram conduzidas de forma terceirizada, não havendo assim histórico de manutenção dos equipamentos e nem indicadores de processo para serem avaliados. O Sistema de Gestão da Manutenção foi estruturado segundo os princípios do *Maintenance Target Pyramid*, adotado pela empresa. Essa metodologia organiza os processos de forma didática em forma de pirâmide, cabendo à coordenação de manutenção de frota priorizar os processos a serem implantados. Este trabalho utiliza dados levantados em campo no espaço temporal de outubro 2019 a junho 2021.

1.2 Motivação deste estudo

O dimensionamento de equipes pode se constituir numa questão bastante complexa e de difícil execução, além do que pode aparentar. Nas abordagens tradicionais, onde se leva em consideração apenas a quantidade de horas necessárias para a execução de uma tarefa, é possível determinar a quantidade de homens-hora (Hh) necessários a atender as demandas específicas. Contudo, deve ser considerada a produtividade efetiva de cada equipe de trabalho – com exclusão de improdutividades, como tempo de almoço e lanche, espera de transporte, busca de ferramentas, intervalos diversos etc. - de forma que o tempo de trabalho efetivo se reduz, na melhor das hipóteses, a 70% do tempo disponível. Um aspecto que raramente é levado em consideração é a Confiabilidade Humana, em função de exigir uma abordagem essencialmente qualitativa para sua mensuração (e que depende de dados confiáveis e histórico para análise) e por isso, fatores humanos relevantes são

¹ Engenheiro mecânico, coordenador de manutenção de frota

² O autor não recebeu permissão formal para citar o nome da empresa

deixados de lado. Neste caso em particular, por não haver registro das atividades realizadas na empresa, essa situação tornou-se mais relevante.

Foram levantados os seguintes itens:

- a) *até que ponto o dimensionamento da equipe atenderá as demandas e necessidades da companhia?*
- b) *existem fatores ligados ao comportamento humano que podem interferir na execução das atividades, de forma a comprometer a qualidade dos serviços e as variadas demandas?*
- c) *caso esses fatores existam, que ações deverão ser tomadas para mitigar os riscos e assegurar o atendimento das demandas?*

2 DESCRIÇÃO

2.1 Confiabilidade Humana

Em sistemas mecânicos, elétricos ou hidráulicos ou pneumáticos, é possível determinar com exatidão a resistência de um componente específico e dessa forma, a confiabilidade do sistema. Mas, e quando se trata de um sistema humano *qual a confiabilidade possível? qual a confiabilidade esperada de cada pessoa?*

O início de seu estudo sistemático remonta a década 1950, envolvendo inicialmente sistemas de armas nucleares. As indústrias dos setores de petróleo, aeroespacial e nuclear se destacam quando se trata da abordagem humanizada no dimensionamento de equipes.

Souza, Pereira-Guizzo e Santos (1), conceituam Confiabilidade Humana como a probabilidade de sucesso de um sistema que se baseia em ações, tarefas e trabalhos desenvolvidos por humanos dentro de um período pré-estabelecido, assim como, que nenhuma destas tarefas seja desempenhada em comprometimento da confiabilidade do sistema.

Domech Moré *et al* (2) mencionam que se aplicam muitos recursos para a confiabilidade de equipamentos e otimização de processos restando ao homem adaptar-se ao processo. Para eles, a análise da confiabilidade humana é influenciada por diversos fatores que afetam o desempenho do ser humano e a importância de cada um desses fatores irá variar de acordo com a atividade do operador.

Domech Moré (3) destaca que a Confiabilidade Humana pode ser analisada, principalmente, sob a ótica de duas metodologias distintas:

- Métodos de 1ª Geração, que se caracterizam por comparar o desempenho humano ao de uma máquina, associando probabilidades de sucesso ou falha às ações dos operadores. Um exemplo de método utilizado é o Thecnique for Human Error Rate Prediction (THERP);
- Métodos de 2ª Geração, que ampliam a análise de confiabilidade humana aos sistemas cognitivos e levam em consideração níveis de decisão, processos diagnósticos, destreza, conhecimento e fatores organizacionais. Aqui, citamos o método A Tecnique for Human Error Analisys (ATHEANA).

Esses métodos são baseados em cálculo de probabilidades e exigem grande quantidade de dados para mapear as incertezas do comportamento humano.

Sistemas centrados em seres humanos são extremamente complexos de analisar e nas abordagens tradicionais o comportamento das falhas humanas (que podem se dar em função de inúmeros atributos ou fatores de desempenho) é nivelado ao de componentes físicos. Em uma abordagem conservadora, por exemplo, presume-se que o operador executa todas as atividades corretamente segundo um procedimento padrão, sem levar em conta suas limitações de treinamento, problemas pessoais, condições ambientais etc. Ou seja, são considerados os fatores gerados por aleatoriedade, mas desprezados aqueles oriundos da imprecisão (ou *vagueness*).

2.2 Lógica Fuzzy

A Lógica *Fuzzy* (ou Nebulosa) torna-se adequada para o tratamento da Confiabilidade Humana pois em sistemas homem-máquina existe elevado grau de imprecisão e intangibilidade e por isso, mostra-se muito apropriada para essa avaliação. Tanscheit (4) informa que:

A Teoria de Conjuntos Fuzzy foi concebida por L.A. Zadeh (1965) com o objetivo de fornecer um ferramental matemático para o tratamento de informações de caráter impreciso ou vago. A Lógica Fuzzy, baseada nessa teoria, foi inicialmente construída a partir dos conceitos já estabelecidos de lógica clássica; operadores foram definidos à semelhança dos tradicionalmente utilizados e outros foram introduzidos ao longo do tempo, muitas vezes por necessidades de caráter eminentemente prático. (TANSCHKEIT, 2003, p. 2)

Tanscheit prossegue citando que num Sistema de Inferência Fuzzy deve-se considerar:

- a- entradas não-fuzzy ou precisas, resultantes de medições ou observações (conjuntos de dados, por exemplo), que é o caso da grande maioria das aplicações práticas;
- b- mapeamento destes dados precisos para os conjuntos fuzzy (de entrada) relevantes, o que é realizado no estágio de fuzzificação. Neste estágio ocorre também a ativação das regras relevantes para uma dada situação;
- c- no estágio de defuzzificação é efetuada uma interpretação dessa informação. Isto se faz necessário pois, em aplicações práticas, geralmente são requeridas saídas precisas.

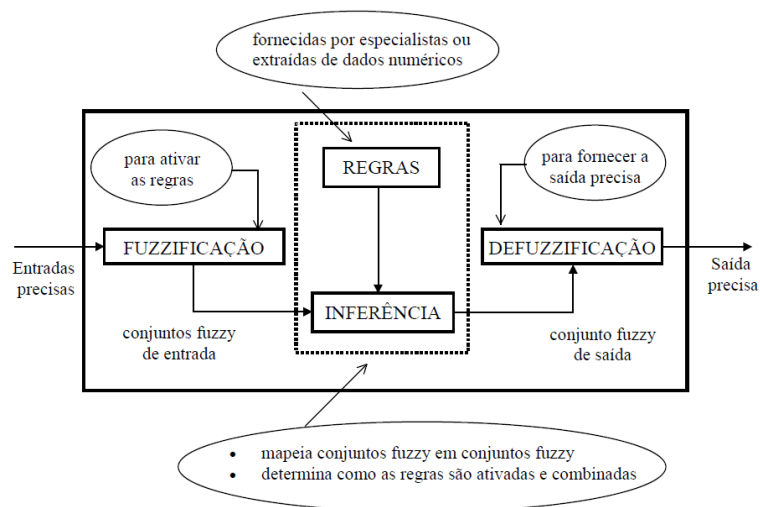


Fig.1 – Sistema de Inferência Fuzzy. Fonte: Tanscheit, 2003.

A partir desse referencial teórico surgiu mais uma questão:

- *É possível aplicar esses conceitos e metodologias na análise de atividades de manutenção de equipamentos?*

O Prof. Dr. Jesús Domech Moré (UFRJ) tem desenvolvido inúmeros trabalhos aplicando Confiabilidade Humana e Conjuntos Fuzzy e foi a maior referência para este trabalho. Tendo como ponto de partida sua tese de doutorado, verificou-se a aplicabilidade dos conceitos apresentados por ele na análise de uma equipe de manutenção de frota na empresa de mineração.

3 RESULTADOS OBTIDOS

3.1. Metodologia Aplicada

Para este trabalho, será seguida a metodologia proposta por Domech Moré (3) (com adaptações realizadas por este autor) que se compõe de 2 Etapas.

Etapas I

1) Definir o Conjunto de Atributos de Confiabilidade Humana (Variáveis Linguísticas): baseado na norma API 770 (5), foram identificados e adaptados 36 fatores (PSF – *perform shaping factors*) relacionados às atividades de manutenção realizadas em área de mineração.

COD	TIPO DE FATOR	PSF	COD	TIPO DE FATOR	PSF
1	FATORES PESSOAIS	SAÚDE PESSOAL	16	FATORES FISIOLÓGICOS	ATIVIDADES FREQUENTES E REPETITIVAS
2		SAÚDE FAMILIAR	17		CANSAÇO / FADIGA FÍSICA
3		GRAU MOTIVAÇÃO PESSOAL	18		ERGONOMIA
4	FATORES INTERNOS	IDENTIFICAÇÃO COM GRUPO DE TRABALHO	19		ESFORÇO FÍSICO
5		EXPERIÊNCIA PREVIA	20		EXPOSIÇÃO A INTEMPÉRIES
6		TREINAMENTO RECEBIDO NA EMPRESA	21		HORAS DE TRABALHO E REPOUSO
7	FATORES EXTERNOS	ADEQUAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS/ FERRAMENTAS	22	FATORES PSICOLÓGICOS	ROTAÇÃO DE TURNOS
8		CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE DE TRABALHO	23		AMEAÇAS
9		DISPONIBILIDADES DE EQUIPAMENTOS / FERRAMENTAS	24		INTERRUPÇÕES DO RACIOCÍNIO
10		DISTÂNCIA DO LOCAL DE RESIDÊNCIA	25		STRESS PSICOLÓGICO
11		ESTRUTURA E EFETIVO DA EQUIPE	26		TRABALHO MONOTONO OU DESINTERESSANTE
12		INFLUÊNCIA DE AGENTES EXTERNOS ÀS ATIVIDADES DO TRABALHO	27	CARACTERÍSTICAS DO TRABALHO	COMPLEXIDADE DAS INFORMAÇÕES
13		HORÁRIO DE TRABALHO	28		CONFLITOS NO TRABALHO
14		QUALIDADE E ADEQUAÇÃO DA ESTRUTURA DO LOCAL DE TRABALHO	29		INTERFACE HOMEM-MAQUINA
15		RECOMPENSAS	30		INTERPRETAÇÃO PARA TOMADA DE DECISÕES
			31		MÉTODOS DE TRABALHO
			32		PROCEDIMENTOS EXIGIDOS
			33		FUNÇÃO DESEMPENHADA
			34		TEMPO FUNÇÃO NA EMPRESA
			35		NÍVEL ATUAÇÃO
			36		LOCAL (CELULA) DE TRABALHO

Tab.1 – Conjunto de 36 atributos de confiabilidade humana (PSF). Fonte: Rui Tavares, 2021.

2) Definir Termos Linguísticos Para Avaliação Dos Atributos De Confiabilidade Humana: os atributos (termos linguísticos) escolhidos seguindo regras sintáticas e semânticas foram: *Crítico* (possui extrema influência sobre a confiabilidade humana); *Muito Importante* (possui muito grande influência sobre a confiabilidade humana); *Importante* (possui influência sobre a confiabilidade humana); *Pouco Importante* (possui pouca influência sobre a confiabilidade humana); *Sem Importância* (não possui influência sobre a confiabilidade humana).

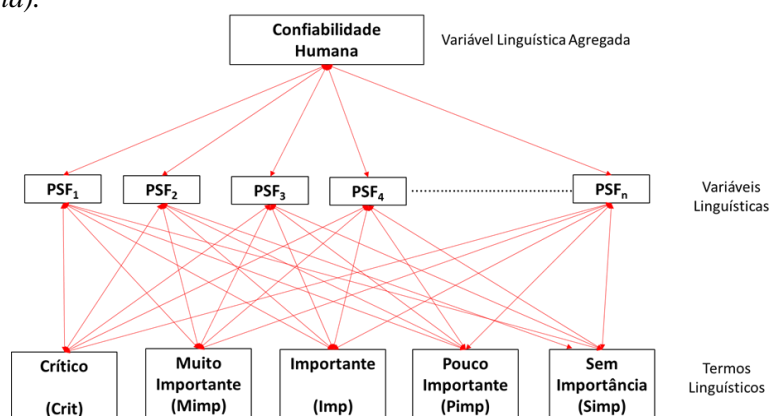


Fig.2 – Representação das relações entre variáveis e termos linguísticos. Fonte: Rui Tavares, 2021.

3) Definir Intervalo Numérico Mensurável (Atribuir Escala De Pesos)

Tab.2 – Tabela de números fuzzy para os termos linguísticos. Fonte: Rui Tavares, 2021.

Grau	Símbolo	Termo Linguístico	Número fuzzy	
			Cod	Valor
0,0	SIMP	Sem Importancia	N1	(0,0 ; 0,0; 1,0)
1,0	PIMP	Pouco Importante	N2	(0,0 ; 1,0; 2,0)
2,0	IMP	Importante	N3	(1,0 ; 2,0;3,0)
3,0	MIMP	Muito Importante	N4	(2,0 ; 3,0; 4,0)
4,0	CRIT	Crítico	N5	(3,0 ; 4,0; 4,0)

4) Escolher Especialistas: foram selecionados 9 especialistas que atuam na empresa, para os quais foram enviados e-mails esclarecendo a natureza e importância dessa investigação e questionários (QIPE – Questionário de Identificação do Perfil do Especialista). Entretanto nem todos responderam e devolveram o

questionário. Dessa forma, 6 especialistas participaram da modelagem. Desses especialistas, 1 ocupa cargo de gerente de mina, 2 são engenheiros (sendo um deles com experiência anterior como gerente de área em outra empresa), 2 atuam como supervisores de manutenção e operação de mina e 1 atua como topógrafo, com ampla experiência de campo em atividades de mineração.

5) Definir o Grau de Importância dos Especialistas e Aplicar o QIPE: por se tratar de um grupo heterogêneo, foi necessário atribuir graus de importância e pesos diferentes a cada um deles. Foram definidos 7 critérios que conferiram pesos aos especialistas.

6) Tratamento Dos Dados Coletados Nas Avaliações Dos Atributos De Confiabilidade Pelos Especialistas: para realizar a combinação das opiniões dos especialistas, foi utilizado o modelo de Agregação Por Similaridade, proposto por HSU & CHEN (6), que segue os passos descritos a seguir, onde para exemplificar, iremos apresentar os cálculos de avaliação do atributo de confiabilidade humana “Saúde Pessoal”.

Na tabela abaixo, temos as opiniões defuzzificadas dos especialistas, convertidas em formato numérico, utilizando números fuzzy triangulares.

Tab. 3 – Representação defuzzificada das opiniões dos especialistas para o atributo “Saúde Pessoal”. Fonte: Rui Tavares, 2021.

Especialista	Avaliação	Número fuzzy			Área Ñ
E1	CRIT	3,0	4,0	4,0	0,5
E2	CRIT	3,0	4,0	4,0	0,5
E3	MIMP	2,0	3,0	4,0	1,0
E4	MIMP	2,0	3,0	4,0	1,0
E5	MIMP	2,0	3,0	4,0	1,0
E6	MIMP	2,0	3,0	4,0	1,0

6.1) Determinar a proporção entre a Área Consistente e a Área Total, que pode ser expressa por:

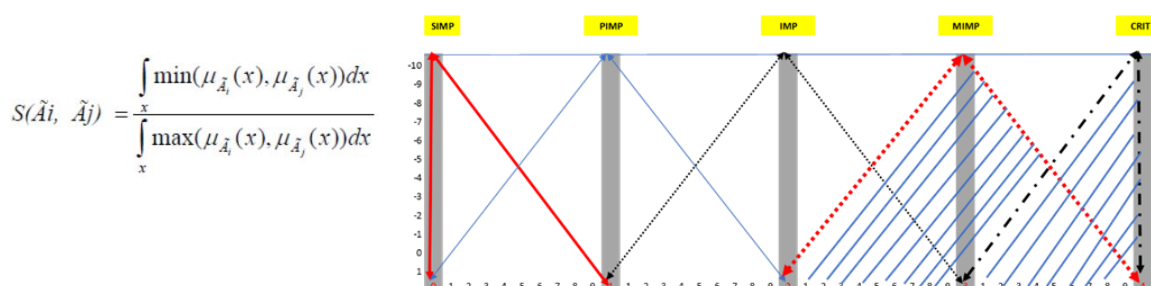


Fig.3 – Representação gráfica da área de união de duas opiniões fuzzy. Fonte: Rui Tavares, 2021.

6.2) Determinar a Matriz de Concordância entre os especialistas;

6.3) Calcular o Coeficiente de Concordância Relativa (CR), o Grau de Concordância Relativa (GCR) e o Coeficiente de Consenso de cada especialista:

6.4) Avaliar o Peso ou Importância do atributo “Saúde Pessoal”:

$$\tilde{N} = \sum_{i=1}^N (CCE_i * \tilde{n}_i)$$

$$S(\tilde{A}_i, \tilde{A}_j) = \frac{\int_x \min(\mu_{\tilde{A}_i}(x), \mu_{\tilde{A}_j}(x)) dx}{\int_x \max(\mu_{\tilde{A}_i}(x), \mu_{\tilde{A}_j}(x)) dx}$$

7) Estabelecer o Padrão de Qualidade: para essa definição, é necessário calcular o peso r_i de cada fator que compõe o fator agregado. Esse cálculo é realizado pela *defuzzificação* de seu número *fuzzy* triangular $\tilde{N}_i(a_i; m_i; b_i)$, usando um processo de normalização e fazendo uso da relação: $r_i = (a_i + 2m_i + b_i) / 4$

O valor R_i , será dado por

$R_i = r_i / m_{\max}$, onde m_{\max} é o máximo valor de m_i

Dessa forma, foi possível obter o Grau de Importância de cada atributo, estabelecendo uma escala de prioridade de quais fatores possuem maior influência sobre a confiabilidade humana na execução das atividades de manutenção de equipamentos. Isso permite estabelecer um Padrão de Qualidade para avaliação do desempenho dos mantenedores, em situações específicas.

A representação do conjunto Padrão de Qualidade será dada por

$\tilde{A}(PQ) = 1,00/\text{Saúde Familiar} + 0,96/\text{Saúde Pessoal} + 0,95/\text{Stress Psicológico} + 0,94/\text{Cansaço} + 0,89/\text{Recompensas} + 0,86/\text{Horas de Trabalho e Repouso} + 0,84/\text{Grau de Motivação pessoal} + 0,84/\text{Ergonomia} + 0,83/\text{Disponibilidade de Equipamentos e Ferramentas} + 0,83/\text{Conflitos no Trabalho} + 0,79/\text{Interpretação para tomada de decisões} + \dots + 0,44/\text{Nível de Atuação} + 0,36/\text{Tempo de função na empresa}$.

Quanto mais o valor de um atributo se aproxima de 1, maior será sua relevância para a qualidade e confiabilidade da manutenção realizada.

A partir dos dados coletados, podemos extrair diversas características do conjunto *fuzzy* “Padrão de Qualidade”:

a – Cardinalidade Escalar é a soma das pertinências dos atributos que conformam o conjunto.

$$\text{Card}(\tilde{A}) = \sum_{x \in X} A(x)$$

$\text{Card}(\tilde{A}) = 1,00 + 0,96 + 0,95 + 0,94 + 0,89 + 0,86 + 0,84 + 0,84 + \dots + 0,44 + 0,36 = 24,91$

b - Cardinalidade Relativa

$$\|\tilde{A}\| = \sum_{x \in X} A(x) / \text{quantidade de atributos}$$

$\text{Card}_{\text{Rel}} \|\tilde{A}\| = 24,91 / 36 = 0,69$

Tab.4 - Representação da avaliação fuzzy dos atributos da confiabilidade humana. Fonte: Rui Tavares, 2021.

ITEM	ATRIBUTO	GPM	NORMAL	ITEM	ATRIBUTO	GPM	NORMAL
1	SAÚDE FAMILIAR	3,38	1,00	17	EXPOSIÇÃO A INTEMPÉRIES	2,42	0,71
2	SAÚDE PESSOAL	3,25	0,96	18	CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE DE TRABALHO	2,33	0,69
3	STRESS PSICOLÓGICO	3,21	0,95	21	ADEQUAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS/ FERRAMENTAS	2,17	0,64
4	CANSAÇO / FADIGA FÍSICA	3,17	0,94	22	ESFORÇO FÍSICO	2,17	0,64
5	RECOMPENSAS	3,00	0,89	23	TREINAMENTO RECEBIDO NA EMPRESA	2,00	0,59
6	HORAS DE TRABALHO E REPOUSO	2,92	0,86	24	QUALIDADE E ADEQUAÇÃO DA ESTRUTURA DO LOCAL DE TRABALHO	2,00	0,59
7	GRAU MOTIVAÇÃO PESSOAL	2,83	0,84	25	INTERRUPÇÕES DO RACIOCÍNIO	2,00	0,59
8	ERGONOMIA	2,83	0,84	26	TRABALHO MONOTONO OU DESINTERESSANTE	2,00	0,59
9	DISPONIBILIDADES DE EQUIPAMENTOS / FERRAMENTAS	2,79	0,83	27	MÉTODOS DE TRABALHO	2,00	0,59
10	CONFLITOS NO TRABALHO	2,79	0,83	28	LOCAL (CELULA) DE TRABALHO	2,00	0,59
11	INTERPRETAÇÃO PARA TOMADA DE DECISÕES	2,67	0,79	29	HORARIO DE TRABALHO	1,88	0,55
12	IDENTIFICAÇÃO COM GRUPO DE TRABALHO	2,63	0,78	30	INTERFACE HOMEM-MAQUINA	1,83	0,54
13	PROCEDIMENTOS EXIGIDOS	2,63	0,78	31	FUNÇÃO DESEMPENHADA	1,71	0,51
14	AMEAÇAS	2,58	0,76	32	ATIVIDADES FREQUENTES E REPETITIVAS	1,67	0,49
15	EXPERIÊNCIA PREVIA	2,46	0,73	33	DISTANCIA DO LOCAL DE RESIDENCIA	1,54	0,46
16	ESTRUTURA E EFETIVO DA EQUIPE	2,46	0,73	34	ROTAÇÃO DE TURNOS	1,54	0,46
19	COMPLEXIDADE DAS INFORMAÇÕES	2,33	0,69	35	NÍVEL ATUAÇÃO	1,50	0,44
20	INFLUENCIA DE AGENTES EXTERNOS ÀS ATIVIDADES DO TRABALHO	2,33	0,69	36	TEMPO FUNÇÃO NA EMPRESA	1,21	0,36

c – Valores idênticos de alguns fatores: podemos observar que alguns atributos possuem os mesmos valores de outros, e consequentemente, o mesmo nível de importância *fuzzy*. De acordo com o Teles (7), pelo Princípio de Pareto, apenas 20% dos problemas acarretam 80% das dificuldades. Dessa forma, aplicando esse princípio aos 36 fatores identificados, encontramos 6 fatores que representam 22,46% de peso na confiabilidade da execução da manutenção. Também consideramos normalizados todos os conjuntos *fuzzy*, pois assumem valores no intervalo [0, 1] e têm suportes finitos.

Etapa II

Definidas as concordâncias entre os especialistas, iremos avaliar o grau de atendimento dos mantenedores aos fatores identificados. Podemos avaliar a confiabilidade dos membros da equipe de manutenção tendo por referência o conjunto *fuzzy* \tilde{A} (Padrão de Qualidade). Para tanto, seguiremos os seguintes passos:

- 1) Segregar os 16 membros da equipe por célula e turma de trabalho;
- 2) Escolher 5 termos linguísticos nebulosos e valores numéricos de pertinência para avaliação do grau de atendimento dos atributos de confiabilidade humana nas diferentes turmas e células de trabalho: “Excelente (E; 1,0)”, “Muito Bom (MB; 0,8)”, “Bom (B; 0,6)”, “Regular (R; 0,4)”, “Mau (M; 0,2)”
- 3) Os termos linguísticos foram representados por funções pertinentes triangulares para denotar o grau de atendimento de cada atributo.
- 4) Aplicação de questionários de autoavaliação a cada membro da equipe de manutenção: foram elaboradas perguntas referentes ao grau de atendimento aos 36 atributos de confiabilidade humano nos seus ambientes físicos de trabalho. Após respondidos os questionários, as informações foram ajustadas ao vetor *fuzzy* de cada ambiente.
- 5) Tabulação dos valores de pertinência e Defuzzificação → Os termos fuzzy (E, MB, B, R, M) serão representados por conjuntos fuzzy, que serão defuzzificados e convertidos em valores numéricos. A Defuzzificação tem por objetivo obter um valor numérico discreto que possa representar os valores fuzzy obtidos da variável linguística (índice de atendimento ao padrão de qualidade, que significa um índice de confiabilidade humana).

Para essa operação será utilizado o método COG (*Center of Gravity*), cuja fórmula é exibida abaixo.

$$R_{ij} = \frac{\sum_{j=1}^k w_j * r_{ij}}{\sum_{j=1}^k w_j}$$

Onde,
 w_j são os pesos fuzzy dos atributos
 r_{ij} é o grau de atendimento de cada atributo

- 6) Determinar o grau de inclusão do conjunto fuzzy Padrão de Qualidade no conjunto fuzzy Desempenho do Inspetor: seja A o conjunto fuzzy que representa o Padrão de Qualidade e B o conjunto fuzzy que representa o Desempenho dos membros da Equipe, então a o grau de inclusão do conjunto Padrão de Qualidade no conjunto Desempenho dos membros da Equipe será:

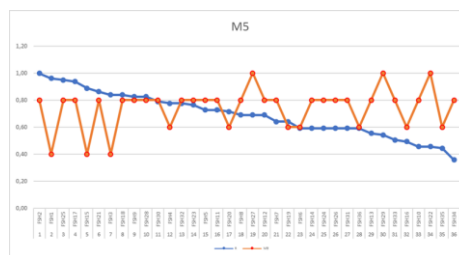
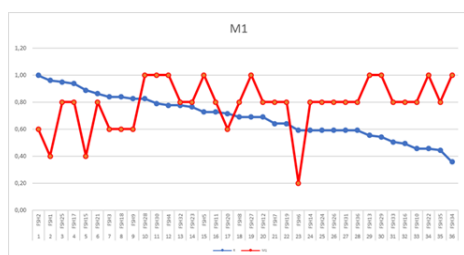
$$S(A,B) = \frac{1}{Card(A)} \left\{ Card(A) - \sum_{x \in X} \max\{0, A(x) - B(x)\} \right\}$$

4 DISCUSSÃO

4.1 Análise da Equipe

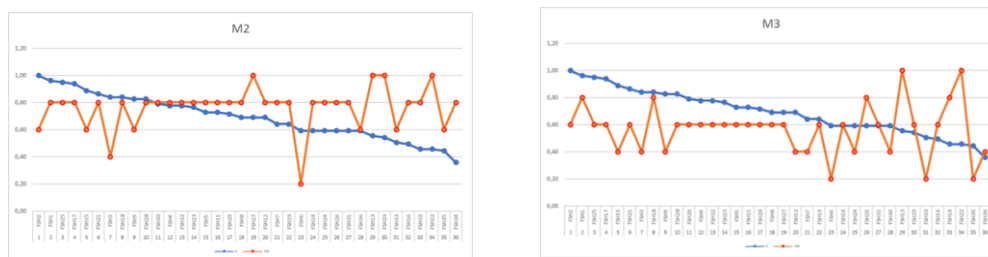
4.1.1) Atividade Não Operacional

4.1.1.1) Gestão



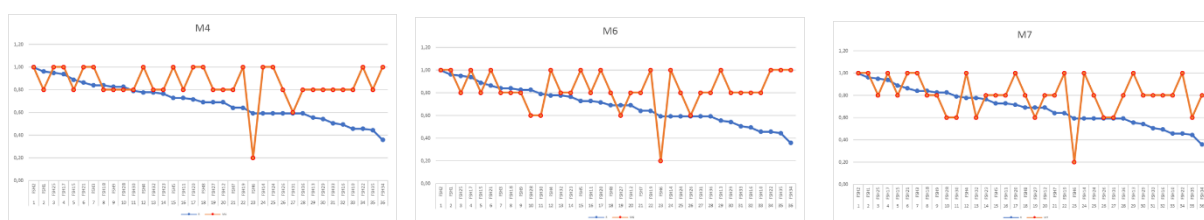
Gráf. 1 a, b – Representação gráfica do desempenho de membros da equipe / GESTÃO. Fonte: Rui Tavares, 2021.

4.1.1.2) PCM

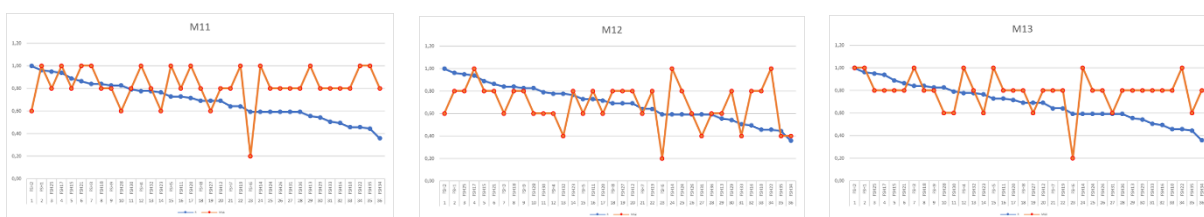


Gráf.2 a, b – Representação gráfica do desempenho de membros da equipe / PCM. Fonte: Rui Tavares, 2021.

4.1.2) Atividade Operacional 4.1.2.1) Eletromecânicos (ELM)



Gráf.3 a, b, c – Representação gráfica do desempenho de membros da equipe / ELM TA. Fonte: Rui Tavares, 2021

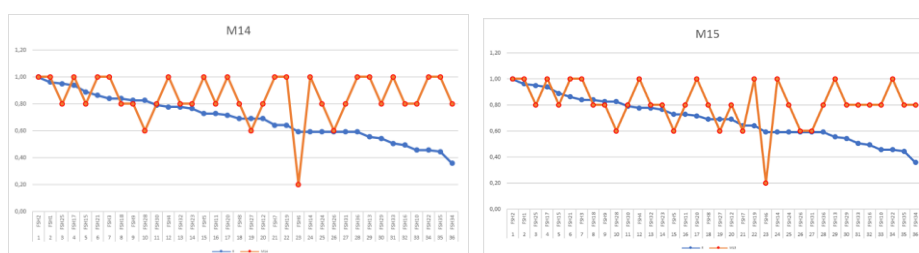


Gráf.4 a, b, c – Representação gráfica do desempenho de membros da equipe / ELM TB. Fonte: Rui Tavares, 2021

4.1.2.2) Lubrificadores (LUB)

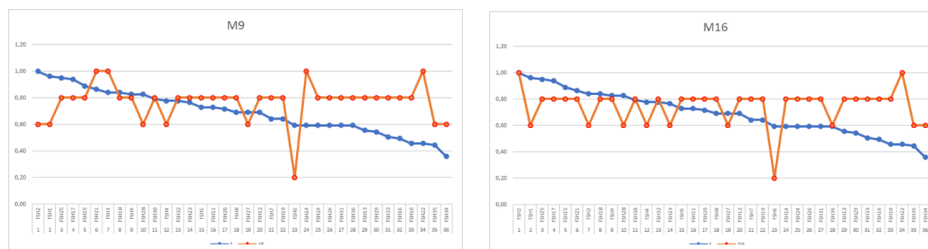


Gráf.5 a, b – Representação gráfica do desempenho de membros da equipe / LUB TA. Fonte: Rui Tavares, 2021



Gráf.6 a, b – Representação gráfica do desempenho de membros da equipe / LUB TB. Fonte: Rui Tavares, 2021

4.1.2.3) Operadores de equipamentos (OPER)

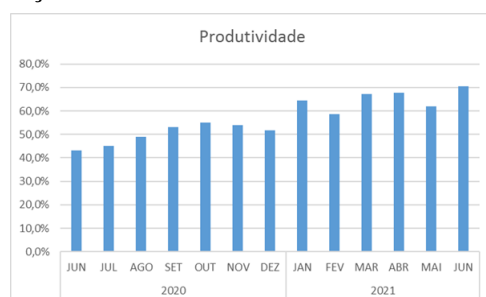


Gráf.7 a, b – Representação gráfica do desempenho de membros das equipes / OPER TA e OPER TB. Fonte: Rui Tavares, 2021

4.2 Análise da Produtividade da Equipe

No primeiro ano de operação, não foram considerados períodos de férias para equipe, em função de todos os membros (exceto um que foi transferido de outro setor e que desempenha atividade de apoio não operacional) terem iniciado suas atividades com o início do projeto, de forma que nenhum membro iria gozar férias. Os dados da produtividade indicam que a equipe evoluiu de 43% a 52% durante o ano de 2020. Até o mês de Jun21, a equipe atingiu o patamar de 70%.

Tab. 5 – Evolução do indicador de Produtividade. Fonte: Rui Tavares, 2021.



4.3 Análise da Confiabilidade do Sistema

De posse dos valores de confiabilidade inferidos de cada membro da equipe, podemos calcular a confiabilidade do sistema de gestão da manutenção de frota.

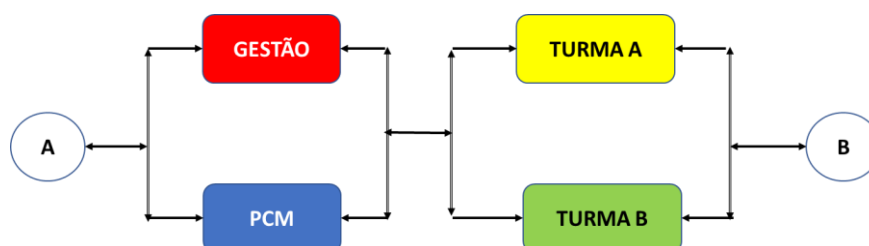


Fig.5 – Diagrama de Blocos do Sistema de Gestão de Frota. Fonte: Rui Tavares, 2021.

As diversas células que compõe o sistema estão configuradas em paralelo, de forma que pode ser aplicada a equação

$$R(t) = \{1 - ((1 - \text{Gestão}) \times (1 - \text{PCM}))\} \times \{1 - ((1 - \text{TA}) \times (1 - \text{TB}))\}$$

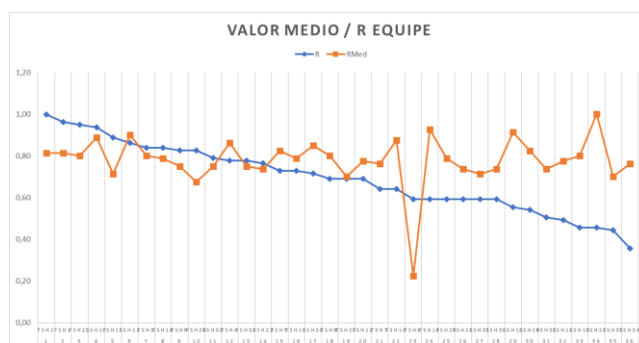
Assim,

para o cálculo da confiabilidade do Sistema de Gestão de Frota, teremos:

$$R(t) = \{1 - ((1 - 0,8971) \times (1 - 0,8406))\} \times \{1 - ((1 - 0,9992) \times (1 - 0,9999))\} = 0,9836$$

Tab. 6 – Resumo dos resultados das avaliações de confiabilidade humana da equipe. Fonte: Rui Tavares, 2021

ITEM	TIPO ATIV	TURNO	TURMA (Tt)	MANT	CELULA (Ct)	Q _{SRA}	R _i	R _{Ct}	R _{Tt}	R _{Tsistema}
1	NOP	10 X 4	ADMB	M1	GESTÃO	0,6920	0,7572	0,8971	0,8971	0,9836
2				M5			0,5760			
3			ADMA	M2	PCM		0,6022	0,8406	0,8406	
4				M3			0,5992			
5	OPE	15 X 15	TA	M4	ELM1		0,7876	0,9151	0,9992	
6				M8			0,6386			
7				M6	ELM2		0,6000	0,8918		
8				M7			0,7005			
9				M10	ABAST1		0,7233	0,9166		
10				M9			0,6986			
11			TB	M11	ELM3		0,8725	0,9619	0,9999	
12				M12			0,7008			
13				M13	ELM4		0,5982	0,9385		
14				M14			0,8469			
15				M15	ABAST2		0,7139	0,9666		
16				M16			0,8833			



Gráf.8 – Representação gráfica do grau médio de confiabilidade da equipe sob a ótica da importância dos fatores. Fonte: Rui Tavares, 2021.

5 CONCLUSÕES

5.1 Considerações Gerais

- O sistema analisado possui um ótimo nível de confiabilidade. Para o contexto do cenário analisado e mantidas as condições operacionais, consegue atender as demandas, mas exigirá aperfeiçoamento;
- O elemento de menor nível de confiabilidade do sistema é a célula de PCM. Os níveis de confiabilidade individuais dos seus componentes são baixos, mas quando combinados apresentam resultado satisfatório. Esse resultado não esconde o fato de haver necessidade de corrigir deficiências desse setor, extremamente importante para o desempenho do sistema;
- O fato de não ter redundância (inexistência de supervisores de manutenção) pode reduzir o nível de confiabilidade da função Gestão. Esse nível não pode ficar dependente de um coordenador (M1), mesmo que esse apresente atualmente um bom nível de confiabilidade;
- Membros de algumas células das turmas de execução de manutenção apresentam níveis de confiabilidade individual baixos, mas quando combinados, alcançam resultados satisfatórios. Pode-se inferir que algumas células estão descompensadas, exigindo mais de um membro, podendo gerar tensões e conflitos internos;
- Os níveis de confiabilidades das duas turmas de execução apresentam resultados aproximados, com variações pouco significantes.

5.2 Contribuições para o aperfeiçoamento dos processos

Não existem muitos trabalhos utilizando esta metodologia aplicados à manutenção de equipamentos móveis, sobretudo em empresas de mineração. Dessa forma, essa análise contribui para o desenvolvimento de estudos nesse importante segmento industrial.

Embora esse trabalho tenha sido calcado em uma equipe de manutenção, nada impede que seja estendido a outros setores. A equipe avaliada era composta apenas de colaboradores do sexo masculino, em sua maioria de atuação operacional, todos com nível de escolaridade médio, casados e com dependentes. Certamente que a inclusão de colaboradores do sexo feminino e/ou com outros fatores pessoais trará novos e importantes *inputs*

à avaliação. Da mesma forma, sua aplicação em equipes com processos diversos àqueles de manutenção de equipamentos, permitirá aos gestores perceber sutis nuances (algumas talvez não tão sutis) da rotina de trabalho, identificar necessidades, pontos de instabilidade, oportunidades de melhoria, e muito mais. Permite, inclusive, de forma mais imediata, identificar o grau de satisfação, motivação e adaptação dos colaboradores em relação ao desempenho de suas funções (feedback para a gestão).

Toda a modelagem deste trabalho teve como objetivo analisar o grau de atendimento da equipe de manutenção e corroborar para expandir a visão sistêmica da gestão de manutenção de frota. Entretanto, também pode ser utilizada pelo setor de Recursos Humanos para recrutamento, seleção e treinamento.

5.3 Contratação de Colaboradores e Treinamento das Equipes

- a) O tratamento matemático de medidas subjetivas permitiu a obtenção de índices de confiabilidade humana para cada um dos membros da equipe de manutenção. Um índice maior significa melhor atendimento aos padrões de qualidade da equipe e que representa os requisitos de um candidato alinhado com as necessidades da empresa. Assim, a utilização dessa ferramenta heurística pode contribuir para auxiliar no processo de tomada de decisão de contratação de colaboradores;
- b) Com a definição dos padrões de qualidade desejados, podem ser aplicados testes específicos para avaliar o grau de atendimento dos candidatos às funções propostas;
- c) Elaboração de descrições de cargos mais assertivas e voltadas às necessidades específicas da empresa;
- d) Elaboração de perguntas a serem realizadas durante as entrevistas, corroborando com a experiência dos entrevistadores;
- e) Identificação de necessidades específicas de treinamento. Nos perfis dos colaboradores fica evidente que o treinamento recebido na empresa é insuficiente (atributo PSF 6).

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] SOUZA, Marinilda Lima; PEREIRA-GUIZZO, Camila de Sousa; SANTOS, Alex Álisson Bandeira. Fatores Humanos Aplicados aos Processos Produtivos e à Prevenção de Acidentes: Uma Revisão da Literatura. Revista LEVS, UNESP, Marília, v. 14, p. 203- 217, nov. 2014.
- [2] MORÉ, J. D.; TANSCHKEIT, R.; VELLASCO, M. M. B. R.; SZWARCMAN, D. M.; PACHECO, Marco Aurelio. Estudo da confiabilidade humana na indústria do petróleo: uma abordagem fuzzy. In: IX Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, 2009, Brasília, DF. Anais do SBAI 2009, 2009, v. 1, p. 1- 6.
- [3] MORÉ, J. D.. Aplicação da Lógica Fuzzy na Avaliação da Confiabilidade Humana nos Ensaios não Destrutivos por Ultrassom. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 173 f., 2004
- [4] TANSCHKEIT, R. Sistemas fuzzy. In: VI Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, 2003, Bauru, SP. Anais de Minicursos do VI SBAI, 2003.
- [5] AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE (USA). A Manager's Guide to Reducing Human Errors: Improving Human Performance in the Process Industries. API PUBLICATION 770. Washington, DC: API Publishing Services, 2001.
- [6] HSU, HSI-MEI; CHEN, CHEN-TUNG. Aggregation of fuzzy opinions under group decision making. Fuzzy Sets and Systems, v. 79, n.3, p. 279-285, 1996.
- [7] TELES, J. Bíblia do RCM – o guia completo e definitivo da manutenção centrada na confiabilidade na era da indústria 4.0, Engeteles Editora, p.228, 2019.