▪ RAHIS, Revista de Administração Hospitalar e Inovação em Saúde Vol. 17, n.4 ▪ Belo Horizonte, MG ▪ OUT/DEZ 2020 ▪ e-ISSN: 2177-2754 e ISSN impresso: 1983-5205 ▪ DOI: https://doi.org/10.21450/rahis.v17i4.6455 ▪ Submetido: (21/09/2020) ▪ Aceito: (22/12/2020) ▪ Sistema de avaliação: Double Blind Review ▪ p. 83 – 99 ▪

PRIORIZAÇÃO DE DESPERDÍCIOS NA MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS MÉDICOS EM OPERAÇÕES HOSPITALARES

WASTE PRIORITIZATION IN THE MAINTENANCE OF MEDICAL EQUIPMENT IN HOSPITAL OPERATIONS

PRIORIZACIÓN DE DESPERDICIOS EN EL MANTENIMIENTO DE EQUIPOS MÉDICOS EN OPERACIONES DE HOSPITALES

Luciano Santos
UFPB
luciano@ct.ufpb.br

Aline Lima
UFPB
aline16satur@gmail.com

Gabriel Nascimento
UFPB
gabrielhenrique.hpn@gmail.com

Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Creative Commons Attribution License
This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License
Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Creative Commons Attribution License

RESUMO

Contribuindo para a melhoria dos indicadores de desempenho na manutenção de equipamentos médico-hospitalares, esse artigo apresenta um modelo de priorização de desperdícios capaz de dar suporte ao processo de tomada de decisões e direcionar esforços para a eliminação de desperdícios. Para tanto, utiliza-se a técnica Analytic Hierarchy Process (AHP) para relacionar e quantificar o impacto dos desperdícios nos indicadores de desempenho da manutenção. O objeto do estudo foi um hospital privado localizado em João Pessoa (PB) que tem passado por uma reestruturação do setor de Engenharia Clínica. O processo de avaliação foi conduzido de forma participativa, dentro da abordagem de pesquisa-ação, envolvendo pesquisadores externos e internos ao hospital estudado. Os resultados demonstraram que o modelo desenvolvido é capaz de relacionar e quantificar o impacto de cada desperdício nos diferentes indicadores de desempenho da manutenção, sinalizando aqueles desperdícios que devem ser priorizados. Além disso, a análise de sensibilidade aplicada ao modelo permitiu demonstrar a variação da prioridade dos desperdícios em função da variação da importância dos indicadores.

Palavras-chave: Engenharia Clínica. Equipamentos médicos. *Analytic Hierarchy Process*.

ABSTRACT

Contributing to improving the performance indicators of medical equipment maintenance, this article presents a waste prioritization model capable of supporting the decision-making process and driving efforts towards waste elimination. The Analytic Hierarchy Process (AHP) technique was used to relate and quantify the impact of wastes on maintenance performance indicators. The target of this study was a private hospital located in João Pessoa (PB), which is under a restructuring of the Clinical Engineering sector. The assessment process was conducted in a participative manner, within the action research approach, involving external and internal researchers. The results showed that the developed model is able to relate and quantify the impact of each waste in the different maintenance performance indicators, pointing out those waste that must be prioritized. In addition, the sensitivity analysis applied to the model demonstrated the variation in waste priority according to the variation in the importance of the indicators.

Keywords: Clinical Engineering. Medical equipment. Analytic Hierarchy Process.

RESUMEN

Contribuyendo a la mejora de los indicadores de desempeño en el mantenimiento de equipos médicos, este artículo presenta un modelo de priorización de desperdicios capaz de apoyar la toma de decisiones y orientar los esfuerzos hacia la eliminación de desperdicios. Para ello, se utiliza la técnica Analytic Hierarchy Process (AHP) para relacionar y cuantificar el impacto de los desperdicios en los indicadores de desempeño de mantenimiento. El objeto del estudio fue un hospital privado ubicado en João Pessoa (PB) que ha experimentado una reestructuración del sector de Ingeniería Clínica. El proceso de evaluación se realizó de manera participativa, dentro del enfoque de investigación-acción, involucrando investigadores externos e internos al hospital estudiado. Los resultados mostraron que el modelo desarrollado es capaz de relacionar y cuantificar el impacto de cada desperdicio en los diferentes indicadores de desempeño de mantenimiento, señalando aquellos desperdicios que deben ser priorizados. Además, el análisis de sensibilidad aplicado al modelo demostró la variación en la prioridad de los desperdicios según la variación en la importancia de los indicadores.

Palabras-clave: Ingeniería Clínica. Equipos médicos. Analytic Hierarchy Process.

INTRODUÇÃO

A manutenção representa um dos subsistemas fundamentais para a garantia de competitividade, lucro e melhoria de desempenho em uma organização (CHOLASUKE; BHARDWA; ANTONY, 2004; KARDEC; NASCIF, 2009; EN-NHAILI; MEDDAOUI; BOUAMI, 2015). Por estar essencialmente ligada à garantia de disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos para manter o desempenho das operações (KARDEC; NASCIF, 2009), ao longo dos anos, muitas organizações passaram a investir e

incorporar esforços de manutenção que pudessem contribuir positivamente na agregação de valor às atividades (NIKOLOPOULOS *et al.*, 2003).

Os desperdícios no contexto da manutenção assumem um papel especialmente crítico, uma vez que podem culminar em diminuição de lucros, perdas de oportunidades de mercados e perdas produtivas (CHOLASUKE; BHARDWA; ANTONY, 2004). Diferentemente daqueles encontrados no âmbito do processo produtivo, os desperdícios de manutenção estão geralmente associados ao baixo desempenho dos equipamentos, a ineficiências na planta e, principalmente, aos tempos de inatividade das máquinas (CHOLASUKE; BHARDWA; ANTONY, 2004; MOSTAFA *et al.*, 2015).

Dentro do contexto hospitalar a situação não é diferente, tendo a manutenção dos equipamentos médico-hospitalares (EMH) como sendo fundamental para a prestação dos serviços de saúde. Além disso, esse processo também está sujeito a diversos tipos de ineficiências e desperdícios, que podem prejudicar a prestação de assistência à saúde, trazer riscos à vida dos pacientes assistidos, prejuízos financeiros e diminuir o desempenho dos processos de manutenção (WANG, 2012).

Tendo isso em mente, a demanda para este estudo partiu da identificação de indícios de desperdícios nos processos de manutenção em um hospital privado localizado em João Pessoa (PB) que tem passado por uma reestruturação do setor de Engenharia Clínica. Esse hospital tem empreendido esforços para melhorar o desempenho de seus processos de manutenção, oportunizando, assim, a pesquisa relatada neste artigo. Dessa maneira, este trabalho se propõe a analisar as relações existentes entre os desperdícios e o desempenho da manutenção de EMH. Especificamente, o objetivo desse artigo é verificar o impacto dos desperdícios nos indicadores de desempenho do processo de manutenção de EMH, se comprometendo a responder a seguinte questão no âmbito do hospital pesquisado: "Quais desperdícios devem ser priorizados para a melhoria no desempenho da manutenção de EMH"?

Enfatiza-se que o questionamento que norteia o desenvolvimento do artigo é motivado pela necessidade de dar suporte ao processo de tomada de decisões gerenciais, estabelecendo uma forma de priorizar a eliminação de desperdícios para melhorar o desempenho da manutenção de equipamentos médicos em operações hospitalares. Para tanto, foi desenvolvido um modelo de priorização utilizando-se da técnica de auxílio à tomada de decisão *Analytic Hierarchy Process* (AHP), que permitiu verificar o impacto dos desperdícios do processo de manutenção sobre os indicadores e priorizar aqueles desperdícios que devem ser foco de melhorias.

Além desta seção introdutória, este artigo é composto de mais quatro seções. Na próxima seção é apresentado o referencial teórico no qual o trabalho se embasa. Em seguida, são descritos os procedimentos metodológicos para coleta de dados e análise dos mesmos com a aplicação do AHP. O artigo segue com a apresentação e discussão dos resultados encontrados e as considerações finais do estudo.

REFERENCIAL TEÓRICO

Os indicadores de desempenho de manutenção são medidas capazes de representar quantitativamente o nível de desempenho de uma ou mais variáveis do processo (PARIDA; KUMAR, 2006). A literatura apresenta diversos tipos de indicadores de desempenho da manutenção, tais como o tempo médio de atendimento, tempo médio entre falhas, tempo médio para reparo, confiabilidade e tempo de disponibilidade (VIANA, 2002; PARIDA; KUMAR, 2006). Nesse contexto, avaliar a efetividade das ações tomadas por meio de indicadores demonstra-se ser fundamental para a identificação de oportunidades de melhoria, redução dos tempos de indisponibilidade, custos e desperdícios (PARIDA; KUMAR, 2006).

A realização de manutenções em excesso, esperas, transportes desnecessários, gerenciamento ineficiente de estoques, retrabalhos, baixa utilização de mão de obra e gerenciamento ineficaz de informações são alguns tipos de desperdícios que podem ser encontrados na manutenção (THIRUVENGADAM, 2009; MOSTAFA *et al.*, 2015; MOSTAFA; DUMRAK; SOLTAN, 2015;

SHOU *et al.*, 2020). Desperdícios como esses devem ser evitados nos processos de manutenção, uma vez que podem culminar em problemas de desempenho, levando à diminuição de lucros, perdas de oportunidades de mercados e perdas produtivas (CHOLASUKE; BHARDWA; ANTONY, 2004). Enfatiza-se, assim, a necessidade de se adotar estratégias que possibilitem a redução de perdas e a eliminação de desperdícios para obtenção de um melhor desempenho na manutenção (SMITH; HAWKINGS, 2004; BEN-DAYA *et al.*, 2009).

Uma questão fundamental que norteia a eliminação de desperdícios está relacionada à tomada de decisões em relação aos desperdícios que devem ser priorizados para a melhoria dos indicadores de manutenção. Por um lado, a literatura da área apresenta alguns trabalhos que tiveram como objetivo a identificação de desperdícios na manutenção. Em uma varredura na literatura, pode-se encontrar os trabalhos de Sawhney, Kannan e Li (2009), Thiruvengadam (2009), En-Nhaili, Meddaoui e Bouami (2015), Duran, Capaldo e Acevedo (2017) e Shou *et al.* (2020), que utilizaram a ferramenta *maintenance value stream mapping* (MVSM) para identificar desperdícios no processo de manutenção. Entretanto, mesmo que esses trabalhos tenham relacionado os desperdícios identificados com os indicadores de desempenho da manutenção, eles não abordaram a priorização de melhorias para esses desperdícios. Além disso, nenhum desses trabalhos abordou manutenção de EMH, tema ainda pouco explorado no âmbito da Engenharia Clínica.

Por outro lado, ao buscar evidências na literatura fora da área de manutenção, é possível encontrar os trabalhos de Souza e Carpinetti (2014), Arunagiri e Gnanavelbabu (2016), Ratlalan, Tama e Sugiono (2017) e Sutrisno *et al.* (2020), que estabeleceram métodos de priorização de desperdícios, embora focando no processo produtivo e não na manutenção de equipamentos. Enquanto Souza e Carpinetti (2014) e Sutrisno *et al.* (2020) se apoiaram na técnica *failure mode and effect analysis* (FMEA), Arunagiri e Gnanavelbabu (2016) e Ratlalan, Tama e Sugiono (2017) utilizaram o AHP, uma técnica mais específica para a finalidade de priorização de elementos de um sistema.

No âmbito das técnicas de priorização, o AHP se destaca como uma ferramenta multicritério bastante utilizada para avaliação e tomada de decisão, uma vez que permite a seleção, o ranqueamento e a priorização de elementos em situações que envolvem decisões baseadas em critérios dependentes do julgamento humano (VAIDYA; KUMAR, 2006; SAATY; VARGAS, 2012). Na literatura de manutenção é possível encontrar diversas aplicações do AHP voltadas, por exemplo, para seleção e ranqueamento de políticas de manutenção (GOOSSENS; BASTEN, 2015), priorização de equipamentos críticos para manutenção (LABIB; WILLIAMS; CONNOR, 1998), identificação e priorização de desperdícios (ARUNAGIRI; GNANAVELBABU, 2016; RATLALAN; TAMA; SUGIONO, 2017), entre outros.

As aplicações do AHP são menos frequentes no contexto de manutenção de EMH. Taghipour, Banjevic e Jardine (2011) e Hutagalung e Hasibuan (2019), por exemplo, estabeleceram critérios para determinação da criticidade de EMHs e utilizaram o AHP para priorizar os EMH e estabelecer diretrizes para a seleção de políticas de manutenção. Destacam-se também os resultados obtidos por Houria *et al.* (2016), que utilizaram uma abordagem combinada de técnicas AHP-TOPSIS-MILP para determinar a criticidade dos EMH, ranquear as estratégias de manutenção, e selecionar as estratégias adequadas para cada EMH. Jamshidi *et al.* (2015) alcançam resultados análogos por meio da proposição de um *framework* para priorização de equipamentos e estabelecimento de um método para seleção de estratégias de manutenção.

Apesar das contribuições já realizadas, evidencia-se escassez de estudos que abordem quantitativamente o impacto dos desperdícios no processo de manutenção nos indicadores de desempenho da manutenção. No entanto, há evidências de que técnicas de priorização multicritério, como o AHP, demonstram ser especialmente aplicáveis ao processo de tomada de decisões na manutenção (TRIANTAPHYLLOU *et al.*, 1997). Além disso, aplicações bem-sucedidas do AHP no contexto de manutenção de EMH (TAGHIPOUR; BANJEVIC; JARDINE, 2011; HOURIA *et al*, 2016; HUTAGALUNG; HASIBUAN, 2019), e priorização de desperdícios (ARUNAGIRI; GNANAVELBABU, 2016; RATLALAN; TAMA; SUGIONO, 2017) sinalizam a viabilidade de aplicação desse método para o objetivo definido nesse artigo.

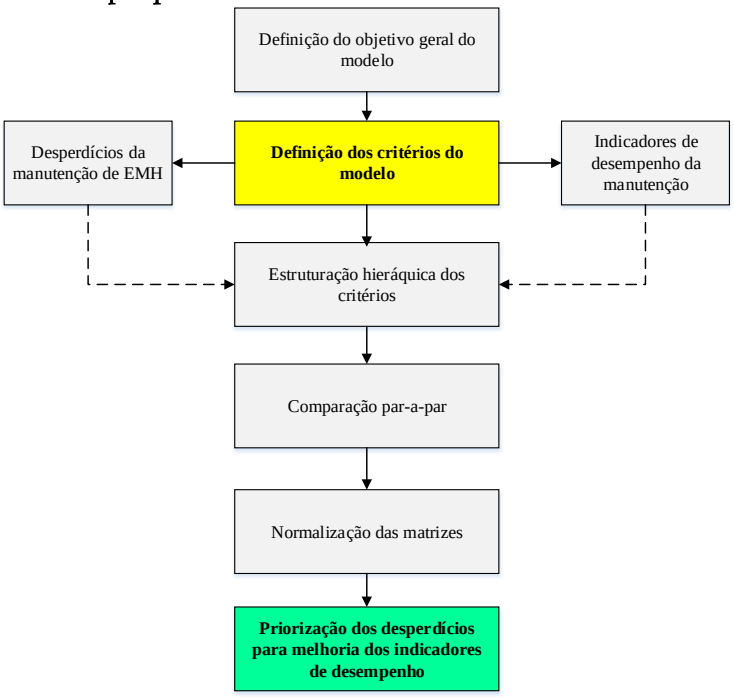
PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O ambiente desta pesquisa é um hospital localizado na cidade de João Pessoa (PB) que faz parte de um grupo privado de serviços de saúde que possui mais de 30 hospitais no Brasil e também atua em outros segmentos do setor, como centros de diagnóstico por imagem, planos de saúde, entre outros. Na unidade hospitalar de João Pessoa, o setor responsável pela manutenção de EMH, a Engenharia Clínica, é fundamental para garantir que a capacidade de atendimento dos pacientes não seja comprometida. Assim, a pesquisa abrangeu os processos de manutenção gerenciados por esse setor, focando inicialmente no processo de manutenção corretiva.

A identificação de desperdícios e indicadores de desempenho foi realizada em uma pesquisa anterior a este trabalho (NASCIMENTO, 2020), mas que compõe o projeto de pesquisa no qual este artigo está inserido. Assim, os desperdícios e indicadores provenientes do trabalho de Nascimento (2020) representam os dados secundários de entrada para quantificar o impacto dos desperdícios nos indicadores de desempenho da manutenção de EMH do hospital selecionado.

De posse dos dados de entrada, este artigo buscou estabelecer um modelo capaz de apontar quais desperdícios devem ser priorizados para melhoria nos indicadores de desempenho da manutenção de EMH. Para alcançar o objetivo definido, foi aplicada a técnica de auxílio à tomada de decisão AHP, que consiste, basicamente, de cinco etapas principais: (1) estabelecimento de um objetivo geral, (2) definição dos critérios que influenciam na tomada de decisões, (3) estruturação dos critérios de maneira hierárquica com diferentes níveis, (4) comparação par-a-par entre os critérios e, (5) normalização das matrizes proveniente da comparação par-a-par (VAIDYA; KUMAR, 2006). A Figura 1 apresenta o procedimento geral da pesquisa relatada aqui.

Figura 1 – Procedimentos da pesquisa



Fonte: elaborado pelos autores

De acordo com a linguagem do procedimento tradicional do AHP, os indicadores de manutenção correspondem aos critérios, enquanto os desperdícios correspondem às alternativas. O AHP permite que seja realizada uma comparação par-a-par entre desperdícios e indicadores, estabelecendo pesos de acordo com a escala de Saaty e Vargas (2012) para a determinação de importância e impacto, conforme mostra o Quadro 1.

Quadro 1 – Escalas de avaliação

Escala fundamental de importância		Escala fundamental de impacto	
Definição	Intensidade da Importância	Definição	Intensidade do Impacto
Extremamente mais importante	9	Extremamente mais impactante	9
Muito fortemente mais importante	7	Muito fortemente mais impactante	7
Fortemente mais importante	5	Fortemente mais impactante	5
Moderadamente mais importante	3	Moderadamente mais impactante	3
Igualmente importante	1	Igualmente impactante	1
Valores intermediários	2, 4, 6, 8	Valores intermediários	2, 4, 6, 8

Fonte: adaptado de Saaty e Vargas (2012)

A escala de importância no Quadro 1 foi destinada à avaliação da importância relativa entre os indicadores de desempenho. Já a escala de impacto foi estabelecida para a comparação par-a-par entre desperdícios, realizada em relação a cada um dos indicadores.

A pesquisa de campo foi conduzida de forma participativa, dentro da abordagem de pesquisa-ação, envolvendo pesquisadores externos e internos ao hospital estudado. A avaliação da importância dos indicadores e do impacto dos desperdícios nesses indicadores foi realizada de forma consensual por três avaliadores, sendo dois avaliadores externos à organização estudada e um avaliador proveniente do ambiente de manutenção estudado, responsável pela Engenharia Clínica. Além de fornecer dados importantes para a avaliação, o responsável pela Engenharia Clínica verificou cada item avaliado e sua pertinência em relação à realidade do processo. Deve-se ressaltar que a atribuição dos pesos teve como base entrevistas e observações *in loco*, realizadas em função de um projeto de pesquisa mais abrangente, que incluiu visitas regulares ao hospital durante um período de 6 meses (ao todo, foram realizados 20 encontros da equipe no hospital).

Com o intuito de dar suporte ao desenvolvimento do modelo e à análise dos dados coletados, utilizou-se o *software* SuperDecisions, que viabiliza os cálculos e a normalização da matriz da gerada a partir da inserção dos pesos das avaliações.

Para verificar a existência de inconsistência nas avaliações realizadas, Saaty e Vargas (2012) recomendam que a razão de consistência (*consistency ratio* – CR) seja sempre inferior a 10%, caso contrário, sugere-se reavaliar a hierarquia ou os julgamentos. Essa condição foi atendida em todas as avaliações realizadas neste trabalho.

RESULTADOS

A construção do modelo AHP parte da definição do objetivo geral, que neste caso se refere à melhoria no desempenho da manutenção de EMH no hospital estudado. Seguindo a hierarquia do modelo, foram identificados os indicadores e os desperdícios na manutenção. Conforme já mencionado, os indicadores e os desperdícios foram identificados previamente por Nascimento (2020), resultantes de um trabalho de mapeamento do fluxo de valor na manutenção corretiva. A descrição dos indicadores e desperdícios utilizados no modelo podem ser constatados, respectivamente, nos Quadros 2 e 3.

Quadro 2 – Indicadores de desempenho

Indicadores	Definição
Disponibilidade do equipamento	Representa o tempo no qual os equipamentos estão em condições de executar sua função.
Tempo médio entre falhas (MTBF)	Indica tempo entre intervenções corretivas dentro de um período. É dado pelo quociente entre as horas disponíveis dos equipamentos para operação e o número de intervenções corretivas.
Tempo médio até o reparo (MTTO)	Corresponde ao tempo que antecede o reparo. Indica o tempo requerido para organizar e coordenar as atividades necessárias para realizar o reparo.
Tempo médio para reparo (MTTR)	Tempo dedicado para a execução do reparo.
Tempo médio entre o reparo e conclusão da ordem de serviço (MTTY)	Diz respeito ao tempo pós-reparo até a finalização da ordem de serviço.

Fonte: adaptado de Nascimento (2020)

Quadro 3 – Desperdícios da manutenção

Desperdícios	Definição
Notificação formal realizada pelo responsável da Engenharia Clínica	A notificação formal da necessidade de manutenção foi considerada um desperdício, já que, na prática, era feita informalmente.
Retrabalho na execução do reparo	Desperdício causado devido à possibilidade de erros na execução do reparo. Também está relacionado à escassez de recursos de suporte para realização do reparo, desorganização e restrição espacial da Engenharia Clínica.
Espera para atendimento inicial	Desperdício de espera que ocorre desde a realização da notificação informal pelos setores solicitantes até o atendimento inicial. É causado devido à sobrecarga de ordens de serviço, sobrecarga de atividades administrativas e ausência de um procedimento de priorização e sequenciamento das ordens de serviço.
Espera para a realização do reparo	Desperdício de espera que ocorre após o atendimento inicial até a realização do reparo. Ocorre devido a atividades que não agregam valor, como a alocação de recursos, à baixa capacidade de atendimento do setor e sobrecarga de ordens de serviço, e demais atividades administrativas.
Espera para abertura da notificação formal	Desperdício de espera encontrado após a realização da notificação informal, até que ocorra a abertura da notificação formal. Na prática, a abertura da notificação formal é realizada apenas após o reparo, devido ao fluxo ineficaz de informações.
Transportes desnecessários	Desperdício decorrente da necessidade de realizar o transporte de ferramentas e recursos entre os setores. Esse fator pode ser agravado devido à não realização da notificação formal pelos setores.
Movimentações desnecessárias entre os setores	Desperdício decorrente da necessidade de movimentação entre os setores na busca por informações e recursos necessários para a realização do reparo.

Fonte: adaptado de Nascimento (2020)

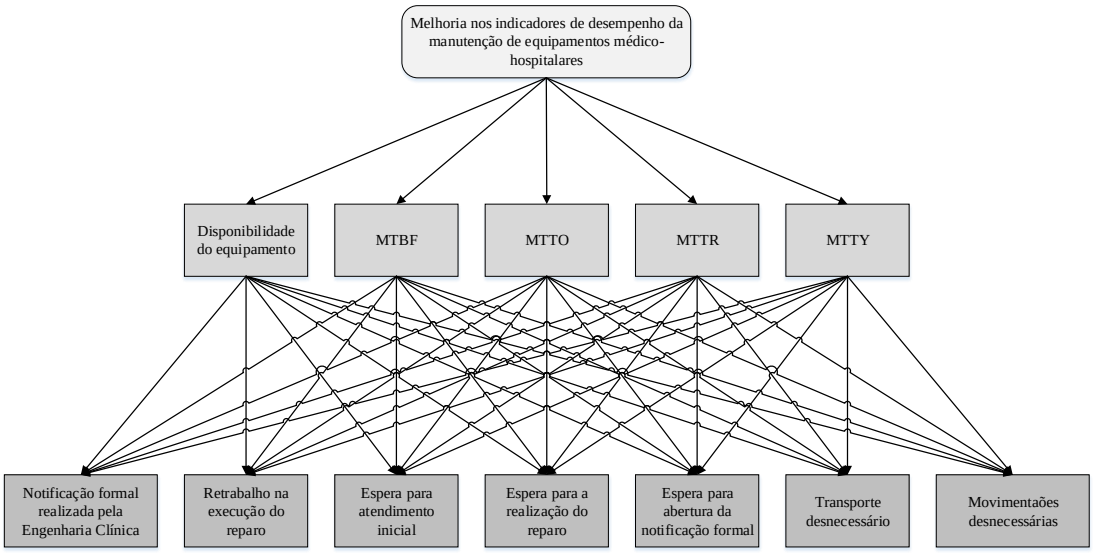
É importante destacar que os indicadores identificados no Quadro 2 já faziam parte (usando nomenclatura específica) do sistema de gerenciamento da Engenharia Clínica, já que cada hospital do

grupo deve reportar seus resultados à sede, usando uma mesma base de comparação. No entanto, nem todos os indicadores do sistema de gerenciamento foram escolhidos para compor este estudo, uma vez que foi necessário selecionar aqueles relacionados diretamente ao processo, considerando que os desperdícios foram identificados nessa perspectiva.

Priorização

Inicialmente, a fim de prover melhoria nos indicadores de desempenho da manutenção de EMH do hospital, buscou-se estruturar visualmente as possíveis relações existentes entre os diferentes elementos da hierarquia: objetivo geral, indicadores e desperdícios. A hierarquização dos critérios e alternativas do modelo de priorização pode ser verificada na Figura 2.

Figura 2 – Hierarquização dos critérios do modelo de priorização



Fonte: elaborado pelos autores

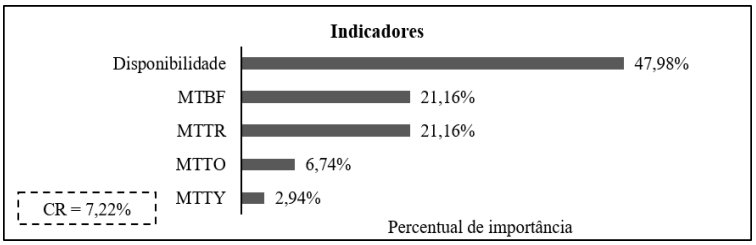
Seguindo o procedimento de avaliação, procedeu-se uma comparação par-a-par: (*i*) entre os indicadores, com o intuito de verificar a importância relativa dos mesmos em relação ao objetivo, e (*ii*) entre os desperdícios, buscando verificar o impacto dos mesmos em cada um dos indicadores. Utilizando-se da escala fundamental de importância (Quadro 1), foi possível avaliar a importância relativa dos indicadores para atingir objetivo de melhorar o desempenho da manutenção (Tabela 1). Os dados da importância relativa foram inseridos no SuperDecisions que, por meio da normalização dos dados provenientes da comparação par-a-par, indicou o percentual de importância dos indicadores em relação ao objetivo do modelo, tal como mostra a Figura 3.

Tabela 1 – Importância relativa dos indicadores de desempenho

Importância dos indicadores	Disponibilidade	MTTY	MTTO	MTBF	MTTR
Disponibilidade	1	9	8	3	3
MTTY	1/9	1	1/5	1/7	1/7
MTTO	1/8	5	1	1/5	1/5
MTBF	1/3	7	5	1	1
MTTR	1/3	7	5	1	1

Fonte: elaborado pelos autores

Figura 3 – Percentuais de importância dos indicadores



Fonte: elaborado pelos autores

A partir da Figura 3, é possível constatar que a disponibilidade do equipamento se trata de um dos indicadores que mais contribui para o alcance do objetivo geral, apresentando um percentual de importância igual a 47,98%. Os demais indicadores apresentaram resultados inferiores, tendo o MTBF e MTTR um percentual de importância equivalente a 21,16%, enquanto o MTTO e MTTY apresentaram contribuições de 6,74% e 2,94%, respectivamente. A inconsistência obtida para essa avaliação foi de 7,22%, estando dentro da faixa recomendada por Saaty e Vargas (2012), o que indica a existência de coerência no julgamento feito pelos avaliadores.

O segundo passo do procedimento de avaliação foi a comparação par-a-par dos desperdícios em relação aos indicadores de desempenho. Nesse caso, um julgamento de um maior impacto significa que o desperdício pode prejudicar muito o indicador de desempenho em questão. As Tabelas 2, 3, 4, 5 e 6 demonstram os resultados dessas avaliações.

Tabela 2 – Comparação par-a-par dos desperdícios em relação à disponibilidade

Impactos na Disponibilidade	Espera para abertura da notificação	Espera para atendimento inicial	Espera para realização do reparo	Movimentação desnecessária	Notificação formal	Retrabalho	Transportes desnecessários
Espera para abertura da notificação	1	7	3	5	9	3	5
Espera para atendimento inicial	1/7	1	1/5	1/3	1	1/7	1/5
Espera para realização do reparo	1/3	5	1	3	5	1	3
Movimentação desnecessária	1/5	3	1/3	1	5	1/3	3
Notificação formal	1/9	1	1/5	1/5	1	1/7	1/3
Retrabalho	1/3	7	1	3	7	1	5
Transportes desnecessários	1/5	5	1/3	1/3	3	1/5	1

Fonte: elaborados pelos autores

Tabela 3 – Comparação par-a-par dos desperdícios em relação ao MTBF

Impactos no MTBF	Espera para abertura da notificação	Espera para atendimento inicial	Espera para realização do reparo	Movimentação desnecessária	Notificação formal	Retrabalho	Transportes desnecessários
Espera para abertura da notificação	1	5	1	3	7	1/7	3
Espera para atendimento inicial	1/5	1	1/5	1/5	1	1/9	1/3
Espera para realização do reparo	1	5	1	1	7	1/5	5
Movimentação desnecessária	1/3	5	1	1	5	1/7	3
Notificação formal	1/7	1	1/7	1/5	1	1/9	1/5
Retrabalho	7	9	5	7	9	1	9
Transportes desnecessários	1/3	3	1/5	1/3	5	1/9	1

Fonte: elaborado pelos autores

Tabela 4 – Comparação par-a-par dos desperdícios em relação ao MTTO

Impactos no MTTO	Espera para abertura da notificação	Espera para atendimento inicial	Espera para realização do reparo	Movimentação desnecessária	Notificação formal	Retrabalho	Transportes desnecessários
Espera para abertura da notificação	1	1	1/3	1/3	5	3	1/3
Espera para atendimento inicial	1	1	1/9	1/5	1	1/3	1/3
Espera para realização do reparo	3	9	1	1	7	3	3
Movimentação desnecessária	3	5	1	1	9	5	3
Notificação formal	1/5	1	1/7	1/9	1	1/3	1/5
Retrabalho	1/3	3	1/3	1/5	3	1	1/3
Transportes desnecessários	3	3	1/3	1/3	5	3	1

Fonte: elaborado pelos autores

Tabela 5 – Comparação par-a-par dos desperdícios em relação ao MTTR

Impactos no MTTR	Espera para abertura da notificação	Espera para atendimento inicial	Espera para realização do reparo	Movimentação desnecessária	Notificação formal	Retrabalho	Transportes desnecessários
Espera para abertura da notificação	1	1	1	1/5	1	1/3	1/5
Espera para atendimento inicial	1	1	1	1/5	1	1/3	1/5
Espera para realização do reparo	1	1	1	1/5	1	1/3	1/5
Movimentação desnecessária	5	5	5	1	5	3	1
Notificação formal	1	1	1	1/5	1	1/3	1/5
Retrabalho	3	3	3	1/3	3	1	1/3
Transportes desnecessários	5	5	5	1	5	3	1

Fonte: elaborado pelos autores

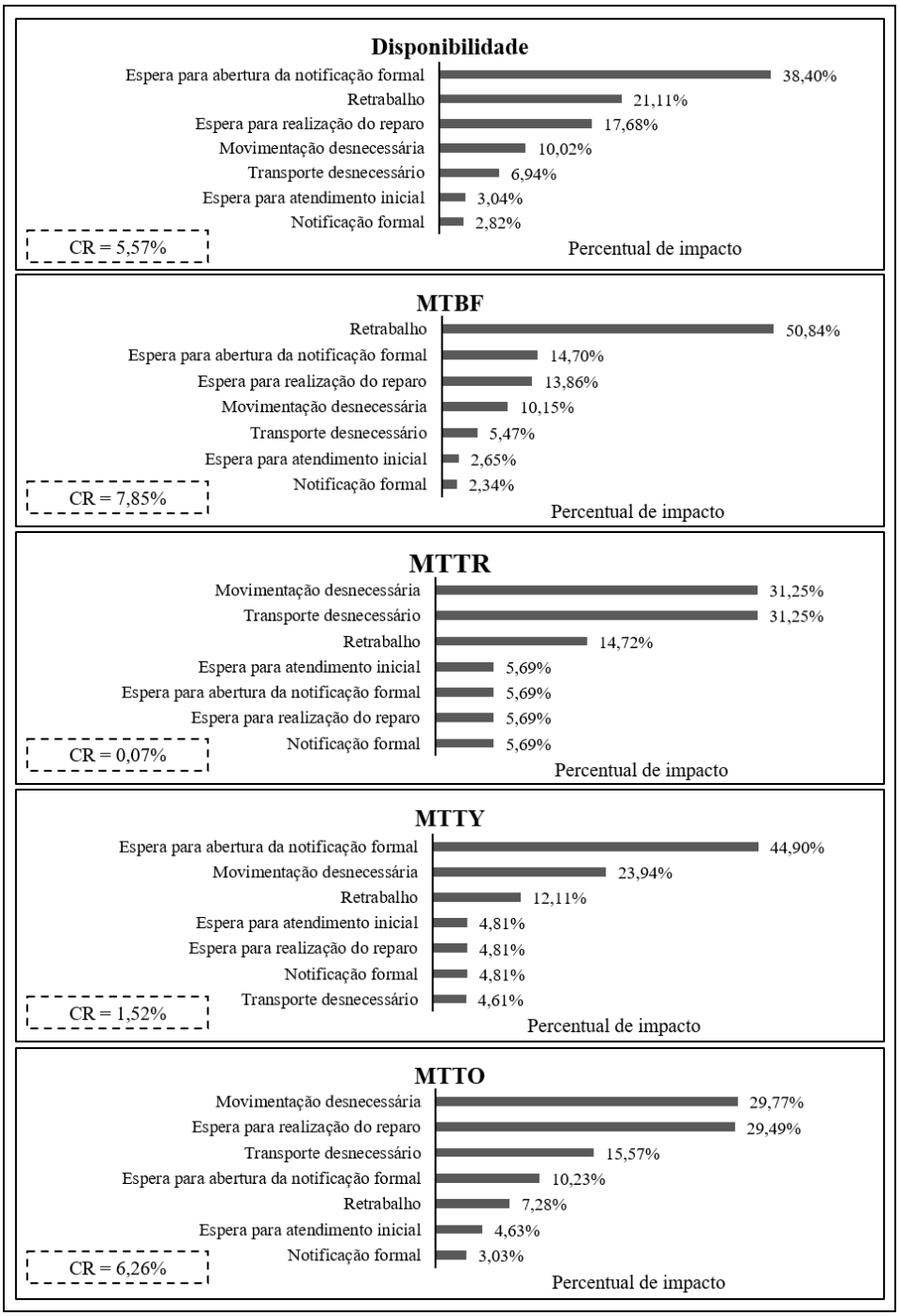
Tabela 6 – Comparação par-a-par dos desperdícios em relação ao MTTY

Impactos no MTTY	Espera para abertura da notificação	Espera para atendimento inicial	Espera para realização do reparo	Movimentação desnecessária	Notificação formal	Retrabalho	Transportes desnecessários
Espera para abertura da notificação	1	7	7	3	7	5	9
Espera para atendimento inicial	1/7	1	1	1/5	1	1/3	1
Espera para realização do reparo	1/7	1	1	1/5	1	1/3	1
Movimentação desnecessária	1/3	5	5	1	5	3	5
Notificação formal	1/7	1	1	1/5	1	1/3	1
Retrabalho	1/5	3	3	1/3	3	1	3
Transportes desnecessários	1/9	1	1	1/5	1	1/3	1

Fonte: elaborado pelos autores

Os dados das avaliações de impacto provenientes da comparação par-a-par foram inseridos no SuperDecisions, dando origem a supermatriz ponderada. A supermatriz ponderada (*weight supermatrix*) exibe os resultados das avaliações após o cálculo dos pesos relativos, indicando a prioridade local dos desperdícios, isto é, os desperdícios que trazem mais impacto para a melhoria de cada indicador de desempenho. Os resultados percentuais de impacto de cada desperdício nos indicadores podem ser verificados na Figura 4. A Tabela 7 exibe os resultados da supermatriz ponderada.

Figura 4 – Percentuais de impacto dos desperdícios nos indicadores



Fonte: elaborado pelos autores

Tabela 7 – Supermatriz ponderada

		Espera para abertura da notificação formal	Espera para atendimento inicial	Espera para realização do reparo	Movimentações desnecessárias	Notificação formal	Retrabalho	Transportes desnecessários	Disponibilidade do equipamento	MTTY	MTTO	MTBF	MTTR	Melhoria nos indicadores de desempenho
Desperdícios	Espera para abertura da notificação formal	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,384038	0,449025	0,102304	0,147025	0,056941	0,000000
	Espera para atendimento inicial	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,030354	0,048142	0,046273	0,026449	0,056941	0,000000
	Espera para realização do reparo	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,176778	0,048142	0,294888	0,138582	0,056941	0,000000
	Movimentações desnecessárias	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,100165	0,239354	0,297703	0,101488	0,312516	0,000000
	Notificação formal	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,028167	0,048142	0,030327	0,023356	0,056941	0,000000
	Retrabalho	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,211111	0,121057	0,072788	0,50837	0,147204	0,000000
	Transportes desnecessários	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,069387	0,04614	0,155716	0,05473	0,312516	0,000000
Indicadores	Disponibilidade do equipamento	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,47981
	MTTY	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,02944
	MTTO	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,06749
	MTBF	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,21163
	MTTR	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,21163
Melhoria nos indicadores de desempenho		0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000

Fonte: elaborado pelos autores

A partir dos dados presentes na Figura 4 e da síntese apresentada na Tabela 7, é possível verificar quais desperdícios possuem maior impacto em cada indicador de desempenho, evidenciando aqueles desperdícios que devem ser priorizados para direcionar esforços que busquem melhorar o desempenho dos indicadores da manutenção. Por exemplo, caso seja do interesse do hospital melhorar o desempenho da manutenção em termos de disponibilidade dos EMH, os desperdícios que devem ser priorizados e focados para a melhoria do desempenho são, nessa ordem: (1) espera para a abertura da notificação formal, (2) retrabalho, (3) espera para realização do reparo, (4) movimentação desnecessária. Diferentemente, os demais desperdícios (transporte, espera para atendimento inicial e notificação formal) apresentaram um menor impacto no indicador.

É importante observar que os valores de inconsistência (CR) das avaliações dos impactos foram inferiores à 10%, como recomendado por Saaty e Vargas (2012), indicando a existência de coerência entre os julgamentos dos avaliadores.

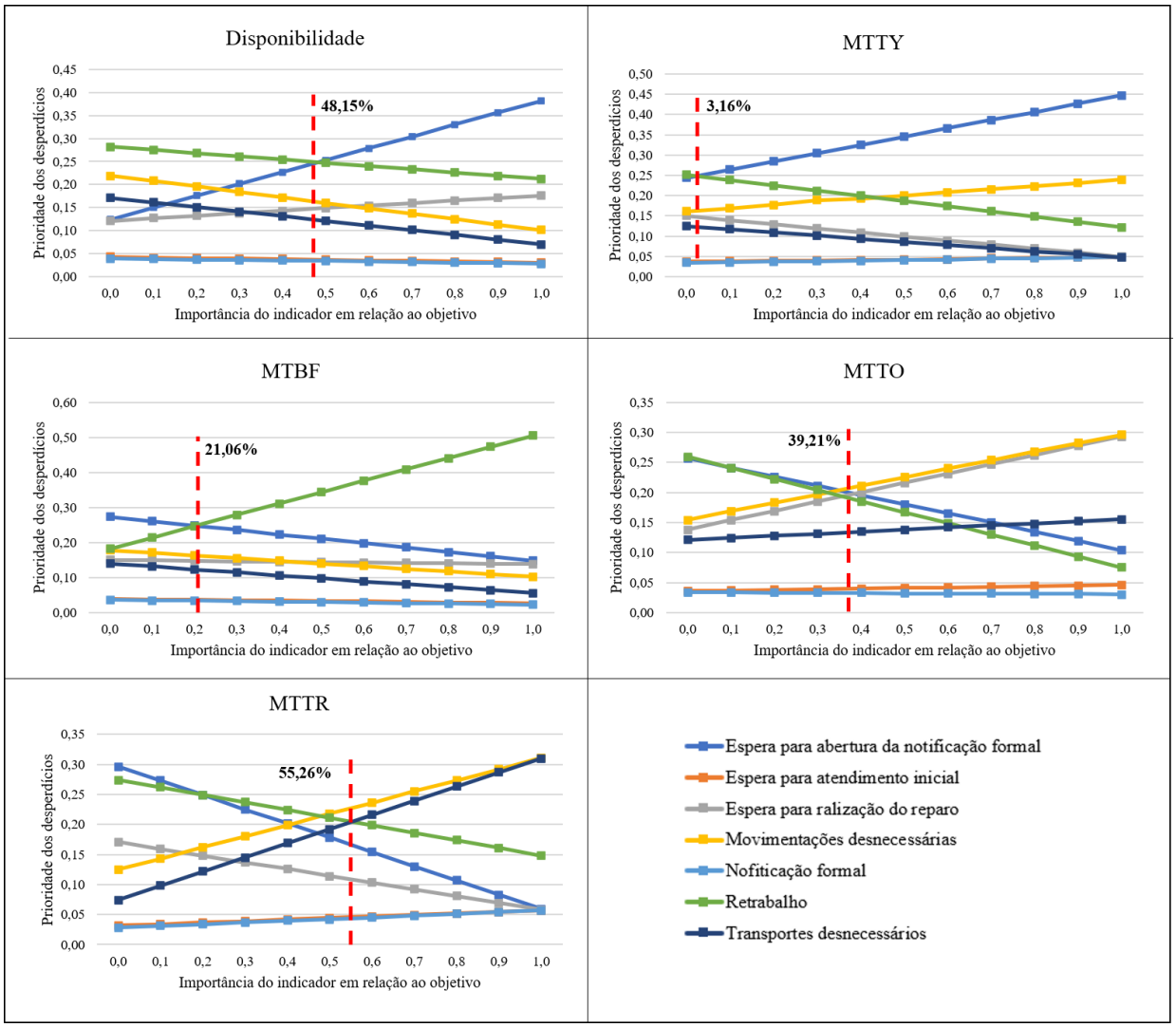
Análise de sensibilidade

Buscando verificar de que forma as prioridades nos desperdícios são sensíveis à variação da importância atribuída a cada indicador, executou-se uma análise de sensibilidade, tal como mostra a Figura 5. Na Figura 5, as retas tracejadas em vermelho representam pontos nos quais as prioridades dos desperdícios mudam em relação a variação da importância de cada indicador.

A partir da Figura 5 é possível chegar a algumas conclusões em relação aos indicadores:

- Disponibilidade do equipamento: enquanto esse indicador apresentar uma contribuição de até 48,15% para atingir o objetivo geral, o desperdício de retrabalho é o que mais impacta o seu desempenho. Acima desse valor, o desperdício de espera para abertura da notificação formal se apresenta como o que mais impacta o desempenho da disponibilidade.
- MTBF: o desperdício de espera para notificação formal é o que mais impacta o desempenho do MTBF, devendo ser priorizado enquanto a importância do MTBF for pelo menos igual a 21,06%. Acima desse valor, o desperdício de retrabalho passa a ser o que deve ser priorizado para melhoria do MTBF.
- MTTO: o desempenho do MTTO é especialmente impactado pelos desperdícios de retrabalho e espera para abertura da notificação formal, que apresentam valores muito próximos enquanto a importância do MTTO é inferior à 39,21% em relação ao objetivo geral. Conforme a importância desse indicador cresce, o impacto desses desperdícios diminui, aumentando o impacto de outros dois desperdícios: espera para realização do reparo e movimentações desnecessárias.
- MTTR: inicialmente, os dois desperdícios que mais impactam o MTTR são a espera para abertura da notificação formal e o retrabalho. Conforme o indicador ganha importância, ficando acima de 55,26%, os desperdícios de movimentações desnecessárias e transportes desnecessários passam a impactar mais significativamente o indicador.
- MTTY: a espera para abertura da notificação formal demonstra possuir um impacto mais predominante no MTTR até que sua importância seja de pelo menos 3,16%. A partir desse ponto, o retrabalho possui um maior impacto sob o MTTR.

Figura 5 – Análise de sensibilidade



Fonte: elaborado pelos autores

A análise de sensibilidade se demonstrou útil ao antecipar a variação de prioridades nos desperdícios em função da variação da importância de cada indicador em relação ao objetivo geral. Além disso, a análise de sensibilidade pode ser utilizada como referência por tomadores de decisão quando da necessidade de reavaliar a importância dos indicadores de desempenho da manutenção.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo teve como objetivo verificar o impacto dos desperdícios nos indicadores de desempenho do processo de manutenção de EMH, utilizando-se da técnica de análise multicritério AHP. Dessa maneira, foi possível identificar os desperdícios que devem ser priorizados para melhoria do desempenho da manutenção de EMH no hospital analisado. Os resultados obtidos demonstram que os indicadores de Disponibilidade do equipamento, MTBF e MTTR requerem atenção especial no processo, já que representam aqueles mais importantes para o objetivo geral definido no modelo de priorização. Em paralelo, verificou-se que os desperdícios de espera para abertura da notificação formal, retrabalhos e movimentações desnecessárias são os que mais impactam, respectivamente, na disponibilidade, MTBF e

MTTR. Além disso, a análise de sensibilidade permitiu antecipar os resultados dos impactos dos desperdícios nos indicadores em função da variação da importância dos indicadores.

No âmbito do hospital analisado, as contribuições práticas dos resultados desse artigo dizem respeito à possibilidade de dar suporte ao processo de tomada de decisões gerenciais na manutenção, a partir da priorização de desperdícios que impactam nos indicadores de desempenho. Ainda, a identificação dos desperdícios prioritários e suas relações com os indicadores podem contribuir para o alcance dos esforços empreendidos pelo hospital, norteando ações para melhoria do desempenho dos processos de manutenção. Além disso, no contexto acadêmico, este artigo pode servir de base para o desenvolvimento de modelos de priorização de desperdícios no processo de manutenção de EMH, dada a escassez de estudos que relacionem indicadores e desperdícios no ambiente de manutenção hospitalar. De maneira geral, o trabalho também contribui para a literatura sobre aplicações do AHP no contexto de manutenção, especialmente trazendo o foco na priorização dos desperdícios que devem ser reduzidos ou eliminados.

Por fim, diante das limitações encontrados para a elaboração desse artigo, algumas oportunidades de pesquisa foram identificadas. O AHP analisa as relações hierárquicas entre critérios e alternativas, sem considerar as relações horizontais de interdependência, o que demonstrou ser uma limitação para o trabalho. Assim, como sugestão de continuidade desta pesquisa, recomenda-se a aplicação do método de análise multicritério *Analytic Network Process* (ANP), que permite uma visualização das relações de dependência entre os desperdícios identificados. Além disso, recomenda-se a combinação de técnicas multicritério com o AHP, de maneira diminuir o impacto da subjetividade nos resultados, fator inerente ao processo de julgamento dos avaliadores.

REFERÊNCIAS

ARUNAGIRI, P.; GNANAVELBABU, A. Identification of major lean waste and its contributing factors using the fuzzy analytical hierarchy process. **Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering**, v. 40, n. 3, p. 371-382, 2016.

BEN-DAYA, M. *et al*. **Handbook of maintenance management and engineering**. London: Springer, 2009.

CHOLASUKE, C; BHARDWA, R; ANTONY, J. The status of maintenance management in UK manufacturing organizations: results from a pilot survey. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 10, n. 1, p. 5-15, 2004.

DURAN, O.; CAPALDO, A.; ACEVEDO, P. A. D. Lean maintenance applied to improve maintenance efficiency in thermoelectric power plants. **Energies**, v. 10, n. 10, p. 1653-1674, 2017.

EN-NHAILI, A.; MEDDAOUI, A.; BOUAMI, D. A new tool for maintenance performance measurement using value stream mapping and time-driven activity-based costing. **International Journal of Process Management and Benchmarking**, v. 5, n. 2, p. 171-193, 2015.

GOOSSENS, A. J. M.; BASTEN, R. J. I. Exploring maintenance policy selection using the Analytic Hierarchy Process; an application for naval ships. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 142, p. 31-41, 2015.

HOURIA, Z. B. *et al*. Quantitative techniques for medical equipment maintenance management. **European Journal of Industrial Engineering**, v. 10, n. 6, p. 703-723, 2016.

HUTAGALUNG, A. O.; HASIBUAN, S. Determining the Priority of Medical Equipment Maintenance with Analytical Hierarchy Process. **International Journal of Online and Biomedical Engineering**, v. 15, n. 10, p. 107-120, 2019.

JAMSHIDI, A. *et al.* A comprehensive fuzzy risk-based maintenance framework for prioritization of medical devices. **Applied Soft Computing**, v. 32, p. 322-334, 2015.

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção**: função estratégica. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

LABIB, A. W.; WILLIAMS, G. B.; O'CONNOR, R. F. An intelligent maintenance model (system): an application of the analytic hierarchy process and a fuzzy logic rule-based controller. **Journal of the Operational Research Society**, v. 49, n. 7, p. 745-757, 1998.

MOSTAFA, S. *et al.* Lean thinking for a maintenance process. **Production & Manufacturing Research**, v. 3, n. 1, p. 236-272, 2015.

MOSTAFA, S.; DUMRAK, J.; SOLTAN, H. Lean maintenance roadmap. **Procedia Manufacturing**, v. 2, p. 434-444, 2015.

NASCIMENTO, G. H. P. ***Maintenance value stream mapping***: uma aplicação na manutenção de equipamentos médico-hospitalares. 2020, 98f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2020.

NIKOLOPOULOS, K. *et al.* Integrating industrial maintenance strategy into ERP. **Industrial Management & Data Systems**, v. 103, n. 3, p. 184-191, 2003.

PARIDA, A.; KUMAR, U. Maintenance performance measurement (MPM): issues and challenges. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 12, n. 3, p. 239-251, 2006.

RATLALAN, R. M.; TAMA, I. P.; SUGIONO, S. Implementation of lean manufacturing to minimize waste in the process of plastic box 260 using VSM and AHP method. **Journal of Engineering and Management in Industrial System**, v. 5, n. 2, p. 67-76, 2018.

SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. **Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process.** New York: Springer, 2012.

SAWHNEY, R.; KANNAN, S.; LI, X. Developing a value stream map to evaluate breakdown maintenance operations. **International Journal of Industrial and Systems Engineering**, v. 4, n. 3, p. 229-240, 2009.

SHOU, W. *et al.* Value adding and non-value adding activities in turnaround maintenance process: classification, validation, and benefits. **Production Planning & Control**, v. 31, n. 1, p. 60-77, 2020.

SMITH, R.; HAWKINS, B. **Lean maintenance**: reduce costs, improve quality, and increase market share. Burlington: Elsevier, 2004.

SOUZA, R. V. B.; CARPINETTI, L. C. R. A FMEA-based approach to prioritize waste reduction in lean implementation. **International Journal of Quality and Reliability Management**, v. 31, n. 4, p. 346–366, 2014.

SUTRISNO, A. *et al*. An improved modified FMEA model for prioritization of lean waste risk. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 11, n. 2, p. 233-253, 2020.

TAGHIPOUR, S.; BANJEVIC, D.; JARDINE, A. K. S. Prioritization of medical equipment for maintenance decisions. **Journal of the Operational Research Society**, v. 62, n. 9, p. 1666-1687, 2011.

THIRUVENGADAM, A. **A practical method for assessing maintenance factors using a value stream maintenance map**. 2009. 110f. Thesis (Master of Science in Industrial Engineering) – Wichita State University, Wichita, 2009.

TRIANTAPHYLLOU, E. *et al*. Determining the most important criteria in maintenance decision making. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 3, n. 1, p. 16-28, 1997.

VAIDYA, O. S.; KUMAR, S. Analytic hierarchy process: an overview of applications. **European Journal of Operational Research**, v. 169, n. 1, p. 1-29, 2006.

VIANA, H. R. G. **PCM** - Planejamento e controle da manutenção. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

WANG, B. Medical equipment maintenance: management and oversight. **Synthesis Lectures on Biomedical Engineering**, v. 7, n. 2, p. 1-85, 2012.