

## Digitalização baseada na arquitetura RAMI e OEE: estudo de caso em empresa do subsetor termoplástico do polo industrial de Manaus

### RESUMO

O artigo demonstra a relação entre as camadas da arquitetura RAMI 4.0 com o OEE (Overall Equipment Effectiveness), a partir de uma análise bibliométrica com parâmetros de busca específicos nas bases Scopus e Web of Science. Em outra vertente da pesquisa, foi realizado estudo de caso em uma empresa do Polo Industrial de Manaus, do setor de termoplásticos, por meio do qual as relações identificadas na literatura puderam ser medidas. Os resultados apontam que determinadas camadas (integração e comunicação) tem maior impacto nas ocorrências relacionadas ao OEE no componente Performance (queda de velocidade, pequenas paradas e ociosidades). A camada Integração contempla os aspectos tecnológicos ligados à transição físico-digital, as quais foram legitimadas pelo estudo de caso no processo de digitalização desenvolvido. Os resultados apontaram para melhor agilidade e responsividade do processo produtivo com melhoria do componente performance do OEE.

**PALAVRAS-CHAVE:** Digitalização. Overall Equipment Effectiveness. Arquitetura RAMI.

**Manoel Carlos de Oliveira Júnior**  
Universidade Federal do Amazonas,  
Amazonas  
[manoelcarlos@ufam.edu.br](mailto:manoelcarlos@ufam.edu.br)

**Sandro Breval Santiago**  
Universidade Federal do Amazonas,  
Amazonas  
[sbreval@gmail.com](mailto:sbreval@gmail.com)

**Orlem Pinheiro de Lima**  
Universidade do Estado do  
Amazonas, Amazonas  
[olima@uea.edu.br](mailto:olima@uea.edu.br)

**Marcia Ribeiro Maduro**  
Universidade do Estado do  
Amazonas, Amazonas  
[rmaduro@uea.edu.br](mailto:rmaduro@uea.edu.br)

**Alyson de Jesus dos Santos**  
Instituto Federal do Amazonas,  
Amazonas  
[alyson.santos@ifam.edu.br](mailto:alyson.santos@ifam.edu.br)

## INTRODUÇÃO

O ecossistema negocial das empresas vem mudando exponencialmente (concorrência, custos, sustentabilidade, gargalos logísticos e baixa maturidade), sobretudo na questão da capacidade produtiva, decorre daí a necessidade de monitorar o OEE (Eficiência Total do Equipamento), pois ele fornece uma medida quantitativa da eficiência de seus equipamentos de produção, permitindo identificar áreas de melhoria e implementar soluções para aumentar a eficiência produtiva (BASAK et al, 2022).

A identificação de desperdícios no processo produtivo como: tempo ocioso, paradas não planejadas e baixa qualidade de produção, auxiliam a empresa a implementar soluções para corrigir esses problemas (Singh et al, 2013; ZHOU et al, 2020). O fornecimento de uma base de dados quantitativos para a tomada de decisões, permite às empresas avaliarem o desempenho dos equipamentos de produção e identificarem áreas de melhoria.

O monitoramento contínuo do OEE possibilita às empresas identificarem oportunidades de melhoria e implementarem soluções para aumentar a eficiência produtiva, incrementando a capacidade de produção e reduzindo os custos operacionais (Gupta e Vardhan, 2016), bem como a identificação de tendências, permitindo observar tendências no desempenho dos equipamentos de produção, possibilitando a antecipação de problemas e a tomada de medidas preventivas.

A indústria 4.0 é a quarta revolução industrial, caracterizada pela incorporação de tecnologias digitais (Lasi, 2014; Zhou et al, 2015; Olsen e Tomlin, 2020; Ghobakhloo, 2020), como IoT (Internet das Coisas), inteligência artificial, computação em nuvem e outras, na produção industrial. Neste contexto, as empresas devem investir em tecnologias digitais, inteligência artificial, computação em nuvem, para aumentar a eficiência produtiva e a capacidade de produção, adotar práticas de manufatura inteligente, como monitoramento em tempo real da produção, análise de dados e automação, para melhorar a eficiência e a qualidade da produção (ZHENG et al, 2021).

As empresas devem escolher soluções que sejam escaláveis e flexíveis, para se adaptarem às mudanças no mercado e às novas tecnologias (Aly, 2022), buscando fornecedores e parceiros para integrar tecnologias digitais na produção, garantindo a máxima eficiência e aproveitando sinergias. Devem também investir em treinamento e desenvolvimento de habilidades digitais para seus funcionários, para garantir que eles possam aproveitar ao máximo as novas tecnologias (MARTÍNEZ-CARO et al, 2020).

Portanto, em um cenário de maior competitividade, as organizações que adotarem tecnologias digitais e práticas de manufatura inteligente serão capazes de aumentar sua eficiência produtiva e sua capacidade de produção, o que as tornará mais competitivas, além de permitir a introdução de novos modelos de negócio, como a produção sob demanda e a personalização em massa, que podem ser mais eficientes e atraentes para os clientes.

Assim, a arquitetura RAMI 4.0 - uma referência para a implantação de sistemas industriais inteligentes, como parte da indústria 4.0 - fornece uma estrutura para a integração de tecnologias digitais na produção industrial, permitindo às empresas implementarem soluções inteligentes, de forma eficiente e escalável.

Nesse contexto, o presente artigo tem o objetivo de analisar a relação entre a arquitetura RAMI 4.0 e o OEE, contemplando suas camadas e componentes respectivamente, considerando a digitalização de um processo produtivo em uma indústria do setor termoplástico.

## METODOLOGIA

Na literatura é possível identificar a classificação das pesquisas nos seguintes conjuntos: exploratórias, descritivas e explicativas. O presente estudo está classificado como pesquisa exploratória, pois contempla levantamentos bibliográficos e entrevistas (CRESWELL, 2007). Tal classificação corrobora com a necessidade inicial da pesquisa de varredura na literatura para o desenvolvimento dos construtos e definições iniciais para o modelo de medição.

A natureza do presente trabalho, relativamente aos objetivos da pesquisa, é do tipo exploratória-descritiva: exploratória, já que pretende construir o conhecimento sobre o tema, via processo de seleção e análise bibliométrica; descritiva, pois descreve as características dos trabalhos que compõem o portfólio bibliográfico, em termos de periódicos que publicaram sobre o tema, artigos representativos, autores e palavras-chaves ((FLICK, 2022).

Quanto à lógica do presente trabalho, é considerado indutiva já que propicia a geração de conhecimento, acerca de um tema de pesquisa, que ainda não foi muito desenvolvido (CAUCHICK MIGUEL, 2010). A geração do conhecimento é resultante da seleção do portfólio bibliográfico, a criação do modelo de medição e sua aplicabilidade.

Foi utilizado o estudo de caso, ainda que os casos únicos tenham obstáculos, pois apresentam muitos limites para generalizações nas conclusões, dificultam o desenvolvimento de modelos e teorias a partir de um exclusivo caso (VOSS, TSIKRIKTSIS e FROHLICH, 2002), nesse caso, no artigo em tela, para o entendimento da relação OEE com o RAMI 4.0.

Nesse sentido afirmam, a “seleção de casos é um aspecto importante na construção da teoria do estudo de caso e estes podem ser escolhidos para replicar casos anteriores ou prorrogar uma teoria emergente, ou podem ser escolhidos para preencher categorias teóricas e fornecerem exemplos” (EISENHARDT e GRAEBNER, 2007, p.537).

Para o desenvolvimento da teoria, cada caso deve ser selecionado visando a prever resultados semelhantes (replicação literal); - Produzir resultados contrários, mas por razões previsíveis no princípio da investigação (replicação teórica). (VOSS; TSIKRIKTSIS; FROHLICH, 2002; YIN, 2005).

De acordo com Voss, Tsikriktsis e Frohlich (2002), é possível utilizar diferentes casos na mesma organização para estudar diferentes questões, ou pode-se utilizar a pesquisa do mesmo assunto em uma variedade de contextos na mesma organização. Segundo os autores, não existe uma definição clara do que seja um estudo de caso único ou uma unidade de análise.

O objeto de estudo é uma empresa do subsetor de Termoplásticos do Polo Industrial de Manaus (PIM). De acordo com a SUFRAMA - Superintendência da Zona Franca de Manaus - autarquia federal vinculada ao Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços que administra o modelo

regional - o faturamento do PIM, em 2022, foi de aproximadamente 160 bilhões de reais, no qual o subsetor correspondeu a 14,9%. A importância deste segmento de negócios é a sua participação nas cadeias de suprimentos dos demais, fornecendo partes e peças plásticas para o eletroeletrônico, bens de informática, duas rodas, dentre outros.

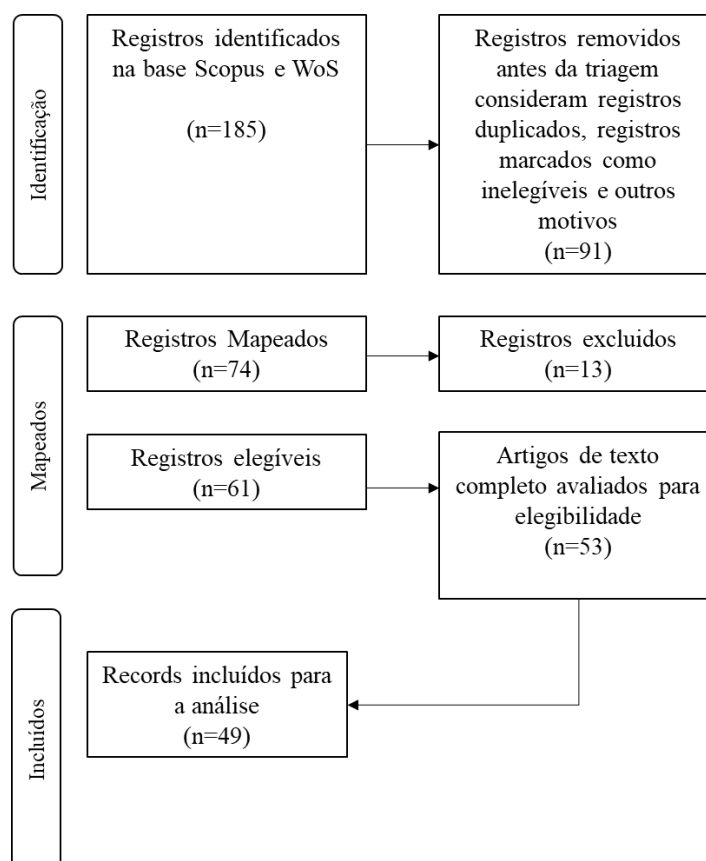
Os dados foram coletados no período de novembro de 2022 a fevereiro de 2023, no setor de injeção plástica, totalizando 13.489 apontamentos digitais, no 1º turno da fábrica. A extração dos dados para análise foi feita a partir do banco de dados MySQL® em tabela de registros própria. Foram detectados, em média, 18 ordens de produção diárias, as quais propiciaram 11.520 registros. Para fins comparativos foram levantados alguns registros manuais da produção anteriores à digitalização.

Foram registrados os tempos de resposta das tratativas quanto às ocorrências da produção, onde cerca de 23% das ordens apresentaram algum retrabalho, 45% pequenas paradas e 65% com defeitos de fabricação.

A partir da análise bibliométrica foram identificadas as camadas e suas relações com os componentes do OEE, o que permitiu uma visão mais objetiva quanto ao ponto prioritário de digitalização. As bases Scopus e Web of Science foram utilizadas para a composição do portfólio de artigos, com as seguintes lógicas booleanas das palavras-chaves: "OEE and RAMI 4.0"; "Digitalization and OEE"; e "OEE and RAMI 4.0 and Digitalization".

Foi utilizado, no processo de composição do portfólio, o método PRISMA adaptado de Moher et al (2015). A utilização do PRISMA ajuda a garantir que os artigos de revisão sistemática e metanálise sejam claros, precisos e completos, e que as informações apresentadas sejam consistentes e comparáveis entre diferentes artigos. Além disso, o PRISMA ajuda a garantir a qualidade da informação apresentada em revistas científicas, o que é importante para a confiança e a credibilidade do campo da pesquisa (SHAMSEER et al, 2015). A Figura 1 demonstra o fluxo de composição e os resultados obtidos.

Figura 1 – Análise bibliométrica



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

## DESENVOLVIMENTO

Esta seção apresenta os conceitos de OEE e seus componentes, características e uso no ambiente industrial, da arquitetura RAMI 4.0, camadas e relações. Também são relatados estudos que aproximam esses dois conceitos de forma a impactar o processo produtivo e a cadeia de valor da organização por meio do monitoramento e digitalização.

## CONCEITOS, CARACTERÍSTICAS E COMPONENTES DO OEE

O OEE (Eficiência Total do Equipamento) é uma métrica que ajuda a medir a eficiência da produção, especificamente de uma linha de produção ou equipamento. Ele é calculado com base em três componentes: disponibilidade, desempenho e qualidade (Basak et al, 2022), e fornece uma visão geral da eficiência da produção (Heng et al, 2019). A disponibilidade representa o tempo em que a máquina ou equipamento está disponível para produção, dividido pelo tempo total de operação, o desempenho (performance) representa a velocidade de produção em relação à velocidade ideal e a qualidade, a porcentagem de peças produzidas que atendem às especificações (SINGH et al, 2013).

Ao monitorar e melhorar o OEE, é possível aumentar a eficiência produtiva de diversas maneiras (Singh, Khamba, Singh, 2021): a) Identificação de problemas: o OEE pode ser usado para identificar problemas em equipamentos, processos ou

procedimentos, o que pode levar a soluções para melhorar a eficiência; b) Alocação de recursos: o OEE pode ser usado para avaliar o desempenho de diferentes linhas de produção e equipamentos, permitindo uma alocação mais eficiente de recursos (Šajdlerová et al, 2020; Lindegren et al ,2022); c) melhoria da qualidade: o componente qualidade do OEE fornece informações sobre a qualidade da produção, o que pode ser usado para identificar e corrigir problemas de qualidade (Heng et al, 2019), melhorando assim a eficiência produtiva; d) Aumento da produtividade: ao melhorar a disponibilidade, desempenho e qualidade, é possível aumentar a quantidade de produção obtida, aumentando assim a produtividade (DOBRA e JÓSVAI, 2021).

#### ARQUITETURA RAMI 4.0

A arquitetura RAMI 4.0 é uma estrutura conceitual para a concepção, implementação e operação de sistemas industriais inteligentes (Resman et al, 2019; Bastos et al, 2021). Ela é baseada em uma abordagem modular e escalável, que permite a integração de tecnologias digitais, como Internet das Coisas (IoT) (Pivoto et al, 2021), inteligência artificial e computação em nuvem, na produção industrial (Nakagawa et al, 2021). É composta por cinco camadas principais: sensores, *edge computing*, sistemas corporativos, serviços em nuvem e aplicações. Essas camadas trabalham juntas para fornecer uma solução completa para a indústria, permitindo a conexão de todos os elementos da cadeia de produção, a coleta e análise de dados em tempo real (Liao, Loures e Deschamps, 2018), a implementação de soluções de melhoria contínua e a realização de processos de negócios mais eficientes.

A arquitetura RAMI 4.0 é uma referência para a indústria 4.0, ajudando as empresas a implementarem sistemas industriais inteligentes de forma eficiente e escalável, melhorando a eficiência e a competitividade da produção industrial (BOUSDEKIS et al, 2019; DAFFLON et, 2021). O RAMI 4.0 é um modelo de arquitetura de referência focado nos sistemas da indústria 4.0 e tem sua base no modelo SGAM (Smart Grid Architecture Model) para cumprir os requisitos desta indústria, ou seja, a integração vertical e horizontal, integração de engenharia e ciclo de vida do produto.

Na sua composição possui 3 (três) eixos: Hierarquia, Ciclo de Vida e Camadas que possuem relações diretas com as normas IEC (62264, 62890, 61512). O eixo hierarquia define o modelo de interoperação dos elementos da produção, informações, pessoas e máquinas. Na arquitetura define os aspectos de verticalização das informações, suas interfaces, interpelações e uso (Burns et al, 2019). Tem-se assim a descrição de seis camadas verticais que se referem ao fluxo de dados do processo produtivo industrial: camada de negócios; camada de Funções; camada de informação; camada de comunicação; camada de integração e camada de ativos (RESMAN et al, 2019).

O último eixo – Ciclo de Vida – está relacionado ao produto, pesquisa e desenvolvimento (HANKEL e REXROTH, 2015), compreende todo o ciclo de processo do produto, do planejamento e desenvolvimento, até o seu comissionamento. Este nível baseia-se na IEC 62890 e sempre leva em consideração a segurança em todas as etapas do processo de produção do ciclo de vida dos produtos.

## RELAÇÃO ENTRE OEE E CAMADA RAMI 4.0

RAMI 4.0 e OEE (Eficiência Total do Equipamento) são conceitos relacionados, mas distintos. RAMI 4.0 visibiliza a digitalização da indústria e a conexão de todos os elementos da cadeia de produção para aumentar a eficiência e agilidade. Já o OEE é uma métrica que mede a eficiência de uma linha de produção ou equipamento.

A relação entre RAMI 4.0 e OEE observa-se na implementação da abordagem RAMI 4.0 que pode ajudar a melhorar o OEE (Jasperneite, Sauter e Wollschlaeger, 2020), pois a digitalização e conexão de todos os elementos da cadeia de produção permitem a coleta de dados em tempo real, a análise de dados e a implementação de soluções de melhoria contínua. O uso de tecnologias como IoT, inteligência artificial e automação pode ajudar a aumentar a disponibilidade, desempenho e qualidade, o que por sua vez pode melhorar o OEE (HWANG et al, 2017; (JASPERNEITE, SAUTER e WOLLSCHLAEGER, 2020). A Tabela 1 demonstra a relação das camadas e os componentes do OEE.

Tabela 1 – Relação entre as camadas RAMI 4.0 e os componentes do OEE

OEE			Rami – Camadas						Ocorrências / Impactos					Ref.	
Disponibilidade	Performance	Qualidade	Ativo	Integração	Comunicação	Informação	Função	Negócios	Parada de máquina	Setup e Regulagem	Queda de velocidade	Pequenas Paradas	Refugo		Retrabalho
x			x					x	x						Hwang et al (2017), Azizi (2015), Iannone e Nenni (2013), Zheng et al (2021)
	x			x	x					x		x			Singh et al,(2013), Zhou et al (2020), Siedler, Langlotz e Aurich (2020) , LI et al (2022), Buer et al (2021), Tumbajo y et al (2022).
	x				x	x					x				Heng et al (2019)

x						x				x					Buer et al (2021), Elhabashy e Fors (2022)
	x			x									x		Resman et al (2019), Bastos et al (2021), Pivoto et al (2021)
		x				x		x						x	Bousdeki s et al (2019), Jasperneite, Sauter e Wollschlaeger (2020), Ghobakhloo (2020)

Fonte: Elaborado pelos autores com base no portfólio de artigos (2023)

Por se tratar de uma arquitetura onde as informações dos ativos devem estar disponíveis para as camadas superiores (informações, regras funcionais e de negócio), o RAMI 4.0 disponibiliza a camada de integração. Esse nível contém todos os elementos relacionados com a informática (software de programação PLC, etc.), a utilização do HMI, a geração de eventos com base na informação recebida e a execução do controlo final do processo bem como as capacidades (ARM et al, 2021).

## DIGITALIZAÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO

Para Kagermann (2015), a digitalização é a transformação de processos manuais ou analógicos em processos digitais, utilizando tecnologias da informação e da comunicação para automatizar tarefas, melhorar a eficiência e a qualidade de dados, aumentar a transparência e a agilidade nas decisões, e otimizar o uso dos recursos. A digitalização permite a captura, armazenamento, processamento e análise de dados em tempo real, facilitando a tomada de decisões estratégicas e operacionais (Ghobakhloo, 2020). A digitalização de processos é uma tendência cada vez mais presente em diferentes setores da economia, incluindo indústrias, serviços financeiros, saúde e outros (CHEN et al, 2020; BUER et al, 2021; ALY, 2022).

Alguns autores como Tumbajoy et al (2022), Buer et al (2021), Siedler, Langlotz e Aurich (2020) apontam que a digitalização do processo produtivo influencia o componente do OEE – Performance, já que permite a redução de pequenas paradas, com base arquitetural nas camadas de integração e comunicação. De um outro lado, a visão inicial de Iannone e Nenni (2013) relaciona-se com a camada informação como base do fluxo informacional trazido



pela nova coleta de dados fabris digital, com impacto na manutenção (Azizi, 2015; Bousdekis et al, 2019).

### MONITORAMENTO DO OEE

Na literatura podem ser evidenciadas maneiras de monitoramento do OEE: um software de gestão da produção pode ser usado para coletar dados de produção e calcular automaticamente o OEE (Azizi, 2015) ou dados de produção podem ser coletados manualmente, usando formulários ou planilhas, e o OEE ser calculado posteriormente.

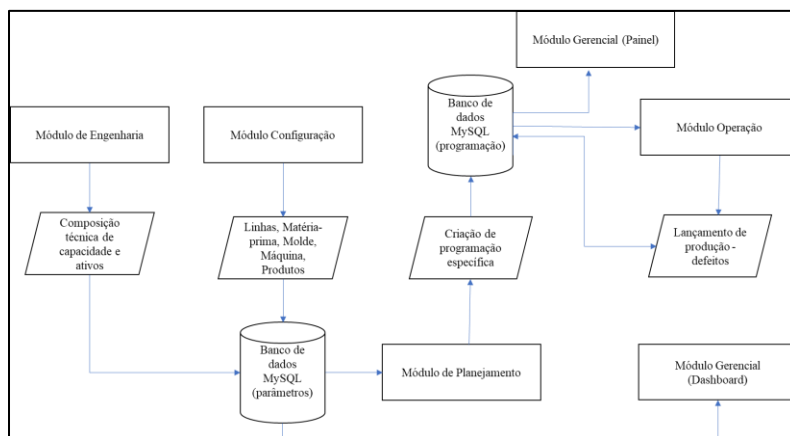
Sensores e dispositivos de automação podem ser instalados nas linhas de produção para coletar dados em tempo real (Elhabashy e Fors, 2022) fornecendo uma visão mais precisa do OEE (Chiarini e Kumar, 2021), como também através da integração com sistemas ERP (Enterprise Resource Planning), que coletam dados de produção, vendas e finanças, com posterior análise de dados (IANNONE e NENNI, 2013; SINGH, KHAMBA e SINGH, 2021).

A presente investigação utiliza uma base bibliométrica para identificar as camadas RAMI 4.0 (Integração e Comunicação) e o componente OEE (Performance) envolvidos, bem como as ocorrências operacionais mitigadas pela digitalização.

A partir da identificação do componente do OEE e camada RAMI 4.0 a ser priorizado quanto à digitalização do processo produtivo, foi implantada, na empresa objeto do estudo, uma solução tecnológica voltada para o apontamento digital da produção relativa à uma linha específica de injeção plástica. A estrutura tecnológica da solução está desenhada na Figura 2.

Antes da digitalização todas as informações dos indicadores eram tratadas em uma periodicidade mensal; os dados mensais eram preenchidos manualmente, em fichas de apontamentos de produção, sendo lançados ao final de cada mês, estando disponíveis até o décimo dia útil do mês seguinte. Ou seja, a tomada de ação referente a dados de eficiência global do equipamento (OEE) e eficiência operacional, não tinham efetividade e tampouco valor informacional, pois os fatos e ocorrências já haviam ocorrido e só poderiam ser utilizados como históricos de informações compiladas ou análises para o período seguinte.

Figura 2 – Fluxo da solução tecnológica



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

O apontamento digital (módulo operação) proporciona a visão transaccional (nível inicial da hierarquia da informação) e os demais módulos corroboram com a visão gerencial e de apoio à decisão. Em Liao, Loures e Deschamps (2018) as tecnologias inseridas no processo produtivo proporcionam melhor fluxo informacional, possibilitando maior responsividade da organização. A solução desenvolvida propiciou a imediata disponibilização dos dados em todos os níveis. Pode-se analisar de forma transversal os trabalhos de Heng et al (2019) e Bastos et al (2021), na necessidade de velocidade das informações (agilidade), sobretudo na coleta de dados, e para tanto as tecnologias amparando tal fluxo (responsividade).

Uma outra abordagem, trazida por Hensen e Dong (2020), analisa os impactos da digitalização na cadeia de valor, o que no contexto da indústria 4.0 ressalta a possibilidade de ganhos e redução de custos entre os elos da referida cadeia (ELHABASHY e FORs, 2022).

## RESULTADOS

Para fins de comparação, as tratativas anteriores à digitalização possuíam um tempo de resposta médio de 2 (dois) dias, resultando em problemas no atendimento ao cliente, com recorrências negativas em todo o processo. Após a digitalização o tempo de resposta ficou entre 2 (duas) e 3 (três) horas.

Com a digitalização, as pequenas paradas produtivas foram reduzidas em 90%, visto que as tratativas passaram a ser mais tempestivas, possibilitando além da reativação da máquina a eliminação das causas de eventuais paradas. Um ganho secundário do apontamento digital foi a agilidade de mudança de produto em linha pois, anteriormente, a gestão não conseguia identificar o volume produzido em tempo real, e as informações para o cliente eram precárias. Assim, com a digitalização tais informações estão acessíveis de forma instantânea.

Com a disponibilização das informações digitalmente pode-se evidenciar a redução de defeitos da ordem de 72%, o que impactou no componente Qualidade do OEE, constituindo-se em um ganho relevante. A Tabela 2 apresenta, quantitativamente, os resultados obtidos.

Tabela 2 – Impactos obtidos com adoção da RAMI e OEE

Item	Resultado %
Parada de máquina	- 67
Regulagem	- 40
Pequenas paradas	- 90
Redução de defeitos	- 72
Refugos	- 82
Queda de Velocidade	Não apurado

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo em tela evidenciou a relação entre a modelagem RAMI e OEE, por meio de um estudo de caso, em uma empresa do segmento de termoplásticos, instalada no Polo Industrial de Manaus. As referências utilizadas levaram a

elaboração de uma abordagem, expressa na Tabela 1, proposta pelos autores da presente pesquisa, que ressalta os pontos de relação entre RAMI e OEE, bem como os impactos trazidos pela interação dos elementos que compõem o Overall Equipment Effectiveness e a arquitetura RAMI 4.0.

Nesse sentido, com a aplicação dos métodos de levantamento, observaram-se impactos relevantes no âmbito da redução de paradas, agilização de apontamentos e prontidão de acesso aos resultados de monitoramento. Ademais, houve significativa redução de perdas. Tais resultados corroboram para a efetividade da relação entre RAMI e OEE.

Além dessa relação, evidenciou-se a importância da digitalização no contexto da manufatura o que, na prática, se traduziu em menos tempo na realização de apontamentos, agilização do fluxo de informações, acurácia nos registros, possibilidade do acompanhamento de histórico da produção e ações corretivas tempestivas.

Não obstante as limitações trazidas pelo estudo circunscrito a uma única empresa industrial, os resultados demonstraram efetivamente os impactos trazidos pela interação entre o OEE e RAMI. Estudos futuros podem ampliar a amostragem utilizada, bem como investigar com ferramentas estatísticas robustas os resultados aqui expressos por meio da revisão da literatura e do estudo de caso relatado.

# Digitization based on RAMI and OEE architecture: a case study in a company in the thermoplastic subsector of the industrial center of Manaus

## ABSTRACT

The article demonstrates the relationship between the layers of the RAMI 4.0 architecture and the OEE (Overall Equipment Effectiveness), based on a bibliometric analysis with specific search parameters in the Scopus and Web of Science databases. In another aspect of the research, a case study was carried out in a company in the Industrial Pole of Manaus, in the thermoplastic sector, through which the relationships identified in the literature could be measured. The results indicate that certain layers (integration and communication) have a greater impact on occurrences related to OEE in the Performance component (speed drop, small stops and idleness). The Integration layer contemplates the technological aspects related to the physical-digital transition, which were legitimized by the case study in the digitization process developed. The results pointed to better agility and responsiveness of the production process with improvement of the performance component of the OEE.

KEYWORDS: Digitization. Overall Equipment Effectiveness. RAMI architecture.

## AGRADECIMENTOS

A presente pesquisa foi realizada com apoio da Universidade do Estado do Amazonas (UEA), Universidade Federal do Amazonas (UFAM) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

## REFERÊNCIAS

ALY, Heidi. Digital transformation, development and productivity in developing countries: is artificial intelligence a curse or a blessing? **Review of Economics and Political Science**, v. 7, n. 4, p. 238-256, 2022.

ARM, Jakub et al. Automated design and integration of asset administration shells in components of industry 4.0. **Sensors**, v. 21, n. 6, p. 2004, 2021.

AZIZI, Amir. Evaluation improvement of production productivity performance using statistical process control, overall equipment efficiency, and autonomous maintenance. **Procedia Manufacturing**, v. 2, p. 186-190, 2015.

BASAK, Shreeja et al. Reducing production losses in additive manufacturing using overall equipment effectiveness. **Additive Manufacturing**, v. 56, p. 102904, 2022.

BASTOS, Alan et al. Industry 4.0 Readiness Assessment Method Based on RAMI 4.0 Standards. **IEEE Access**, v. 9, p. 119778-119799, 2021.

BOUSDEKIS, Alexandros et al. A RAMI 4.0 view of predictive maintenance: software architecture, platform and case study in steel industry. In: **Advanced Information Systems Engineering Workshops: CAiSE 2019 International Workshops**, Rome, Italy, June 3-7, 2019, Proceedings 31. Springer International Publishing, 2019. p. 95-106.

BUER, Sven-Vegard et al. The digitalization of manufacturing: investigating the impact of production environment and company size. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 32, n. 3, p. 621-645, 2021.

BURNS, Thomas; COSGROVE, John; DOYLE, Frank. A Review of Interoperability Standards for Industry 4.0. **Procedia Manufacturing**, v. 38, p. 646-653, 2019.

CAUCHICK MIGUEL, Paulo Augusto et al. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elzevir, 2010.

CHEN, Xiaoxia; DESPEISSE, Mélanie; JOHANSSON, Björn. Environmental sustainability of digitalization in manufacturing: A review. **Sustainability**, v. 12, n. 24, p. 10298, 2020.

CHIARINI, Andrea; KUMAR, Maneesh. Lean Six Sigma and Industry 4.0 integration for Operational Excellence: evidence from Italian manufacturing companies. **Production planning & control**, v. 32, n. 13, p. 1084-1101, 2021.

CRESWELL, J. W. **Qualitative Inquiry & Research Design: Choosing among five approaches**. 2007.

DAFFLON, Baudouin; MOALLA, Nejib; OUZROUT, Yacine. The challenges, approaches, and used techniques of CPS for manufacturing in Industry 4.0: a literature review. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 113, p. 2395-2412, 2021.

DOBRA, Peter; JÓSVAI, János. Enhance of OEE by hybrid analysis at the automotive semi-automatic assembly lines. **Procedia Manufacturing**, v. 54, p. 184-190, 2021.

ELHABASHY, Ahmad E.; FORS, Hadi. OEE Data Visualization and Analysis—An Industry 4.0 Perspective. In: **IIE Annual Conference. Proceedings**. Institute of Industrial and Systems Engineers (IISE), 2022. p. 1-6.

FLICK, Uwe. **An introduction to qualitative research**. Sage, 2022.

GHOBAKHLOO, Morteza. Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. **Journal of cleaner production**, v. 252, p. 119869, 2020.

GUPTA, Pardeep; VARDHAN, Sachit. Optimizing OEE, productivity and production cost for improving sales volume in an automobile industry through TPM: a case study. **International Journal of Production Research**, v. 54, n. 10, p. 2976-2988, 2016.

HANKEL, Martin; REXROTH, Bosch. The reference architectural model industrie 4.0 (rami 4.0). **Zvei**, v. 2, n. 2, p. 4-9, 2015.

HENG, Zhang et al. Automatic estimate of OEE considering uncertainty. **Procedia CIRP**, v. 81, p. 630-635, 2019.

HENSEN, Alexander HR; DONG, John Qi. Hierarchical business value of information technology: Toward a digital innovation value chain. **Information & Management**, v. 57, n. 4, p. 103209, 2020.

HWANG, Gyun Sun et al. Developing performance measurement system for Internet of Things and smart factory environment. **International journal of production research**, v. 55, n. 9, p. 2590-2602, 2017.

IANNONE, Raffaele; NENNI, Maria Elena. Managing OEE to optimize factory performance. **Operations Management**, p. 31-50, 2013.

JASPERNEITE, Juergen; SAUTER, Thilo; WOLLSCHLAEGER, Martin. Why we need automation models: handling complexity in industry 4.0 and the internet of things. **IEEE Industrial Electronics Magazine**, v. 14, n. 1, p. 29-40, 2020.

KAGERMANN, Henning. Change through digitization—Value creation in the age of Industry 4.0. **Management of permanent change**, p. 23-45, 2015.

LASI, Heiner et al. Industry 4.0. **Business & information systems engineering**, v. 6, p. 239-242, 2014.

LI, Yuan Hao; INOUE, Luiz Cesar Gualberto Veras; SINHA, Roopak. Real-time OEE visualisation for downtime detection. In: 2022 IEEE 20th **International Conference on Industrial Informatics (INDIN)**. IEEE, 2022. p. 729-734.

LIAO, Yongxin; LOURES, Eduardo de Freitas Rocha; DESCHAMPS, Fernando. Industrial Internet of Things: A systematic literature review and insights. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 5, n. 6, p. 4515-4525, 2018.

LINDEGREN, M. L. et al. Combining simulation and data analytics for oee improvement. **International Journal of Simulation Modelling (IJSIMM)**, v. 21, n. 1, 2022.

MARTÍNEZ-CARO, Eva; CEGARRA-NAVARRO, Juan Gabriel; ALFONSO-RUIZ, Francisco Javier. Digital technologies and firm performance: The role of digital organisational culture. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 154, p. 119962, 2020.

MOHER, David et al. Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. **Systematic reviews**, v. 4, n. 1, p. 1-9, 2015.

NAKAGAWA, Elisa Yumi et al. Industry 4.0 reference architectures: State of the art and future trends. **Computers & Industrial Engineering**, v. 156, p. 107241, 2021.

OLSEN, Tava Lennon; TOMLIN, Brian. Industry 4.0: Opportunities and challenges for operations management. **Manufacturing & Service Operations Management**, v. 22, n. 1, p. 113-122, 2020.

PIVOTO, Diego GS et al. Cyber-physical systems architectures for industrial internet of things applications in Industry 4.0: A literature review. **Journal of manufacturing systems**, v. 58, p. 176-192, 2021.

RESMAN, Matevž et al. A new architecture model for smart manufacturing: A performance analysis and comparison with the RAMI 4.0 reference model. **Adv. Prod. Eng. Manag**, v. 14, n. 2, p. 153-165, 2019.

ŠAJDLEROVÁ, Ivana; SCHINDLEROVÁ, Vladimíra; KRATOCHVÍL, Jiří. Potential and limits of OEE in the total productivity management. Advances in Science and Technology. **Research Journal**, v. 14, n. 2, 2020.

SHAMSEER, Larissa et al. Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015: elaboration and explanation. **Bmj**, v. 349, 2015.

SIEDLER, Carina; LANGLOTZ, Pascal; AURICH, Jan C. Modeling and assessing the effects of digital technologies on KPIs in manufacturing systems. **Procedia CIRP**, v. 93, p. 682-687, 2020.

SINGH, Ranteshwar et al. Overall equipment effectiveness (OEE) calculation-Automation through hardware & software development. **Procedia Engineering**, v. 51, p. 579-584, 2013.

SINGH, Sandeep; KHAMBA, Jaimal Singh; SINGH, Davinder. Analyzing the role of six big losses in OEE to enhance the performance: literature review and directions. **Advances in Industrial and Production Engineering: Select Proceedings of FLAME 2020**, p. 411-421, 2021.



TUMBAJOY, Luisa M.; MUÑOZ-AÑASCO, Mariela; THIEDE, Sebastian. Enabling Industry 4.0 impact assessment with manufacturing system simulation: an OEE based methodology. **Procedia CIRP**, v. 107, p. 681-686, 2022.

VOSS, Chris; TSIKRIKTSIS, Nikos; FROHLICH, Mark. (2002) Case Research in Operations Management. **International Journal of Operations & Production Management**, 22, 195-219.

ZANGIACOMI, Andrea et al. Moving towards digitalization: a multiple case study in manufacturing. **Production Planning & Control**, v. 31, n. 2-3, p. 143-157, 2020.

ZHENG, Ting et al. The applications of Industry 4.0 technologies in manufacturing context: a systematic literature review. **International Journal of Production Research**, v. 59, n. 6, p. 1922-1954, 2021.

ZHOU, Keliang; LIU, Taigang; ZHOU, Lifeng. Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. In: 2015 12th **International conference on fuzzy systems and knowledge discovery (FSKD)**. IEEE, 2015. p. 2147-2152.

ZHOU, Junhong; WANG, Yu; CHUA, Yong Quan. Machine oee monitoring and analysis for a complex manufacturing environment. In: 2020 15th **IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)**. IEEE, 2020. p. 1413-1418.

**Recebido:** 15/02/2023

**Aprovado:** 16/10/2023

**DOI:** 10.3895/rts.v20n59.16435

**Como citar:**

DE OLIVEIRA JÚNIOR, Manoel Carlos; BREVAL SANTIAGO, Sandro; DE LIMA, Orlem Pinheiro et al. Digitalização baseada na arquitetura RAMI e OEE: estudo de caso em empresa do subsetor termoplástico do polo industrial de Manaus. *Tecnol. Soc., Curitiba*, v. 20, n. 59, p. 252-268, jan./abr., 2024. Disponível em:

<https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/16435>

Acesso em: XXX.

**Correspondência:**

**Direito autoral:** Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

