



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

GABRIEL HERMINIO DE ANDRADE LIMA

MODELO ESTRUTURADO DE INDICADORES DE DESEMPENHO DE ATIVOS E
PROCESSOS INTENSIVOS EM ATIVOS

Recife

2021

GABRIEL HERMINIO DE ANDRADE LIMA

**MODELO ESTRUTURADO DE INDICADORES DE DESEMPENHO DE ATIVOS E
PROCESSOS INTENSIVOS EM ATIVOS**

Dissertação de Mestrado apresentada à UFPE
para a obtenção de grau de Mestre como parte
das exigências do Programa de Pós-
Graduação em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Gerência da Produção.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Ana Paula Cabral Seixas Costa

Recife

2021

Catálogo na fonte
Bibliotecário Gabriel Luz, CRB-4 / 2222

- L732m Lima, Gabriel Herminio de Andrade.
 Modelo estruturado de indicadores de desempenho de ativos e processos intensivos em ativos / Gabriel Heminio de Andrade Lima – Recife, 2021.
 87 f.: figs., tabs.
- Orientadora: Profa. Dra. Ana Paula Cabral Seixas Costa.
 Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2021.
 Inclui referências e apêndices.
1. Engenharia de Produção. 2. indicadores de desempenho de ativo. 3. indicadores de desempenho de processos. 4. gestão de ativos. 5. modeo estruturado de indicadores. I. Costa, Ana Paula Cabra Seixas (Orientadora). II. Título.

UFPE

658.5 CDD (22. ed.)

BCTG / 2021 - 245

GABRIEL HERMINIO DE ANDRADE LIMA

**MODELO ESTRUTURADO DE INDICADORES DE DESEMPENHO DE ATIVOS E
PROCESSOS INTENSIVOS EM ATIVOS**

Dissertação de Mestrado apresentada à UFPE
para a obtenção de grau de Mestre como parte
das exigências do Programa de Pós-Graduação
em Engenharia de Produção.

Aprovada em: 22/02/2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dr^ª. Ana Paula Cabral Seixas Costa (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Cristiano Alexandre Virgínio Cavalcante (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^ª. Dr^ª. Emilia Rahnemay Kohlman Rabbani (Examinador Externo)
Universidade de Pernambuco

Ao meu avô e pai, Manoel Gregorio, por ter me ensinado que meu estudo é o meu trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por todas as oportunidades concedidas, pela sua capacitação, auxílio e força. Sem Ele não tinha obtido êxito nessa conquista.

Agradeço à minha família pelo apoio, compreensão e confiança depositadas em minhas decisões. Em especial agradeço a minha mãe, Maria do Socorro, por investir, acreditar e confiar que meus estudos irão trazer crescimento profissional e pessoal, sendo essa conquista fruto do seu zelo.

Agradeço a minha orientadora, Ana Paula Cabral da Seixas Costa, pelo ensino, orientação e atenção ao longo desses anos. Pude aprender que a docência vai além de ensinar uma disciplina ou orientar uma dissertação, engloba a empatia, a solidariedade e a fé.

Agradeço a CAPES pelo suporte financeiro proporcionado para elaboração dessa pesquisa.

Agradeço ao PPGE-UFPE por proporcionar um corpo docente qualificado e estrutura para o desenvolvimento dessa pesquisa, contribuindo diretamente para o meu crescimento acadêmico.

Agradeço aos meus companheiros de turma e laboratório, em especial Robertinha e Jessyca, pela ajuda, atenção e zelo.

Por fim, agradeço o apoio dos meus amigos professor André Marques Cavalcanti, Auristela Silva, Steffanie Soares e John Payne.

RESUMO

Os ativos físicos, como equipamentos e maquinários, são importantes recursos organizacionais, pois colaboram para a entrega de valor ao negócio. Apesar dessa importância, principalmente para as empresas intensivas em ativos, existe dificuldade em estabelecer meios de mensurar a contribuição da performance do ativo para a performance organizacional, podendo ser esta última medida pelo desempenho dos processos de negócios. Nesse cenário, surge então a necessidade de entender o valor, tanto numa perspectiva de ativo quanto de processo, requerendo assim identificar quais são os indicadores que mensuram a performance do ativo (API) e quais são os indicadores genéricos que podem ser usados para mensurar o desempenho de diferentes processos (PPI) intensivos em ativos. Desta forma, motivados pelas evidências na literatura que apontam que o ativo impacta na performance do processo, esta dissertação utilizou-se da pesquisa bibliográfica, de consulta a especialistas e *design science* para consolidar os indicadores de ativos e processos de negócios de forma estruturada, como também propor um procedimento para monitoramento desses indicadores a fim de acompanhar a performance dos ativos e processos intensivos em ativos. Para fornecer as organizações um modelo estruturado adequado ao seu negócio, bem como operacionalizá-lo, foram desenvolvidos um procedimento e o protótipo de um sistema de informação que suporta o modelo proposto. Dessa maneira, o modelo estruturado de indicadores permite identificar a entrega de valor do ativo, por meio das relações estabelecidas entre APIs e PPIs. Em paralelo, o procedimento, além de operacionalizar essas relações, promove para organizações um direcionamento de como realizar o acompanhamento do desempenho de ativos e processos. Assim, tem-se um conjunto de indicadores de ativos e de processos que podem ser utilizados pelas organizações, apoiando a estruturação e hierarquização das informações organizacionais. Por outro lado, a principal contribuição dessa pesquisa a consolidação de um procedimento que permite identificar a entrega de valor do ativo para o negócio, incorporando as diversas dimensões de valor.

Palavras-chave: indicadores de desempenho de ativo; indicadores de desempenho de processos; gestão de ativos; modelo estruturado de indicadores.

ABSTRACT

Physical assets, such as equipment and machinery, are important organizational resources, as they contribute to delivering value to the business. Despite this importance, especially for asset-intensive companies, there is difficulty in establishing ways of measuring the contribution of the asset's performance to organizational performance, the latter being measured of the performance of business processes. In this scenario, the need arises to understand value, both from an asset and process perspective, thus requiring the identification of which are asset performance indicators (API) and which are the generic indicators that can be used to measure the performance of asset-intensive different processes (PPI). Thus, motivated by the evidence in the literature that points out that the asset impacts the performance of the process, this dissertation uses bibliographic research, consultation with specialists and design science to consolidate the indicators of assets and business processes in a structured way, as well as to propose a procedure for monitoring on these indicators in order to monitor the performance of active and asset-intensive processes. In order to provide organizations with a structured model suited to their business, as well as operationalize it, a framework and prototype of an information system that supports the proposed model were developed. In this way, while the structured model of indicators allows to identify an asset value delivery, through the relationships between APIs and PPIs. In parallel, the framework, besides operationalizing these relationships, promotes a direction for associations on how to monitor asset performance and processes. Thus, there is a set of indicators of assets and processes that can be used by business, supporting the structuring and hierarchization of organizational information. On the other hand, the main contribution of this research is a consolidation of a procedure that allows to identify a delivery of value of the asset for the business, incorporating the several dimensions of value.

Keywords: asset performance indicators; process performance indicators; asset management; structured model of indicators.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Ilustração da problemática	15
Figura 2 –	Elementos importantes na gestão de ativos	20
Figura 3 –	Drivers para estabelecimento de PPIs	27
Figura 4 –	Efeitos internos dos objetivos de desempenho	37
Figura 5 –	Modelo de hierarquia entre indicadores de desempenho	42
Figura 6 –	Procedimento para acompanhamento do desempenho do ativo	48
Figura 7 –	Esquematização das relações	50
Figura 8 –	Telas do protótipo: registro de API e PPI	52
Figura 9 –	Tela do protótipo: estabelecimento da relação hierárquica PPI x API..	52
Figura 10 –	Matriz de prioridade de indicadores pelo método AHP	54
Figura 11 –	Tela do protótipo: Registro de Processos intensivos em ativos	55
Figura 12 –	Telas do protótipo: Registro de ativo e da relação entre processos intensivos em ativos e ativos	55
Figura 13 –	Telas do protótipo: definir os PPIs e APIs para seus respectivos processos e ativos	56
Figura 14 –	Telas do protótipo: Registro de medição do desempenho dos indicadores	56
Figura 15 –	Tela do protótipo: painel de acompanhamento de desempenho do ativo.....	57
Figura 16 –	Relatório da performance do ativo, em formato de planilha	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Os seis elementos principais do BPM e suas áreas de capacidade	21
Tabela 2 – Enquadramento da pesquisa	37
Tabela 3 – Termos chaves utilizados na busca dos indicadores	37
Tabela 4 – Apresentação dos objetivos de desempenho do processo	38
Tabela 5 – Síntese dos resultados das atividades de design science research	42
Tabela 6 – Modelo proposto de relação hierárquica entre indicadores de desempenho.....	45

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA	13
1.2	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	13
1.3	OBJETIVO	15
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2	BASE CONCEITUAL E REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1	BASE CONCEITUAL	17
2.1.1	Gestão de ativos	17
2.1.2	Business process management – BPM	20
2.1.3	Indicadores de desempenho	23
2.1.3.1	Key process indicators	24
2.1.3.2	Asset performance indicators	26
2.1.3.3	Process performance indicators	27
2.2	REVISÃO DA LITERATURA	28
2.2.1	Gerenciamento de ativos	28
2.2.2	Seleção de KPIs e mapeamento de relações	32
2.3	POSICIONAMENTO DESTES TRABALHO	35
3	METODOLOGIA	36
3.1	ENQUADRAMENTO DA PESQUISA	36
3.2	HIERARQUIA DE INDICADORES DE DESEMPENHO	37
3.3	ESTABELECIMENTO DO PROCEDIMENTO	40
4	MODELO ESTRUTURADO DE INDICADORES DE DESEMPENHO DE ATIVOS E PROCESSOS INTENSIVOS EM ATIVOS	44
4.1	MODELO DE HIERARQUIA DE INDICADORES DE DESEMPENHO	44
4.2	PROCEDIMENTO PARA ACOMPANHAMENTO DOS INDICADORES DE DESEMPENHO DE ATIVOS E PROCESSOS.....	49
4.3	PROTÓTIPO DE SISTEMA DE INFORMAÇÃO E APLICAÇÃO ILUSTRATIVA DO PROCEDIMENTO.....	54
4.4	DISCUSSÃO	62
5	CONCLUSÃO, LIMITAÇÕES E ESTUDOS FUTUROS	65
5.1	CONCLUSÕES	65

5.2	LIMITAÇÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	66
	REFERÊNCIAS	68
	APÊNDICE A – LISTA DE PROCESS PERFORMANCE	
	INDICATORS (PPIS).....	78
	APÊNDICE B -LISTA DE ASSET PERFORMANCE INDICATORS	
	(APIS)	84

1 INTRODUÇÃO

Asset Management ou Gestão de Ativos (GA) é uma disciplina de gestão que permite gerir os ativos físicos de organizações intensivas em capital durante todo o seu ciclo de vida, tendo como objetivo manter padrões de segurança, serviços e de contribuições para o valor do negócio (RODA; MACCHI, 2018; SCHNEIDER et al., 2006). Segundo El-Akruti, Dwight e Zhang (2013) a GA busca prover a excelência operacional por meio da aquisição e implementação de ativos de maneira eficaz e eficiente.

Os benefícios após a implementação da GA são diversos. Justin (2011) identifica-os em termos de redução de custo de manutenção e operação, aumento da vantagem competitiva e sustentabilidade, melhoria do desempenho e redução de risco. Além desses benefícios, a ISO 55000 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2014) destaca que a principal contribuição da GA é permitir a obtenção de valor do ativo, balanceando custos financeiros e não financeiros, com o intuito de atingir os objetivos de desempenho da organização e dos *stakeholders*. Por este ângulo, fica clara a necessidade de estudos que possibilitem averiguar o alcance desses objetivos frente ao desempenho do ativo.

No escopo industrial, o ativo torna-se central, pois possui a potencial capacidade de entregar valor ao negócio. Amadi-Echendu *et al.* (2007) argumentam que os ativos físicos possuem valor de capacidade (ligado a produtividade) e valor financeiro, devendo haver métricas que mensurem a entrega de valor por meio do seu desempenho. Nesse escopo, Hassen e Khan (2012) argumentam sobre a dificuldade de indexar o desempenho de ativos devido à natureza ampla dos indicadores e dos ativos. Assim, a dificuldade é dupla: selecionar os indicadores de desempenho de ativos (*Asset Performance Indicators* - APIs) e encontrar a contribuição do desempenho do ativo sobre o desempenho do negócio, sendo este o *locus* de investigação desta pesquisa.

A eficácia organizacional depende do gerenciamento das interações complexas entre entidades que compõem o negócio, isto é, o bom desempenho do negócio é condicionado pelo gerenciamento das interações entre sistemas, pessoas, processos, recursos, entre outras entidades (SIEMIENIUCH; SINCLAIR, 2002). Nesse cenário, os autores apontam como chave para a eficácia organizacional os processos de negócios projetados para atender as partes interessadas e a medição desses processos de forma contínua. Portanto, medir a performance do processo à luz dos objetivos de desempenho estabelecidos pela organização pode ser um meio de mensurar a performance organizacional.

Verifica-se então, que a mensuração da performance é um ponto importante para GA, como também, para a eficácia organizacional. Nesse aspecto, Hung *et al.* (2002) argumentam que as organizações que buscam otimizar suas operações de forma contínua devem medir e analisar a produtividade das operações em nível do ativo até ao nível do sistema, por métricas de desempenho. Em paralelo, Zhu *et al.* (2017) apontam que devem ser avaliadas as relações entre os indicadores de cada nível, representado no trabalho, pelos indicadores de ativo e processos. Então, mensurar e identificar as relações entre indicadores de desempenho em nível de ativo e processo é pertinente.

Nas organizações, os indicadores de desempenho são medidos qualitativas ou quantitativas para avaliar a performance das entidades organizacionais. Devido à grande quantidade de indicadores disponíveis, as organizações necessitam selecionar um conjunto de indicadores, os quais chama-se *Key Process Indicators* (KPIs), que visam monitorar o alcance dos objetivos organizacionais (POPOVA; SHARPANSKYKH, 2010; LOOY; SHAFAGATOVA, 2016). Dessa maneira, além de identificar os indicadores de processos e ativos, os negócios precisam selecionar KPIs para processos (*process performance indicators*-PPIs) e ativos que estejam alinhados aos objetivos organizacionais.

Neste contexto, destaca-se a multidisciplinaridade de GA que é um processo colaborativo que requer diversos saberes e técnicas que gerenciem o ciclo de vida do ativo (EL-AKRUTI; DWIGHT, 2013; LIMA; COSTA, 2019). Dada essa multidisciplinaridade, modelos de gerenciamento que visam apenas o custo mostram-se insuficientes, surgindo desse modo a necessidade de levar em consideração risco, custos e performance do ativo, devendo também atender os objetivos dos *stakeholders* (SRINIVAN; PARLIKAD, 2020). À vista disso, esta dissertação propõe um modelo estruturado de indicadores que permita monitorar o desempenho dos ativos, realizando o vínculo com os requerimentos organizacionais, isto é, o modelo proposto além de possibilitar o monitoramento do desempenho de ativos e processos, por meio de indicadores, propiciará o mapeamento de relações entre seus indicadores a fim de demonstrar quais dimensões do desempenho do ativo impactam no desempenho do processo de negócio.

Para isso, a pesquisa bibliográfica e a consulta a especialistas são adotadas para identificar os indicadores de ativo e processo, bem como, para desenhar uma estrutura hierárquica que mapeia as relações entre esses indicadores e os objetivos de desempenho do processo. Para operacionalizar esse modelo de relações e realizar o acompanhamento da

performance do ativo, um procedimento de acompanhamento foi criado utilizando a metodologia *design science research*. Por fim, foi desenvolvido um protótipo de sistema de informação para aplicação desse procedimento.

1.1 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

Os ativos representam um importante recurso em organizações intensivas em ativos, onde equipamentos e maquinários devem gerar valor à organização ao longo do ciclo de vida. Partindo desse ponto de vista, devem-se estudar as diversas técnicas, *frameworks* e sistemas que garantam maximizar o seu valor ao longo do ciclo de vida.

Há evidências da existência do link entre o desempenho do ativo e a performance dos processos de negócio, sendo mais clara essa ligação quando se avalia o impacto do *downtime* do ativo nos indicadores do processo (LI et al., 2015; NWANYA; UDOFIA; AJAYI, 2017). Por exemplo, a parada de um avião ou de um gerador de energia devido a uma falha, gera indisponibilidade na execução do serviço, podendo acarretar altos custos de manutenção corretiva, atrasos na entrega de pedidos, processos jurídicos por quebra de contrato e retaliação à marca.

Visando aumentar a disponibilidade dos ativos em operação e equilibrar os custos de manutenção, surgiram diversos modelos de manutenção. Muitos desses modelos utilizam como parâmetro de otimização o custo, havendo uma necessidade de incorporar outros objetivos de desempenho organizacionais que agreguem as perspectivas dos *stakeholders*. Por isso, é importante entender como os ativos contribuem para o alcance do desempenho organizacional, possibilitando o monitoramento dos ativos orientado à entrega de valor aos seus *stakeholders*.

As organizações possuem recursos limitados, demandando eficiência e eficácia no uso de seus recursos, o que inclui seus ativos. Por essa ótica, é preciso tomar decisões que estejam alicerçadas no cumprimento dos objetivos organizacionais, sendo assim, é imprescindível compreender que, ao traçar uma estratégia ou escolher uma recomendação de decisão, como por exemplo, a substituição de um ativo, deve-se verificar os benefícios a serem alcançados e sua contribuição sobre o desempenho do negócio. Assim, mensurar o desempenho do ativo tendo como referência os objetivos de desempenho dos processos de negócio é fundamental.

1.2 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Em uma revisão da literatura sobre GA, Petchrompo e Parlikad (2019) apresentam uma série de lacunas, tendo como intuito direcionar pesquisas futuras. Incluídos nesses *gaps*, têm-se a necessidade de tomada de decisão baseada em dados e valor, como também, a inclusão de objetivos holísticos. Logo, é oportuno estudar e compreender os dados, em termos de desempenho, que perpassam GA, entendendo as múltiplas dimensões de valor que são requeridos pelos *stakeholders*, para construção de modelos de gestão de ativos eficazes.

Em uma crítica semelhante, Srinivan e Parlikad (2020) argumentam que as técnicas atuais de GA buscam selecionar problemas pontuais no ativo, tendo como parâmetro de escolha a otimização do custo de manutenção. Nesse cenário, ao estruturar avaliações monoatributo, como o custo esperado de manutenção, perde-se os benefícios de compreender outras entregas de valor e, consequentemente, os modelos para controle e monitoramento da performance do ativo tendem a ser restritivos.

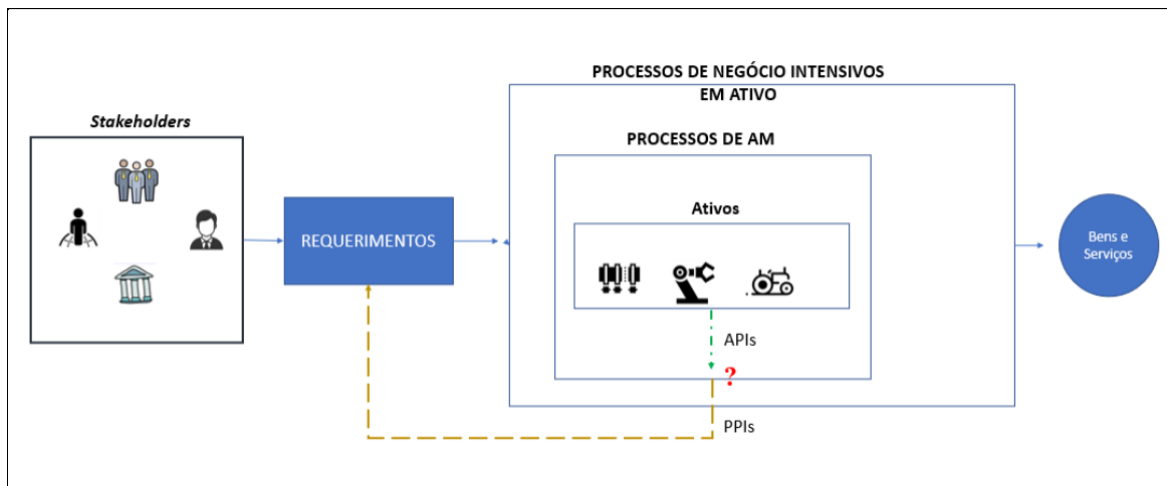
O valor no âmbito organizacional está relacionado à capacidade da organização entregar bens e serviços, atendendo aos requerimentos impostos pelos *stakeholders*. Desta maneira, demanda-se desenvolver e estipular métricas que permitam avaliar a performance organizacional, por meio dos processos de negócios. Logo, é imperativo investigar quais são os PPIs que possibilitam avaliar o alcance dos objetivos de desempenho estabelecidos pela organização?

As evidências teóricas trazem que ao analisar por uma perspectiva *bottom-up*, pode-se verificar que ativos e suas funcionalidades afetam o valor gerado pelo sistema, a depender do nível de criticidade (SRINIVAN; PARLIKAD 2020). Nessa linha de raciocínio, Parida (2012) argumenta que a avaliação da performance do ativo é crítica nas indústrias intensivas em capital, pois permite a criação, controle e monitoramento de valor, como também, a própria viabilidade econômica. Assim, tem-se a questão: quais são os indicadores que possibilitam mensurar o desempenho do ativo?

Attwater *et al.* (2014) argumentam que um “bom conjunto de medida de desempenho em GA é a conexão entre o desempenho do negócio e o desempenho do ativo”. Portanto, é imprescindível realizar essa conexão e entender como é a relação do desempenho do negócio, por meio de processos, com o desempenho do ativo, mensurados respectivamente por PPIs e APIs (*asset performance indicators*).

Nesse contexto, como ilustrado na Figura 1, a presente pesquisa visa identificar na organização os processos de negócio intensivos em ativos, os PPIs e APIs com intuito de monitorar a performance dos ativos sobre o desempenho organizacional, tendo como parâmetros de desempenho os requerimentos dos *stakeholders* (objetivos, valores, regulamentações, dentre outros aspectos relevantes).

Figura 1- Ilustração da problemática



Fonte: O autor (2021).

1.3 OBJETIVO

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um modelo estruturado de indicadores de desempenho de ativos e processos intensivos em ativos.

Para alcançar o objetivo geral, tem-se como objetivos específicos:

- Definir indicadores de desempenho de ativos;
- Definir indicadores de desempenho de processos de negócio;
- Estabelecer uma relação entre o desempenho dos ativos e dos processos de negócio;
- Propor um procedimento de acompanhamento dos indicadores de ativos e processos de negócio;
- Desenvolver o protótipo de um sistema de informação para suportar o procedimento de acompanhamento proposto;
- Ilustrar a aplicação do procedimento proposto por meio de dados simulados.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho possui cinco capítulos, sendo estruturado da seguinte forma:

O primeiro capítulo apresenta a introdução, expondo as motivações e justificativas para desenvolver o trabalho, como também, descreve o problema para então destacar os objetivos do trabalho.

O capítulo 2 desenvolve a base conceitual usada neste trabalho, trazendo os principais conceitos do campo em estudo. Ainda nesse mesmo capítulo explora-se a literatura, destacando os principais trabalhos da área. Conclui-se o capítulo com o posicionamento do trabalho.

O capítulo 3 descreve os procedimentos metodológicos adotados para a construção do modelo de relações entre os indicadores de desempenho e o procedimento de acompanhamento destes indicadores. Ainda nesse capítulo é apresentado o enquadramento da pesquisa.

No capítulo 4 é apresentado o modelo de relações hierárquica dos indicadores, como também, o procedimento de acompanhamento dos indicadores de ativos e processos de negócios intensivos em ativo. A aplicação do procedimento, em um protótipo de um sistema de informação, também é mostrada nesse capítulo, encerrando-o com uma discussão.

Por fim, no capítulo 5 as conclusões dessa pesquisa são apontadas, expondo suas limitações e direcionando os trabalhos futuros.

2 BASE CONCEITUAL E REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo são apresentados os conceitos fundamentais a respeito de gestão de ativos, gestão por processos e indicadores de desempenho, sendo exposto em seguida o conjunto de estudos que envolvem o estado da arte relativo ao gerenciamento de ativos, para então realizar o posicionamento do trabalho.

2.1 BASE CONCEITUAL

A base conceitual utilizada é apresentada a seguir, composta pelos seguintes temas: gestão de ativos, *business process management* e indicadores de desempenho.

2.1.1 Gestão de ativos

No contexto industrial, os ativos são caracterizados como entidades que possuem atual ou potencial capacidade de entregar valor a organização, contribuindo para o alcance dos objetivos corporativos (ISO 55000, 2014; AMADI-ECHENDU, 2004), podendo ser enquadrados em uma das cinco tipologias de ativos: ativos humanos, ativos financeiros, ativos informacionais, ativos físicos e os ativos intangíveis (INSTITUTE OF ASSET MANAGEMENT-IAM, 2008). Daí, a existência de diversas disciplinas (gestão de recursos humanos, gestão financeira, gestão da informação, gestão de ativos e gestão de marketing) para desenvolver as especificidades de cada perspectiva.

Apesar de não haver uma definição hegemônica por gestão ou administração, Chiavenato (2003,p. 11) define administração como o “processo de planejar, organizar, dirigir e controlar o uso de recursos a fim de alcançar objetivos organizacionais”. O mesmo autor salienta que esses processos permitem interpretar os objetivos organizacionais em ações concretas.

Nesse sentido, fica claro compreender que a GA envolve “atividades e práticas coordenadas e sistemáticas por meio das quais a organização gerenciam seus ativos e sistemas de ativos de forma ótima e sustentável, suas performances associadas, riscos e despesas ao longo do seu ciclo de vida com objetivo de alcançar os planos estratégicos organizacionais”

(IAM, 2008, tradução livre)¹. De forma similar, Petchrompo e Parlikad (2019), ISO 55000 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2014), ISO 55001 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2014), IAM (2015) definem GA como um conjunto de atividades que permitem obter valor para um conjunto de ativo, alcançar os objetivos organizacionais e de seus *stakeholders*. Nesse contexto, a GA surge como uma disciplina de gestão, envolvendo atividades em diferentes níveis organizacionais, o que demanda uma abordagem interdisciplinar (EL-AKRUTI; DWIGHT, 2013).

Com base nessas definições é possível verificar que conhecer as atividades de GA, técnicas de otimização e de mensuração de desempenho, o alinhamento organizacional, gerir os riscos e custos associados ao ciclo de vida de um ativo são componentes indispensáveis. Tais componentes estão presentes nas diversas classes de decisão. Petchrompo e Parlikad (2019) define as seguintes classes de decisão em GA:

- Políticas de intervenções;
- Programação das intervenções;
- Gerenciamento de sobressalentes;
- Seleção de ativo.

Ainda nessa perspectiva, Schneider *et al.* (2006) e Hassanain, Froese e Vanier (2003) salientam um conjunto de atividades, estratégias e técnicas de decisão em GA, das quais destacam-se:

- Gerenciamento e estratégias de manutenção;
- Determinação da condição do componente;
- Avaliação de desempenho e simulação de ativos;
- Abordagens de análises estatísticas de falhas e gerenciamento estatístico;
- Repositório central para informação dos ativos;
- Gerenciamento de ciclo de vida.

Pode-se verificar que muitas das decisões e atividades em GA são embasadas pelos conhecimentos vindos da engenharia da manutenção.

¹ No original: “systematic and coordinated activities and practices through which an organization optimally and sustainably manages its assets and asset systems, their associated performance, risks and expenditures over their life cycles for the purpose of achieving its organizational strategic plan”.

As atividades, como enfatiza a literatura de GA, usam modelagem determinística ou estocástica com a presença de decisões monoatributo ou multiatributo, para um melhor resultado organizacional com o gerenciamento de ativos (PETCHROMPO; PARLIKAD, 2019). Frisa-se que as atividades, planos e tomada de decisão em GA devem estar alinhadas aos objetivos organizacionais, contribuindo para entrega de valor à organização e *stakeholders*, tendo como base a liderança e *assurance* (ISO 55000, 2014). Portanto, fica evidente o dever de selecionar técnicas alinhadas ao contexto organizacional.

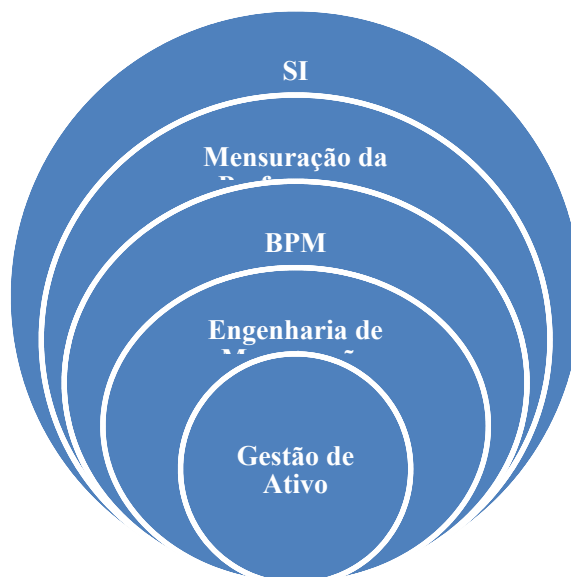
A aplicação de técnicas e o controle em GA para melhorar o desempenho organizacional, como um modelo de substituição por idade, demanda um conjunto de dados que expressem desempenho. Parida (2012) e Mohammadi, Amador-Jimenez e Nasiri (2019) argumentam a necessidade da mensuração e monitoramento do desempenho dos ativos, por meio de indicadores apropriados. Ainda segundo Parida (2012) todas as atividades e processos devem ser mensurados por indicadores de desempenho. Nesse aspecto pode-se extrair que o gerenciamento de processos e os seus respectivos indicadores de desempenho são centrais na GA, devendo ter um repositório de dados históricos.

Frolov *et al.* (2010) confirmam a importância de *Business Performance Management* (BPM) para o gerenciamento de ativos, pois as atividades de GA envolvem processos organizacionais e processos de GA. Os mesmos autores argumentam a existência de funções principais em GA, que são processos comuns às diferentes indústrias, dos quais preliminarmente salientam: identificação de ativos existentes, planejamento estratégico de GA, planejamento de GA e avaliação de desempenho de ativos. Daí, confirma-se novamente a demanda em estudar a mensuração da performance.

Incluso no escopo de GA, é emergente o uso de sistemas de informação, Asset Management System (AMS) ou Sistemas de Gestão de Ativos (SGA) para uma abordagem holística de GA (AMADI-ECHENDU, 2004). Ainda segundo o autor, esses sistemas além de permitir a coleta, o agrupamento e a manipulação de dados de diversas fontes, permitem analisar os dados e informações ao longo do ciclo da vida do ativo, corroborando para a tomada de decisão. Dessa maneira, SGA otimizam a operacionalização de análises que envolvam múltiplos objetivos.

Portanto, diante do exposto, têm-se como elementos importantes na GA (Figura 2) a engenharia de manutenção, a mensuração da performance, por meio de indicadores de desempenho de ativos e processos, BPM e o suporte de sistema de informação.

Figura 2- Elementos importantes na gestão de ativos



Fonte:O autor (2021).

2.1.2 Business process management - BPM

Um processo é um conjunto de atividades que são realizadas de forma lógica e cronológica que tem como objetivo transformar o estado de um objeto (FROLOV et al., 2010). Tal definição recai em conceitos de BPM que não abrangem o foco do negócio. Desta maneira, uma definição mais apropriada encontra-se em Hammer (2010) “trabalho de ponta a ponta da organização que cria valor ao cliente”². Tem-se então que um processo é um conjunto de atividades que agregam valor para os clientes. Desta maneira, processos devem ser monitorados e melhorados continuamente com base na entrega de valor, pensamento este base do BPM.

Nas organizações existem diferenças entre os processos, Wognuma *et al.* (2004) e *Association of business process management professionals* (ABPMP) (2013) apontam três classificações de processos que são inspirados na cadeia de valor de Porter:

- Processos primários: denominados também de finalísticos ou essências, são os processos que agregam diretamente valor aos clientes e permitem alcançar os objetivos da organização;

² No original: “end-to-end work across an enterprise that creates customer value”.

- Processos de suporte: são caracterizados pelo apoio aos outros processos, primários ou de gerenciamento;
- Processos de gerenciamento: possibilitam monitorar e controlar o negócio, tendo como princípio assegurar que a organização alcance os seus objetivos.

BPM é definida como uma disciplina integrada para o gerenciamento de processos de negócio, por meio de um conjunto de métodos, ferramentas e princípios, com o objetivo de melhorar os processos organizacionais (ABPMP, 2013; AALST; LA ROSA; SANTORO, 2016). Nesse aspecto, o BPM gerencia o negócio com o foco nos processos, contrastando os seus resultados aos requisitos de valor dos clientes, criando uma análise tríptica de processo, resultado e cliente (HAMMER, 2010).

Para a efetividade do BPM, Rosemann e VomBrocke (2015) definem seis elementos principais que são críticos para o sucesso do BPM, são eles: alinhamento estratégico, governança, métodos, TI, pessoas e cultura. A Tabela 1, sintetiza os processos para cada elemento. Entre eles destaca-se o alinhamento estratégico, pois permite o estreito vínculo entre prioridades organizacionais e processos corporativos. Tais prioridades recaem nos objetivos e valores dos *stakeholders*.

Tabela 1 - Os seis elementos principais do BPM e suas áreas de capacidade

Alinhamento estratégico	Governança	Métodos	Pessoas	Cultura	Tecnologia da informação
Planejamento de melhoria de processos	Tomada de decisão de gestão de pessoas	Projeto e modelagem de processos	Experiência e habilidades de processo	Capacidade de resposta para mudança de processo	Projeto e modelagem de processos
Estratégia de planejamento e vínculo de capacidade de processo	Funções e responsabilidades do processo	Implementação e execução de processos	Conhecimento de gestão de processos	Valores e crenças do processo	Implementação e execução de processos
Arquitetura de processo empresarial	Padrões relacionados aos processos	Monitoramento e controle de processos	Educação de processo	Comportamentos e atitudes de processos	Monitoramento e controle de processos

Clientes e partes interessadas do processo	Conformidade de gestão de processos	Monitoramento e inovação de processos	Colaboração de processo	Atenção da liderança para processo	Monitoramento e inovação de processos
Medidas de processo	Métricas de processo e vínculo de desempenho	Programa de processos e gestão de projetos	Líderes de gestão de processos	Redes sociais de gestão de processo.	Programa de processos e gestão de projetos

Fonte: adaptado de Rosemann e VomBrocke (2015).

Os benefícios do BPM são conhecidos na literatura e na prática. Hammer (2010) dividem os benefícios em operacionais e estratégicos. Como operacional, temos operações mais rápida, segura e com a redução de ativos, maior flexibilidade e cumprimento das entregas, consequentemente menores custos operacionais e maior satisfação dos clientes. No lado estratégico, tem-se a capacidade de atender às mudanças rápidas, por meio de um sistema de gerenciamento. Vale destacar que a melhora do desempenho do negócio, por meio de métodos de BPM, tem-se como mediador uma cultura de BPM na organização (SCHMIEDEL; RECKER; VOM BROCKE, 2020).

Por se tratar de uma filosofia de melhoria contínua, as organizações devem buscar melhorar seus processos de negócio. Nesse sentido, os processos que não estão contribuindo com o alcance dos objetivos estratégicos serão alvos do BPM, medidos por meio de um conjunto de KPIs (AALST; LA ROSA; SANTORO, 2016; ROSEMAN; VOM BROCKE, 2015). Portanto, as organizações devem priorizar um conjunto de KPIs que mensurem a performance dos processos.

Dentre as ferramentas de BPM, destacam-se os modelos de maturidade de processos de negócios (*Business Process Maturity Models-BPMMs*). Segundo Looyet. al (2013), BPMMs são importantes para aprimorar os processos de negócios à medida que permitem avaliar e mensurar as competências em BPM em diversos níveis, permitindo alcançar a excelência dos processos. Existindo, desse jeito, diversos modelos de maturidade, como *Business Process Orientation Maturity Model*; *Capability Maturity Model Integration*; *Capability Maturity Model* e *Process Performance Index*.

Evidenciada a importância de medição do desempenho dos processos, no próximo item é apresentado os indicadores de desempenho.

2.1.3 Indicadores de desempenho

A mensuração do desempenho organizacional tornou-se uma das temáticas recorrentes em estudos teóricos e nas práticas organizacionais, ao propiciar a identificação de oportunidades de melhoria dos resultados organizacionais por meio de indicadores de desempenho (*performance indicators* - PIs) (LOOY; SHAFAGATOVA; 2016; HASSEN; KHAN; 2012). Segundo Meier *et al.* (2013), essas oportunidades são caracterizadas pelos desvios entre as metas organizacionais estabelecidas e as performances dos PIs, representados pelo alcance dos desempenhos alvos (*target-performance*). Mas, o que são PIs e sua ligação com a performance do negócio?

De maneira genérica, os PIs podem ser definidos como medidas qualitativas ou quantitativas que refletem o progresso ou o estado de uma organização, unidade ou indivíduo (POPOVA; SHARPANSKYKH, 2010). Nessa definição fica clara a existência de indicadores de desempenhos para diversos *locus* de pesquisa e atuação, no entanto, será abordado os indicadores de desempenho no contexto organizacional.

No ambiente organizacional, como já mencionado, existem objetivos de desempenho que são derivados dos requerimentos dos *stakeholders*. Posto isto, planos, iniciativas e ações são estabelecidos para alcançar tais objetivos, sendo necessário estabelecer metas e os seus parâmetros de mensuração de desempenho (FORTUIN, 1988). Segundo o autor, os PIs são responsáveis por medir quantitativamente a performance e compará-la com as metas estabelecidas, cabendo a organização realizar mensurações periódicas para prover reavaliação das metas de desempenho. Nesse sentido, pode-se notar que os PIs são ferramentas para a melhoria contínua do negócio.

Em vista de sua importância, Hassen e Khan (2012) argumentam que os PIs devem ser bem definidos ao ponto de possibilitar a comparação entre o desempenho desejado e alcançado, possibilitando uma atitude proativa para reorientar os processos e tarefas para o desempenho almejado. Por isso, é necessário que os PIs possuam dimensões básicas que permitam padronizá-los, tais como: nome, definição, tipo (discreto ou contínuo), prazo, escala, fonte, proprietário, limite e robustez.

Dadas as características básicas, outro ponto fundamental para que os PIs possam realizar suas atribuições no gerenciamento do negócio é a necessidade de classificá-los por meio de perspectivas, que permitam trazer mais clareza e especificidade. Com base em uma revisão na literatura, Flapper, Fortuin e Stoop (1996) definem que os PIs podem ser: financeiros ou não financeiros, global ou local (remete-se aos níveis organizacionais), interno ou externo (*stakeholders*), hierarquia organizacional (baseada na estrutura organizacional) e área de aplicação (orientação ao departamento).

Ainda nesse escopo, é necessário destacar a necessidade de dispor os PIs de forma que garantam o apoio na tomada de decisão, Fortuin (1988) salienta a possibilidade de dispor os PIs na forma de gráficos. Há também a possibilidade de agregar os PIs em forma de *dashboard*.

2.1.3.1 Key process indicators

Tem-se como um grande desafio selecionar e monitorar um subconjunto de PIs que representem os objetivos de desempenho da organização, tal subconjunto são os *key performance indicators* (KPIs), pois existe uma grande quantidade de PIs disponíveis (POPOVA; SHARPANSKYKH, 2010; PARIDA et al., 2015). À vista disso, as organizações devem formar um portfólios de KPIs, tendo como critério atender objetivos corporativos de otimização e a disponibilidade de dados (LOOY; SHAFAGATOVA, 2016; MEIER et al., 2013).

Nessa lógica, os KPIs permitem que as partes interessadas possam medir o progresso em direção às metas e requerimentos declarados (GONZALEZ et al., 2017). Para alcançar suas funcionalidades, segundo esses autores, os KPIs devem alcançar as seguintes propriedades:

- Relevância: os KPIs devem exprimir informações valiosas para os *stakeholders*, possibilitando tomadas de decisões informadas;
- Especificidade: o valor observado deve ser bem definido e claro, bem como, o que está sendo observado e como está;
- Mensurável: de maneira qualitativa ou quantitativa;
- Comparabilidade: comparar diferentes objetos de avaliação;
- Rastreável em diferentes tempos: verificar o desempenho ao longo do tempo;

- Padrão: “diferentes partes interessadas podem usar o mesmo indicador sem se preocupar com o escopo da interpretação”;
- Conjunto mínimo de KPIs: Este conjunto precisa ser capaz de fornecer uma imagem completa de toda a unidade de análise.

Dominguez *et al.* (2019) trazem uma contribuição importante na operacionalização dos KPIs. Segundo os autores, além das características básicas de PIs, é necessário a identificação dos aspectos de cálculo do KPI e as suas dimensões, os recursos humanos relacionados (*stakeholders* internos e externos) e os relacionamentos entre KPIs. Portanto, esses aspectos devem ser levados em consideração na seleção dos KPIs do negócio.

Os KPIs financeiros, como retorno sobre investimento e receita líquida, são indicadores comuns e relevantes no contexto corporativo. Contudo, a existência de múltiplos *stakeholders* e de novos requerimentos organizacionais (legislações, certificações, pressões, dentre outros) demandam a avaliação contínua dos diversos objetivos de desempenho, os quais KPIs financeiros não conseguem avaliar sozinhos. Nesse aspecto, é eminente o uso de diversos KPIs não financeiros para obter uma avaliação holística do negócio.

Dado que é importante selecionar KPIs de forma que permitam aos tomadores de decisão acompanhar o negócio e tomar ações de melhorias com base no *gap* de performance dos indicadores (MUCHIRI *et al.*, 2011). Surgem então métodos e metodologias de gerenciamento de performance que visam selecionar KPIs de acordo com os interesses organizacionais.

Nessa perspectiva, existem práticas não estruturadas para realizar a seleção como *brainstorming* e *workshops*, tendo como premissa discussões entre *stakeholders* para alcançar o consenso de KPIs para o negócio. Por outro lado, a literatura evidencia outras abordagens com um framework robusto, visando integrar uma visão baseada nos diversos valores organizacionais, como o *Balanced Scorecard* (BSC) que permite assegurar a definição dos objetivos e PIs por meio de quatro perspectivas: financeiro, aprendizado e crescimento, cliente e processos internos.

Por fim, para esclarecer os aspectos relevantes do sistema a ser medidos pelo KPI, Domínguez *et al.* (2019) apontam para a necessidade de levar em consideração o escopo. Essa dimensão é caracterizada pelo entendimento do contexto de aplicação e pelo foco de áreas específicas de aplicação, definindo então, KPIs especializados. Nesse aspecto, os KPIs especializados recebem nomenclaturas próprias de acordo com o âmbito de investigação, se

há uma orientação de mensuração do desempenho por processos têm-se *process performance indicators* (PPIs). Portanto, se em GA é uma visão de performance orientada ao ativo o termo *asset performance indicators* (APIs) mostra-se mais adequado.

2.1.3.2 Asset performance indicators

Linderberg *et al.* (2015) e Muchiri *et al.* (2011) argumentam que muitos KPIs podem ser aplicados em equipamentos individuais. Tal nomenclatura mostra-se inadequada em dois aspectos: 1) a própria definição de KPI no contexto organizacional está relacionado a performance genérica do negócio, 2) GA demanda indicadores que perpassam o ciclo de vida do ativo, em que o ativo tem um papel central. Dessa forma, um termo mais apropriado em GA deve ser discutido.

Em estudos sobre mensuração da performance da manutenção Parida *et al.* (2015) e Muchiri *et al.* (2011) defendem a utilização de dois tipos de indicadores, *leading* e *lagging*. O primeiro conjunto de indicadores monitoram os KPIs relacionados com o desempenho das tarefas de manutenção, ou seja, os processos envolvidos na manutenção. Já os indicadores do tipo *lagging* mensuram o resultado da atividades de manutenção por meio da avaliação do desempenho do ativo e os custos de manutenção. De forma análoga, os APIs podem mensurar processos específicos de GA e a performance do ativo, sendo o foco deste trabalho os APIs ligados ao desempenho do ativo.

A importância em realizar e monitorar o desempenho do ativo está em sua contribuição na estabilidade e eficiência do processo produtivo (ZHU et al., 2014). Dentro dessa perspectiva, o indicador *overall equipment effectiveness* (OEE) vem sendo utilizado como um instrumento de identificação de perdas de produção e otimização do sistema produtivo, sendo formado por três índices: disponibilidade, qualidade e performance do ativo (ESMAEEL et al., 2018). Entretanto, a utilização de um único indicador mostra-se insuficiente para atender os diversos *stakeholders*.

Nessa perspectiva, os APIs também devem ser selecionados com base no atendimento de objetivos de desempenho. Em uma pesquisa sobre o desempenho da manutenção, Muchiri *et al.* (2010) apontam como objetivos a serem alcançados a segurança, a disponibilidade, a confiabilidade, o custo-benefício, o cumprimento das metas de produção e a qualidade dos produtos, cabendo aos APIs mensurar o alcance desses objetivos.

Parida e Chattopadhyay (2007) definem cinco indicadores de desempenho relacionados a ativos que mensuram a performance da manutenção: disponibilidade, taxa de desempenho, qualidade, número de paradas, tempo de inatividade e retrabalho. Nota-se então os avanços de prover APIs que possibilitem mensurar o alcance dos objetivos de desempenho. Parida (2012) atualiza esse grupo de indicadores como *asset indicators*, que são PIs selecionados a partir da perspectiva do ciclo de vida do ativo.

Em um estudo com indicadores de integridade de ativos baseado em risco, Hassan e Khan (2012) argumenta que a complexidade dos ativos, pela ampla natureza, dificulta a formação de estudos de indexação de desempenho. Nesse prisma, os autores trazem como APIs os indicadores de integridade mecânica, por meio deles seria possível avaliar e monitorar os ativos.

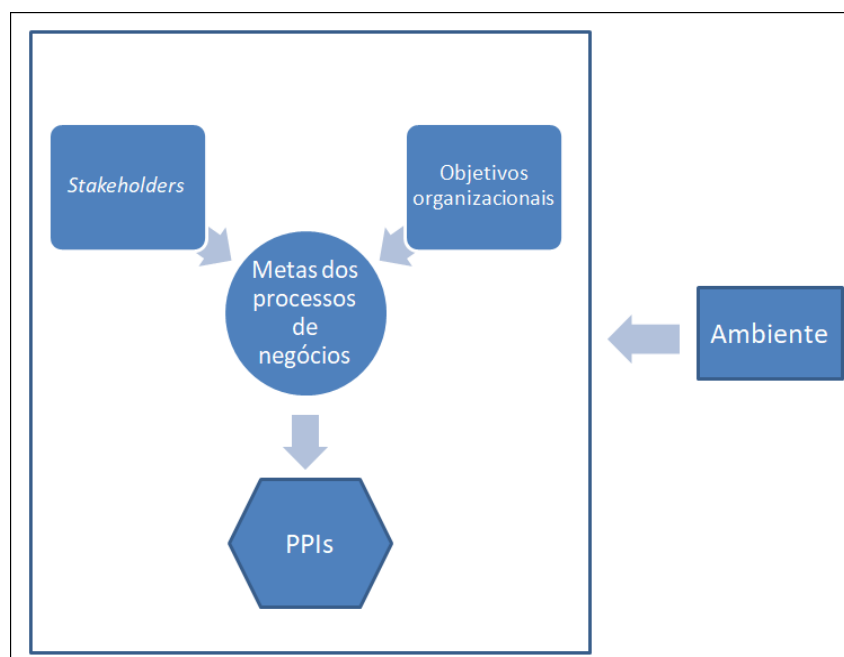
Entretanto, como argumenta Parida *et al.* (2015), existe um hiato entre a avaliação estratégica da performance dos ativos com os requisitos das partes interessadas, dificultando a mensuração deste desempenho para a empresa. Portanto, faz-se necessário estudos que corroborem em integrar o desempenho do ativo aos múltiplos objetivos de valor organizacional.

2.1.3.3 Process performance indicators

Process performance indicators (PPIs) são indicadores chaves que mensuram a performance dos processos de negócio, sendo estabelecidos sobre dimensões de desempenho, tais como, custo, flexibilidade, qualidade, tempo e outros (AALST; ROSA; SANTORO, 2016). Dessarte, por meio dos PPIs, a organização consegue avaliar a eficácia e eficiência dos seus processos de negócios, norteados o alcance dos seus objetivos organizacionais (DEL-RIO-ORTEGA et al., 2019).

Kuang (2000) aponta que os PPIs podem ser derivados das metas dos processos de negócios, tais metas são influenciadas por um conjunto de fatores, tais como os requerimentos dos *stakeholders* e os objetivos corporativos. A Figura 3 apresenta os “*drivers*” para estabelecer os PPIs, destaca-se ainda, que tanto os PPIs como os fatores são afetados por fatores ambientais (econômico, tecnológico, social e jurídico). Com base nisso, metodologias podem ser aplicadas para selecionar os PPIs para os processos de negócios da organização.

Figura 3- Drivers para estabelecimento de PPIs



Fonte: Adaptado de Jueng (2000).

No que tange as propriedades dos PPIs, permanecem as já apontadas nesse trabalho para os KPIs, isto é, relevância, especificidade, mensurabilidade, comparabilidade, rastreabilidade, padronização e conjunto mínimo de indicadores. Tendo em vista essas propriedades, as organizações selecionam um conjunto de PPIs que atendam os objetivos organizacionais, permitindo recursos informacionais para a tomada de decisão (DEL-RIO-ORTEGA et al., 2019).

2.2 REVISÃO DA LITERATURA

A revisão da literatura é discutida a seguir trazendo diversos modelos (framework, modelos estatísticos, *ad-hoc* e multicritério) que descrevem o gerenciamento de ativos, seleção de KPIs e mapeamento de suas relações.

2.2.1 Gerenciamento de ativos

Mohammadi, Amador-Jimenez e Nasiri (2019) constroem um framework de três grupos de tarefas para o gerenciamento de ativos em sistemas metroviários: avaliação do

desempenho, predição de desempenho e distribuição e otimização de orçamento. De forma genérica, os autores propõem que para uma gestão efetiva as organizações devem construir medidas de desempenhos para prever o comportamento do sistema de ativos, devendo os gestores adotarem uma técnica proativa de correção tendo como o melhor custo-benefício. Apesar dos avanços ao incorporarem métricas de desempenho, técnicas de previsão e de alocação de recursos, os autores não realizam avaliações holísticas quanto a outras métricas de avaliação, bem como, não estudam o impacto desse sistema sobre o desempenho do negócio.

Com base no *Balanced Scorecard*, Arthur *et al.* (2016) desenvolvem um framework de 6 passos iterativo que busca verificar e medir o alinhamento entre os objetivos de GA aos objetivos organizacionais, por meio de indicadores de desempenho. Tais objetivos de GA são construídos com base nos requisitos dos *stakeholders*, sendo medidos por um conjunto de indicadores de desempenhos que refletem as perspectivas do BSC. Apesar de haver a mensuração dos indicadores e uma comparação com o ideal (meta), a proposta não traz um escopo para avaliar o impacto desses indicadores sobre o desempenho do negócio.

Tendo como base a interdisciplinaridade de GA, El-Akruti e Dwight (2013) constroem um modelo de gerenciamento levando em consideração os três níveis organizacionais e as suas atividades, tendo como premissa agregar valor ao negócio por meio de decisões centradas no melhor desempenho do ativo. O modelo proposto possui um ciclo de gerenciamento e controle com 8 núcleos de atividades que compõem funções relativas e de suporte a GA, tendo ênfase nos *feedbacks* e *feedforwards* ao longo de todo ciclo. No entanto, os autores também não discutem como seria realizada a mensuração da contribuição do valor para o negócio dado certo grau de desempenho do ativo.

A ISO 55001 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2014) defende que para um sistema de gerenciamento ser efetivo é necessário levar em consideração 7 requisitos, a saber, contexto da organização, liderança, planejamento, suporte, operação, avaliação da performance e *improvement*. Vale destacar, que para cada requisito há uma série de atividades e outros requisitos. O IAM (2015) argumenta que a estrutura da ISO 55001(INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2014) possui uma forte ligação com as perspectivas do ciclo PDCA.

O IAM (2015) desenvolve um modelo conceitual com 39 assuntos de análises agrupados em 9 grupos, compreendendo a amplitude de atividades de GA e as suas

interligações, bem como, a necessidade de alinhamento da GA frente as metas estratégicas da organização. Os grupos são formados por estratégias e planejamento, tomada de decisão em GA, entrega do ciclo de vida, informação de ativo, organização e pessoas e, por fim, risco e revisão. Contudo, como o próprio instituto exprime esse modelo é conceitual, não existindo como poderia ser implementado.

Como já mencionado, a manutenção tem um papel central na GA. Os avanços das técnicas de Pesquisa Operacional e os avanços de Tecnologias de Informação e Comunicação possibilitaram a expansão de técnicas, ferramentas e metodologias em manutenção. Nessa área, os modelos são criados por meio do enquadramento do tipo de manutenção, tendo como base a gestão do ciclo de vida e o custo de manutenção (SCHNEIDER et al., 2006). Andrews, Prescott e De Rozières (2014), por exemplo, desenvolveram um modelo estocástico para prever o estado dos ativos ferroviários utilizando o método de rede petri. Scaff e Cavalcante (2011) modelam a qualidade das inspeções e dos componentes dos ativos a fim de estruturar um modelo *delay time* que permita encontrar o tempo entre inspeções que otimiza a razão de custo. Muitos estudos em Manutenção, tem como critério de otimização o custo de manutenção.

Ainda na abordagem de manutenção, Da Silva e Lopes (2018) constroem um modelo que envolve *delay time* e multicritério para determinação do intervalo de inspeção. Os autores modelam o problema de decisão com diversas óticas de otimização, a saber, custo, tempo de inatividade, segurança, meio ambiente, qualidade e reputação, saindo da esfera de otimização apenas por meio do custo de manutenção. Aplicando ao contexto de GA, o artigo corrobora na necessidade de integrar disciplinas para um melhor gerenciamento, pois ao permitir utilizar o modelo de *delay time* para manutenção os autores incorporam múltiplos critérios para uma avaliação holística do problema de decisão.

Se aprofundando nas discussões atuais de GA, Srinivasan e Parlikad (2020) constroem um modelo de três estágios para a tomada de decisão orientado ao valor e ao risco. Inicia-se o modelo com a identificação do contexto do negócio e a caracterização do problema em questão, envolvendo nesse aspecto os tipos de ativos e suas funcionalidades. O segundo estágio envolve um mapeamento de valores que traduz as perspectivas de valores e objetivos dos *stakeholders*, bem como, entender como os valores são gerados e suas conexões. Por fim, os valores (interrupção do serviço, risco de segurança e reputação), são avaliados por métricas quantitativas como análise da demanda do ativo, aplicando uma média ponderada e análise de

sensibilidade para selecionar um curso de ação com base na maximização do valor e minimização dos riscos. Entretanto, o modelo de Srinivasan e Parlikad (2020) recaem por trazer os valores para escala monetária, em termos de consequências.

Como já mencionado, atender os requerimentos dos *stakeholders* é necessário. Em uma pesquisa sobre parcerias públicas privados em projetos de transportes, Mladenovic *et al.* (2013), fazem uma revisão da literatura e consulta a especialistas para integrar e alinhar objetivos de desempenho, KPIs e fatores críticos de sucessos (FCS), tendo como prerrogativa atender aos interesses de três *stakeholders*: governo, privado e usuário. Como achados da pesquisa, têm-se que diferentes *stakeholders* possuem diferentes objetivos de desempenho, bem como, a existência de um conjunto amplo de KPIs e FCS dificultam encontrar relações e correlações entre eles. O artigo, por sua vez, traz a discussão da urgência de KPIs para averiguar o alinhamento com os objetivos dos *stakeholders*, porém não traz uma metodologia sólida para verificar tal encontro.

Dentro da problemática descrita no capítulo 1, o trabalho de Attwater *et al.* (2014) traz significativos *insights* para um modelo teórico da GA, sendo uma combinação do modelo de IAM (2015) e modelos de maturidades. O framework inicia-se com os principais processos e atividades em GA (ciclo) identificados, e os seus resultados devem ser entendidos e como impactam no desempenho do negócio, ou seja, as atividades de GA ao impactarem no desempenho do ativo demandam avaliar a contribuição desse desempenho sobre o negócio. Posto isto, surge então o questionamento: como relacionar ou estruturar o desempenho do ativo em relação ao desempenho da organização, quais são as dimensões para medição?

Nessa perspectiva, alguns trabalhos fornecem alguns panoramas de como avaliar o ativo de forma a verificar a sua contribuição do negócio. O *overall equipment effectiveness* (OEE), por exemplo, é um indicador de performance do ativo tradicional na indústria, composto pela integração das taxas de qualidade, disponibilidade e performance do ativo; usado para identificar perdas e oportunidades de melhoria dos processos (MUCHIRI; PINTELON, 2008). Uma das suas adaptações é *overall factory effectiveness* (OFE) que utiliza as performances dos fatores interdependentes de uma planta, isto é, processos e ativos, ponderando conforme os objetivos organizacionais (SCOTT; PISA, 1998). Todavia, ainda permanece a carência de análises holísticas que compreendam os indicadores de processo e ativo, como relacioná-los e agregá-los.

Inyama e Oke (2020), inspirados no efeito do *downtime* para a produtividade de plantas

de processos, estudam como a performance do ativo em termos de disponibilidade e taxa de falhas impactam no *downtime* do processo. Para isso, os autores utilizam modelagem estocástica, seguindo a distribuição *weibull*, com base em dados históricos para estimar os indicadores de sete ativos. Com o modelo, verificou-se que os ativos que mais contribuem para a indisponibilidade do processo, oportunizando gerenciá-los de forma mais eficaz.

De uma forma holística de avaliação, Zhu *et al.* (2017) argumentam que o desempenho do processo é influenciado pelo desempenho do ativo. À vista disso, os autores fazem uma adaptação dos KPIs estabelecidos na ISO 22400 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2014) para a indústria de processo, segregando-os e consolidando-os em KPIs para processo e KPIs para equipamentos. Apesar de defenderem a influência entre processos e ativos, os autores deixam para estudos posteriores a necessidade de avaliar a interação e a hierarquização entre eles.

Por fim, os ativos contribuem de forma distinta nos processos industriais, existindo a necessidade priorização deles frente seu impacto ou importância para o processo. Abordagens multicritério para priorização de ativos são utilizados na literatura, por exemplo, Do Carmo Mendonça *et al.* (2018) constroem um modelo para priorizar do ativo para a manutenção utilizando o PROMETHEE II; Dağdeviren (2008) utilizam a integração AHP-PROMETHEE para seleção de ativos; Sitorus e Brito-Parada (2020) utilizam modelos multicritério *fuzzy* para seleção de ativos de mineração. Destaca-se, nesses estudos, o uso de indicadores de ativos e alguns indicadores do processo como critérios de avaliação.

2.2.2 Seleção de KPIs e mapeamento de relações

Dada a necessidade de mensurar e controlar o desempenho organizacional, surgem metodologias que possibilitam selecionar os KPIs à luz da estratégia organizacional, levando em consideração os diferentes objetivos esperados pelos *stakeholders* e o atingimento de metas de desempenho. Dentro desse escopo, o BSC é apontado como uma das ferramentas efetiva para o gerenciamento do desempenho ao permitir estabelecer os objetivos organizacionais e os seus indicadores por meio do alinhamento estratégicos das suas perspectivas, que refletem valor (LIYANAGE; KUMAR, 2003; TSANG; JARDINE; KOLODNY, 1999). É importante mencionar a existência de diversas adaptações do BSC ao ramos de negócios emergentes e as novas abordagens de valor.

Trabalhos como Parida e Chattopadhyay (2007), Kumar *et al.* (2013) e Mahmood *et al.* (2018) apontam que os indicadores sejam estabelecidos de acordo com os níveis organizacionais, ocorrendo assim, que KPIs de níveis estratégicos possuem relações com os KPIs de “chão de fábrica” (nível operacional). A exemplo, pode-se utilizar o OEE que é utilizado em nível gerencial e é formado por três índices operacionais. Portanto, há evidências para se estabelecer níveis de agregação entre KPIs e as interrelações existentes, por meio da estrutura organizacional.

Com a identificação de KPIs e dos objetivos de desempenho, sobrevém a indispensabilidade em compreender e identificar as relações entre KPIs, sua causalidade ou correlação. Inspirados nisso, Popova e Treur (2007) desenvolvem uma linguagem formal para capturar os fenômenos de interação entre PIs, por meio de um conjunto de propriedades, das quais podem-se salientar a correlação, agregação temporal e organizacional, independência e a resolução de conflito entre KPIs. Posto isto, levá-las em consideração é útil na estruturação de KPIs da organização.

Em uma abordagem de Pesquisa Operacional *soft*, Flapper, Fortuin e Stoop (1996) direcionam seu modelo de gerenciamento de desempenho a três etapas, a saber, identificação de PI, definição de relações entre indicadores e estabelecimento dos valores alvos para os PIs. Este modelo, enfatiza que para a efetividade do gerenciamento é preciso levar em consideração as declarações de valores dos *stakeholders*, por meio do tipo de decisão (estratégico, tático, e operacional), se o PI reflete o desempenho global ou parcial do sistema e a unidade de medida utilizada. Tal abordagem, vale-se de discussões e negociação entre as partes interessadas, carecendo de um suporte metodológico mais robusto e claro para conduzir o estabelecimento das relações.

Em uma abordagem de Pesquisa Operacional *hard*, Rodriguez, Saiz e Bas (2009) propõem um modelo quantitativo tendo como finalidade a identificação e projeção das relações, estabelecendo *a priori* os objetivos de desempenho, que refletem as perspectivas do BSC e os seus KPIs correspondentes. De forma exploratória, aplica-se a análise de componentes principais (ACP) ou modelo de equações estruturais (MEE) em um conjunto de dados, para obter o conjunto de KPIs relacionados. Em seguida, aplica-se novamente o ACP com mínimos quadrados ou MEE para confirmar o conjunto de KPIs dirigentes de negócio. Com o intuito de estabelecer a magnitude e o sentido das relações utilizam modelos parciais de mínimos quadrados, representados por modelos de regressão típicas. Por fim, os autores

utilizam de gráficos para representar as relações encontradas, apoiando a tomada de decisão. Ainda permanece a necessidade de tomadores de decisão ou *stakeholders* para validar os objetivos e os KPIs associados.

No contexto de petroquímicas, Sheikhalishahi, Karimi e Raghebi (2019) aplicam otimização combinatória para aprimorar o desempenho das plantas petroquímicas. Para aplicar a técnica de programação linear *data envelopment analysis* (DEA), os autores buscam na literatura e em especialistas um conjunto de indicadores em gestão de ativos em três níveis, sendo o primeiro nível embasado no PDCA, o segundo representa um subconjunto de indicadores do primeiro nível, e consequentemente o terceiro possui os indicadores qualitativos e quantitativos para cada indicador do segundo nível. Com base no *analytical network process* (ANP) os autores encontram a importância de cada indicador através de comparações multiatributo, realizadas por especialistas. Posto isto, aplica-se o DEA e análise de sensibilidade para identificar os fatores mais importante para o desempenho de plantas petroquímicas. Isto posto, o método proposto tem a finalidade de identificar os pontos fortes e fracos do sistema.

Outros trabalhos envolvem a aplicação de ferramentas *soft* com modelagem multicritério. Nessa linha, Suwignjo, Bititci e Carrie (2000) aplicam mapas cognitivos para estabelecer o conjunto de fatores (KPIs) que afetam a performance e suas relações (direta, indireta e self), sendo posteriormente estruturados de forma hierárquica. Em seguida, como parte de sua metodologia, aplica-se *Analytic Hierarchy Process* (AHP) para identificar as relações entre os níveis e os fatores do nível, com base do julgamento do analista. Avançando nesse estudo, Sarkis (2003) resolve utilizar o *Analytic Network Process* (ANP) ao invés do AHP, pois permite incorporar as relações dos fatores entre os diversos níveis, podendo assim, obter uma visão holística do relacionamento entre os KPIs entre níveis.

Avançando nos estudos envolvendo multicritério, pode-se estruturar o BSC e suas perspectivas de valor com modelos de avaliação multiatributo. Kucukaltan, Irani e Aktas (2016) aplicam BSC com ANP para selecionar e priorizar KPIs em logística. Com base nas perspectivas do BSC os autores estabelece os KPIs, aplicando ANP para encontrar o grau de importância para cada perspectiva e entre os KPIs, podendo os gestores ter uma visão dos KPIs que impactam o negócio.

Ainda nessa linha, Li *et al.* (2017) desenvolvem um modelo para seleção de *stakeholders* e de priorização de KPIs, tendo como princípio o estabelecimento de uma

hierarquia de KPI com base nos objetivos de desempenho, hierarquia organizacional e suas agregações — KPIs operacionais, a nível de equipamento, são agregados formando o tático e estratégico —. Para isto, desenvolvem alguns índices, sendo os *stakeholders* selecionados com base no *score* que sincroniza seu relacionamento com os objetivos de desempenho, segundo a percepção do decisor ou analista, e as relações dos KPIs são encontradas por meio da ponderação da avaliação dos *stakeholders* selecionados e dos seus respectivos pesos.

2.3 POSICIONAMENTO DESTE TRABALHO

Levando em consideração o escopo apresentado ao longo deste capítulo, nota-se que a GA é tema de diversas abordagens de pesquisa, existindo oportunidade em investigar diversas lacunas, sendo que entender como o desempenho do ativo contribui para o desempenho do negócio mostrou-se mais relevante, pois, como apresentado, há a demanda de mensurar a performance ponta a ponta na organização.

Os diversos trabalhos sobre mensuração da performance tomam com base KPIs sem necessariamente trazer distinções entre diversos objetos de estudo, isto é, não separam os diversos tipos de KPIs para em seguida verificar questões de interação, dominância e relacionamento entre eles. Por isso, é imprescindível na gestão de ativos desvincular o conceito genérico de KPI, para então, utilizar nomenclaturas claras para estudar os diversos objetivos de mensuração nas organizações. Neste trabalho, avalia-se as relações existentes entre ativos e processos, medidos respectivamente por APIs e PPIs.

Nota-se a importância em avaliar, mapear e estabelecer interrelações entre KPIs. Desta forma, espera-se desenvolver um modelo de indicadores estruturados e um procedimento de acompanhamento dessa estrutura permitindo a avaliação do desempenho do ativo e o monitoramento do impacto no negócio.

3 METODOLOGIA

Nesse capítulo são apresentados o enquadramento da pesquisa, os procedimentos metodológicos e os métodos utilizados para desenvolver o modelo estruturado de indicadores de desempenho de ativos e processos de negócio intensivos em ativos, como também o procedimento de acompanhamento do desempenho do ativo.

3.1 ENQUADRAMENTO DA PESQUISA

Esta pesquisa tem como método inicial a pesquisa bibliográfica que, segundo Facchin (2001), constitui reunir o conjunto de conhecimentos em um determinado assunto, estruturando de forma a obter tópicos de interesse a pesquisa. Dentre os seus benefícios, destaca-se a possibilidade de investigar um gama maior de fenômenos, se comparados a observação direta ou em ambientes em que os dados são dispersos (GIL, 2002, p.45).

Em seguida, para validação dos achados da pesquisa bibliográfica e do modelo proposto, consulta a especialistas foi adotada. A consulta a especialistas se justifica pelo seu conhecimento dos mecanismos e variáveis do contexto de decisão, bem como, prover informações factuais para a análise (DE ALMEIDA, 2013, p.3-4).

Enquanto a pesquisa bibliográfica e a consulta a especialistas proporcionam identificar e selecionar os elementos necessários para construir o modelo estruturado de indicadores de desempenho de ativos e processos de negócio intensivos em ativos, demanda-se uma metodologia que possa suportar a construção de um procedimento que permita o acompanhamento dos indicadores de desempenho do ativo em suas múltiplas dimensões pelas organizações. Para esse fim, utilizou-se da abordagem de *design science*, que permite criar e avaliar artefatos, para resolver problemas organizacionais (HEVNER et al., 2004).

Segundo Marconi e Lakatos (2003, p.187) uma pesquisa exploratória tem como premissa desenvolver hipóteses e familiaridade com o objeto de estudo além de clarificar os conceitos, devendo o pesquisador encontrar interrelações entre as propriedades do objeto de estudo.

Pelo ponto de vista da abordagem do problema as pesquisas são: a) quantitativa, tem como foco quantificar informações e opiniões; b) qualitativa, tem como diretriz a relação entre o mundo real e o sujeito, em que o processo e o seu significado são os focos dessa

abordagem (PRODANOV; DE FREITAS, 2013, p.69-70). A Tabela 2 sintetiza o enquadramento desta pesquisa.

Tabela 2 - Enquadramento da pesquisa

Quanto aos objetivos	Exploratória
Quanto aos procedimentos técnicos	Pesquisa bibliográfica, consulta a especialistas e <i>Design Science</i>
Quanto a abordagem do problema	Qualitativa

Fonte: O autor (2021).

3.2 HIERARQUIA DE INDICADORES DE DESEMPENHO

Para o desenvolvimento do modelo estruturado de indicadores, a pesquisa bibliográfica possibilita identificar o conjunto de indicadores que mensuram a performance de processos de negócio (PPIs) e de ativos (APIs), como também, apontar os meios de estabelecer padrões, conexões e hierarquias entre os indicadores. Diante da heterogeneidade de termos designados para KPIs, estabeleceu-se um conjunto de termos similares que contem a essência de APIs e PPIs (Tabela 3). Vale destacar, ainda, que devido as especificidades de cada processo, busca-se identificar PPIs genéricos que podem ser usados em diversos processos.

Tabela 3 - Termos chaves utilizados na busca dos indicadores

Termos chaves para APIs	Termos Chaves para PPIs
"maintenance performance indicators", "API", "asset performance indicators", "asset indicators", "equipment performance indicators", "equipment indicators", "KPIs for equipment"	"KPP", "PPI", "KPIs for processes", "process indicators", "Key process performance", "process performance indicators"

Fonte: O autor (2021).

Nesse sentido, foram identificados 23 PPIs (APÊNDICE A) e 24 APIs (APÊNDICE B). Com base no conjunto de PPIs e APIs foram levantadas as definições, fórmulas, unidade de medida e tendência de desejabilidade para cada indicador encontrado. A coleta dessas

informações respalda a necessidade de padronização, como mencionado em Dominguez et al. (2019), nota-se ainda que o mesmo indicador pode ter nomes distintos na literatura.

Como mencionado, os processos devem atender os requerimentos dos *stakeholders*. Nessa perspectiva, os processos devem atender aos objetivos de desempenhos vinculados a sua performance, nos quais são acompanhados por meio dos PPIs. Neste trabalho optou-se por utilizar os objetivos de desempenho da função produção, a saber qualidade, custo, flexibilidade, rapidez e credibilidade, pois tais objetivos são genéricos e podem ser utilizados por diversos processos. Entretanto, foi visto a necessidade de acrescentar um novo objetivo, a produtividade, pois como Slack et al. (1997) apresentam, a produtividade é um efeito dos demais objetivos, como representado na Figura 4, logo considera-se a produtividade como uma dimensão de desempenho para processos.

Figura 4- Efeitos internos dos objetivos de desempenho



Fonte: Adaptado de Slack et al. (1997).

A Tabela 4 apresenta as definições desses objetivos.

Tabela 4 - Apresentação dos objetivos de desempenho do processo

Objetivo de desempenho de processos	Descrição
Custo	Realizar as atividades e tarefas do processo com o menor custo possível.
Qualidade	Fazer certo as coisas, de maneira que os bens e serviços sejam entregues isentos de defeito, satisfazendo os clientes.
Flexibilidade	Capacidade de mudar as operações do processo de forma atender os requerimentos dos clientes e do ambiente.
Rapidez	Capacidade das operações executar suas tarefas no menor tempo possível, sendo o quanto de tempo os clientes esperam para receber seus produtos ou serviço, estando também associada a disponibilidade de bens.
Credibilidade (confiabilidade)	Capacidade das operações do processo realizarem as suas atividades à tempo de atender os compromissos de entrega, acordados com os seus clientes.
Produtividade	Capacidade dos processos produzirem bens e serviços em sua capacidade máxima.

Fonte: Adaptado de Slack et al. (1997).

Posto isto, os trabalhos de Inyama e Oke (2020) e Zhu *et al.* (2017) apontam que há relações entre PPIs e APIs, porém suas análises são específicas e não exaustivas, no sentido de não examinar várias dimensões de performance. Em contrapartida, apesar de não fazer distinção entre PPIs e APIs, Kang *et al.* (2016) estabelecem relações entre indicadores de processos e ativos a partir das fórmulas que representam os indicadores. Com base nessas evidências, investigou-se por meio das fórmulas e da essência do indicador as possíveis relações existentes entre os PPIs e os APIs. Destaca-se também que cada PPI foi posicionado para atender aos objetivos de desempenho estabelecidos.

Após o estabelecimento das relações entre PPIs e APIs, essa proposta inicial de relação foi submetida a especialistas a fim de validação dessas relações. Nessa fase, o grupo de especialista é formado por dois especialistas com formação em nível de doutorado e atuação de pesquisa na área de manutenção, confiabilidade e risco, um especialista com nível de

doutorado com atuação de pesquisa na área de processos de negócio, dois especialistas com formação em nível de mestrado, desenvolvendo pesquisas na área de gestão de ativos, um deles com mais de 30 anos atuando em empresa intensiva em ativos. Com base nos *feedbacks*, o modelo de relações foi consolidado, sendo retirados os PPIs que não estão associados à APIs, pois o objetivo deste trabalho é verificar o impacto do ativo. Por fim, o modelo de relações foi discutido com um grupo menor de especialistas (os dois em nível de mestrado e o em nível de doutorado na área de processos), para classificação das relações propostas como diretas e indiretas, como também, para padronização das descrições e fórmulas dos indicadores.

Nota-se, entretanto, que até o momento a relação centra-se na perspectiva do desempenho, não sendo estabelecido a relação entre o ativo e processo. Em outras palavras, apesar de construir um modelo de relação entre indicadores de ativos e processos, que consolida relações fixas entre APIs e PPIs, necessita-se de um procedimento sistemático que permita as organizações acompanhar o desempenho do ativo e o seu impacto nos processos de negócios intensivos em ativos.

3.3 ESTABELECIMENTO DO PROCEDIMENTO

Apesar da revisão da literatura e a consulta a especialistas possibilitarem o mapeamento de relações entre indicadores de ativos e processos, evidenciado impacto do comportamento do desempenho do ativo sobre o processo, o problema de como estruturar o acompanhamento do desempenho do ativo de forma adequada permanece para organização. Nesse cenário, o modelo de relações que traduz o comportamento dos objetos em estudo, deve ser seguido de um artefato (procedimento) que permita a utilização do modelo de relações de forma efetiva para organização, bem como, possibilite que seja replicado em diferentes empresas.

Para construção do procedimento de acompanhamento de indicadores de desempenho do ativo a abordagem de *design science* foi adotada, pois além de não invalidar os conhecimentos advindos da ciência do comportamento, permite criar artefatos (métodos, construtos, modelos e instanciações) que possam solucionar problemas organizacionais de forma eficiente e eficaz (HEVNER et al., 2004).

Na aplicação do *design science*, utilizou-se as seis atividades do *design science research* propostas por Peffers et al. (2007), pois essa abordagem é resultado da incorporação

de diretrizes e etapas de diversas metodologias conceituadas em *design science*. Por meio das atividades de identificação de problemas e motivação, definição dos objetivos de uma solução, design e desenvolvimento, demonstração, avaliação e comunicação, é possível desenvolver artefatos efetivos para a organização.

Como este trabalho é centrado na inicialização do problema, a metodologia sugere seguir a sequência de processo nominal, mas não impede a necessidade de retroceder a fases anteriores. Assim, para a construção do procedimento de acompanhamento, inicia-se com a atividade de identificação de problemas e motivação, na qual identifica-se o valor e a importância em investigar este problema. Como disposto ao longo desta dissertação, a importância do ativo para processos de negócios intensivos em capitais é notória, em sintonia a isso *Parida et al. (2015)* apontam diversos trabalhos que mostram que os gastos de manutenção com ativo podem superar os custos operacionais em indústrias intensivas em ativo, o que demandam maior atenção a performance do ativo. Ademais, verifica-se a ausência de estudos que contribuam para estruturar formas de mensurar a entrega de valor do ativo à organização, uma vez que o valor é reflexo do atendimento de requerimentos dos *stakeholders*, demandando relacionar a performance do ativo com a performance do negócio. Nesse interim, acompanhar apenas o desempenho do ativo, a nível apenas operacional, impede de entender como ele contribui em nível macro. Portanto, há a oportunidade de estruturar um modelo que permita avaliar o impacto do desempenho do ativo sobre o desempenho do negócio, a fim de tomadas de decisões eficientes e efetivas, pois não se trata apenas de medir o desempenho do ativo e sim de avaliar o quanto esse desempenho pode contribuir para a performance do negócio, por meio de processos.

Posto isto, a próxima fase para desenvolver o procedimento é a definição dos objetivos de uma solução, podendo ser quantitativa ou qualitativa, e frente ao problema exposto optou-se em seguir a abordagem qualitativa pois descreve como o artefato suporta a solução. Tendo em vista isto, tem-se como objetivo desenvolver um procedimento que permita as organizações realizarem a avaliação da performance do ativo, mapeando suas contribuições aos processos de negócio, podendo ser suportado por um sistema de informação. O procedimento deve também lidar com as múltiplas dimensões dos indicadores de performance do ativo e do processo, e com a historicidade da performance, a fim que a tomada de decisão envolvendo os ativos seja direcionada por uma análise “ponta a ponta” do impacto do desempenho do ativo sobre a organização.

Finalizada a fase de definição dos objetivos, inicia-se a fase de criar as etapas do procedimento, o que consolida a atividade de *design* e desenvolvimento, tem-se então as funcionalidades desejadas do artefato e a sua arquitetura projetada. Como o objetivo pretendido é o acompanhamento do desempenho dos ativos e dos processos intensivos em ativos, a organização precisará: selecionar e gerir os dados de APIs e PPIs, mantendo as propriedades dos KPIs, dispondo-os de forma hierárquica, tendo em vista a necessidade de priorização de acordo com os objetivos de desempenho. Ademais, ao passo que o procedimento deve operacionalizar na organização a performance estratégica do ativo, relatórios gerenciais de desempenho e *dashboard* devem ser suportados por sistema de informação, a fim de que além do acompanhamento do ativo, possibilite tomada de decisão centrada em dados e valor. Esses aspectos definirão a arquitetura do procedimento que está sendo proposto.

Seguindo a sequência do processo nominal, o artefato deve ser demonstrado, ou seja, demonstrar o seu uso como solução do problema. Para isso, o procedimento foi implantado em um protótipo de sistema de informação, no qual usou-se da simulação de dados para demonstrar a utilidade e as funcionalidades do procedimento proposto (HEVNER et al., 2004). Ao longo do próximo capítulo serão apresentados o procedimento e uma aplicação do mesmo, com base em dados simulados.

É notória em diversas abordagens de *design science* a fase de avaliação, na qual o artefato será avaliado, em contraste aos objetivos de solução. A análise concentra-se dos resultados obtidos da fase de demonstração. Desse modo, os resultados obtidos na fase de demonstração foram confrontados com os objetivos de solução, como também, com os requerimentos apontados na revisão da literatura.

Por fim, segue-se a comunicação. O procedimento deve ser publicado em periódicos, anais de congressos e revistas profissionais a fim de comunicar a importância em investigar a problemática e dispor o artefato como solução. Nesse sentido, este trabalho descreverá as principais contribuições do procedimento ao longo dos próximos capítulos, sendo divulgado, em seguida, no meio acadêmico e profissional.

A Tabela 5 apresenta a síntese da aplicação de *design science research* para desenvolver o procedimento de acompanhamento.

Tabela 5 - Síntese da aplicação das atividades de design science research

Processo de <i>design science research</i>	Etapas do desenvolvimento do procedimento
Atividade 1 e 2. Identificação do problema (motivação) e objetivos da solução	A revisão da literatura em GA apontou para algumas lacunas, tais como a ausência de modelos que permitam avaliar a contribuição da performance do ativo para o negócio em suas múltiplas dimensões, falta de operacionalização dos modelos propostos, não segregação de KPIs em APIs e PPIs para o uso efetivo de técnicas e hierarquização. Nesse cenário, o procedimento proposto tem como objetivo permitir as organizações o acompanhamento da performance do ativo e suas contribuições aos processos de negócio, lidando com as historicidade dos dados e as múltiplas dimensões dos APIs e PPIs, por meio de procedimentos e métodos.
Atividade 3. Desenvolvimento do artefato	Desenvolver o procedimento e identificar métodos que permitam a organização selecionar e gerir os dados de APIs e PPIs, dispondo-os de forma hierárquica. Ainda nesse escopo, como a organização necessita de um número limitado de indicadores, abordagem multicritério pode ser aplicada para priorização, tendo como base o alcance dos objetivos de desempenho. Ademais, identificar diretrizes para o acompanhamento da avaliação estratégica da performance do ativo, como relatórios gerenciais e <i>dashboard</i> de desempenho. Possibilitando tomada de decisão centrada em dados e valor.
Atividade 4. Demonstração	Demonstrar a aplicação do procedimento por meio de um protótipo de sistema de informação, utilizando dados simulados.
Atividade 5. Avaliação	A avaliação foi realizada por meio da verificação ao atendimento aos requerimentos apontados na revisão da literatura, como também, o alcance aos objetivos da solução.
Atividade 6. Comunicação	A comunicação do procedimento deve se seguir para acadêmicos e profissionais da área, através da publicação em eventos e periódico do campo de GA ou Engenharias.

Fonte: O autor (2021).

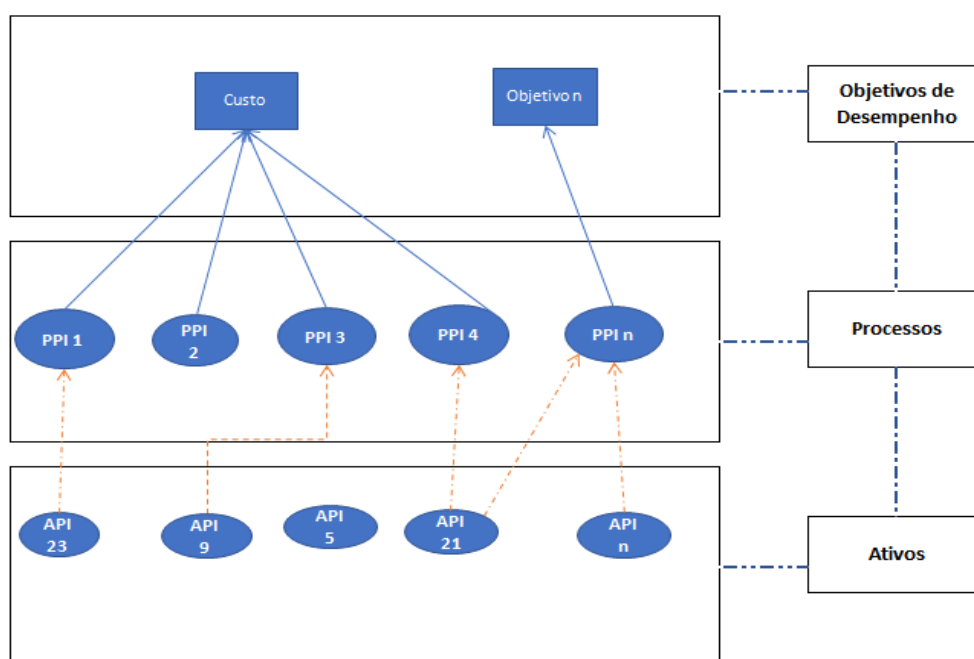
4 MODELO ESTRUTURADO DE INDICADORES DE DESEMPENHO DE ATIVOS E PROCESSOS INTENSIVOS EM ATIVOS

Neste capítulo são apresentados o modelo de hierarquia e o procedimento para acompanhamento do desempenho do ativo propostos. Segue-se o capítulo com a aplicação desse procedimento em um protótipo de sistema de informação, sendo em seguida discutido os aspectos mais relevantes do modelo e do procedimento.

4.1 MODELO DE HIERARQUIA DE INDICADORES DE DESEMPENHO

A literatura fornece alguns meios de hierarquizar indicadores de desempenho, como já mencionado. Nesta pesquisa, desenvolveu-se o seguinte modelo de hierarquia (Figura 5): os ativos impactam os processos de negócios (ZHU et al., 2017), pois os ativos são recursos utilizados pelos processos (SIEMIENIUCH; SINCLAI, 2002) para que estes alcancem seus objetivos de desempenho (DEL-RIO-ORTEGA et al., 2013), sendo assim, o desempenho dos ativos medidos pelos APIs podem afetar o desempenho dos processos medidos pelos PPIs, e consequentemente, no alcance dos objetivos de desempenho do processo (LIMA; COSTA, 2020).

Figura 5 - Modelo de hierarquia entre indicadores de desempenho



Fonte: adaptado de Lima e Costa (2020).

Tabela 6 - Modelo proposto de relação hierárquica entre indicadores de desempenho

Objetivo de desempenho do Processo	<i>Process Performance indicators</i>	<i>Asset performance indicators</i>
Custo	PPI 1 - Custos de insumos	API 13 - Percentual de itens defeituosos
	PPI 2 - Custo de Operação	API 9 - Capacidade de utilização do ativo
		API 15 - Eficiência de utilização do ativo
		API 18 - Performance
		API 20 - Consumo de energia do ativo
		API 21- Capacidade real de produção
	PPI 3 - Custo de manutenção	API 12 - Frequência de paradas na produção
		API 7 - Tempo médio para reparo (MTTR)
		API 10 - Taxa de falha
		API 24 - Custo médio de manutenção do ativo
Qualidade	PPI 4 - Taxa de qualidade do processo	API 6 - Percentual de itens conformes do ativo
	PPI 5 - Taxa de defeito do processo	API 13 - Percentual de itens não conformes do ativo
	PPI 6 - Taxa de retrabalho do processo	API 17 - Percentual de itens reprocessados
	PPI7- Taxa de descarte do processo	API 16 - Percentual de itens descartados
Rapidez	PPI 8- Lead time	API 3 – Downtime
		API 11 - Tempo operacional
		API 22 - Tempo de setup
Confiabilidade (Credibilidade)	PPI 9 - <i>Downtime</i>	API 3 – <i>Downtime</i>
		API 10 - Taxa de falha
	PPI 10 - Atraso médio	API 7 - Tempo médio para reparo (MTTR)
		API 13 - Percentual de itens defeituosos do ativo
		API 10 - Taxa de falha
Flexibilidade	PPI 11 - Flexibilidade de volume	API 15 - Eficiência de utilização
		API 21- Capacidade real de produção

Produtividade	PPI 12 - Flexibilidade do Mix	API 22 - Tempo de setup
		API 22 - Tempo de setup
	PPI 13 - Disponibilidade	API 1 - Tempo dedicado à operação
		API 12 - Frequência de paradas na produção
		API 15 - Eficiência de utilização do ativo
		API 2 - Tempo médio entre falhas (MTBF)
		API 7 - Tempo médio para reparo (MTTR)
		API 22 - Tempo de setup
	PPI 14 - Taxa de Transferência	API 5 - Taxa de produção
		API 4 – OEE
		API 11 - Tempo Operacional médio
		API 21- Capacidade real de produção
		API 22 - Tempo de setup

Fonte: O autor (2021).

O modelo de hierarquia proporciona um direcionamento para as organizações estruturarem as relações entre os indicadores de processos e ativos, isto é, PPIs e APIs. Nota-se, entretanto, que a organização precisará aplicar métodos que permitam apontar quais são os APIs que impactam nos PPIs, sendo essa questão trabalhada no procedimento proposto. Partindo de uma abordagem integrativa de revisão da literatura e consulta a especialistas, descrita no capítulo 4, desenvolveu-se um modelo proposto de hierarquia entre APIs e PPIs, apresentada na Tabela 6.

O modelo proposto de relação hierárquica entre indicadores (Tabela 6), de forma preliminar, permite direcionar a organização para o monitoramento e avaliação da performance do ativo, por meio do API, sobre a performance dos processos de negócio (PPI), podendo realizar uma análise de quais objetivos de desempenho (Tabela 4) são afetados pelo desempenho do ativo em determinados APIs. Nota-se também, que não foram identificados para todos os 23 PPIs do Apêndice A os APIs que contribuam para sua performance, por este motivo tem-se 14 PPIs relacionados.

A seguir, para uma melhor explicação do modelo, ilustra-se a análise do impacto do ativo por objetivo de desempenho.

O objetivo de desempenho custo, como apresentado, demonstra a necessidade dos processos produzirem bens e serviços ao menor custo possível, sendo esse objetivo mensurado por meio dos PPIs de custo de insumo, custo de operação e custo de manutenção, assim a medida que esses PPIs aumentam, a performance do processo em custo decresce. Ademais, esses mesmos PPIs são impactados por alguns APIs, por exemplo, o PPI custo de operação é afetado pelo desempenho do ativo no que tange aos APIs capacidade de utilização, eficiência de utilização, performance, consumo de energia e capacidade real de produção. A seguir são apresentadas algumas relações evidenciadas na literatura e confirmadas pelos especialistas:

- O consumo de energia do ativo, como apontam Zhu *et al.* (2014), é um indicador que permite avaliar a oportunidade de economia de energia, proteção ambiental e custo em processos de manufatura. No que tange aos requerimentos de custo, os especialistas confirmaram que esse API impacta o custo operacional, desse modo, se a performance do ativo decresce no consumo de energia, ou seja, o ativo está consumindo mais energia, o indicador do processo custo de operação será afetado negativamente, contribuindo para o baixo desempenho no objetivo custo;
- Afsharnia, Asoodar e Abdeslahi (2014) estudam os efeitos da taxa de falha nos custos de manutenção de tratores em processos agrícolas, encontrando que a medida que a taxa de falha aumenta apresenta-se custo maiores de manutenção, corroborando, dessa maneira que a frequência de falha por unidade de tempo tende a impactar o custo de manutenção;
- No que tange ao custo de insumos, Muchiri e Pintelon (2008) afirmam que a redução de defeitos produzido pelo ativo, reduz o custo. No entanto, os autores não especificaram o tipo de custo associado com este API, coube aos especialistas relacionar este API ao PPI custo de insumo. Logo, se o ativo apresenta alta taxa de itens defeituosos haverá o aumento dos custos associados aos insumos usados pelo processo, pois o processo precisará repor os insumos para reprocessamento.

A qualidade é caracterizada pela produção de bens isentos de erros, na qual pode-se ser avaliada através de quatro PPIs: taxa de qualidade do processo, taxa de defeito do processo, taxa de descarte do processo e taxa de retrabalho. Verifica-se que esses indicadores da

qualidade do processo são complementares, isto significa que a organização adotará a taxa de qualidade ou a taxa de defeito e a taxa de descarte ou a taxa de retrabalho. Tais indicadores de processos, estão relacionados diretamente com indicadores similares do ativo, isto é, o percentual de itens conformes do ativo, percentual de itens não conformes do ativo, percentual de itens reprocessados e percentual de itens descartados. Isso ocorre, devido que os erros dos ativos, em termos de conformidade de itens, impactam diretamente a entrega do processo em termos de qualidade.

Seguindo a análise, na dimensão de rapidez, os APIs *downtime*, tempo operacional e tempo de setup impactam o tempo de *lead time* do processo. Em outras palavras, o tempo que se gasta em preparação do ativo (tempo de setup) e o tempo gasto para produzir o pedido pelo ativo, como também, a proporção de tempo que ele está indisponível impactam o tempo gasto para executar um pedido ou ordem do processo. Assim, à medida que esses indicadores de ativo aumentam, o PPI *lead time* também aumenta, contribuindo negativamente sobre a performance de rapidez. Vale destacar que Kang *et al.* (2016), apontam tanto para o tempo de setup como *downtime* do ativo como indicadores que afetam o *lead time* do processo.

A credibilidade é a capacidade do processo atender os prazos acordados com os seus clientes, sendo esse objetivo afetado pela proporção de tempo que o processo está indisponível (PPI - *Downtime*) e o atraso médio das operações (PPI - atraso médio), quanto maiores esses indicadores, menor é a credibilidade do processo. A saber, o impacto do desempenho do ativo sobre o *downtime* do processo é facilmente observado através dos APIs *downtime* e taxa de falha, pois quanto mais frequente a falha (aumento do API taxa de falha) maior é o número de paradas do ativo, conseqüentemente, indisponibilidade do processo, pois o ativo que o suporta está parado (exceto, nos casos que há sobressalentes ou o fluxo do processo pode seguir outros caminhos), como relatado em Inyama e Oke (2020).

Ainda nesse contexto, o objetivo de desempenho flexibilidade pode ser avaliado a partir dos indicadores do processo flexibilidade do mix (variedade de produtos) e flexibilidade do volume. Analisando o PPI flexibilidade do volume, três indicadores de ativo que o impactam foram identificados a eficiência de utilização, capacidade real de produção e o tempo de setup. Exemplificando, se o ativo está em sua capacidade real de produção máxima (100%), tem-se que a flexibilidade de volume do processo está comprometida, pois aquele ativo não tem capacidade de atender aumento de volume de itens do processo. É importante frisar que a

flexibilidade do processo, como mencionado em Caulliraux, Marietto e Coca-Balta (2002), é afetada preponderantemente pelo tempo de *setup*.

Por fim, avaliando o objetivo de desempenho produtividade, verifica-se que os PPIs disponibilidade e taxa de transferência atendem a este objetivo de desempenho. Para ambos os indicadores, encontrou-se diversos APIs que contribuem para sua performance de forma positiva ou negativa. A título de exemplo, os APIs tempo dedicado à operação, eficiência de utilização e tempo médio entre falhas contribuem positivamente sobre a disponibilidade do processo, enquanto os APIs MTTR, frequência de parada e tempo de *setup* impactam negativamente.

Embora o modelo de hierarquização proposto não explore exaustivamente as propriedades relacionais, entre indicadores, tais como causalidade, correlação, agregação e indicadores substitutos (POPOVA; SHARPANSKYKH, 2010), e também não explore formas de *tradeoff* entre indicadores (ZHU et al., 2014), o modelo avança em relacionar e hierarquizar as relações entre indicadores de ativos e processos, sendo isto uma lacuna apontada na revisão da literatura. A partir desse modelo, as propriedades relacionais e *tradeoffs* podem ser avaliadas e aplicadas, podendo trazer um novo panorama de análise para GA.

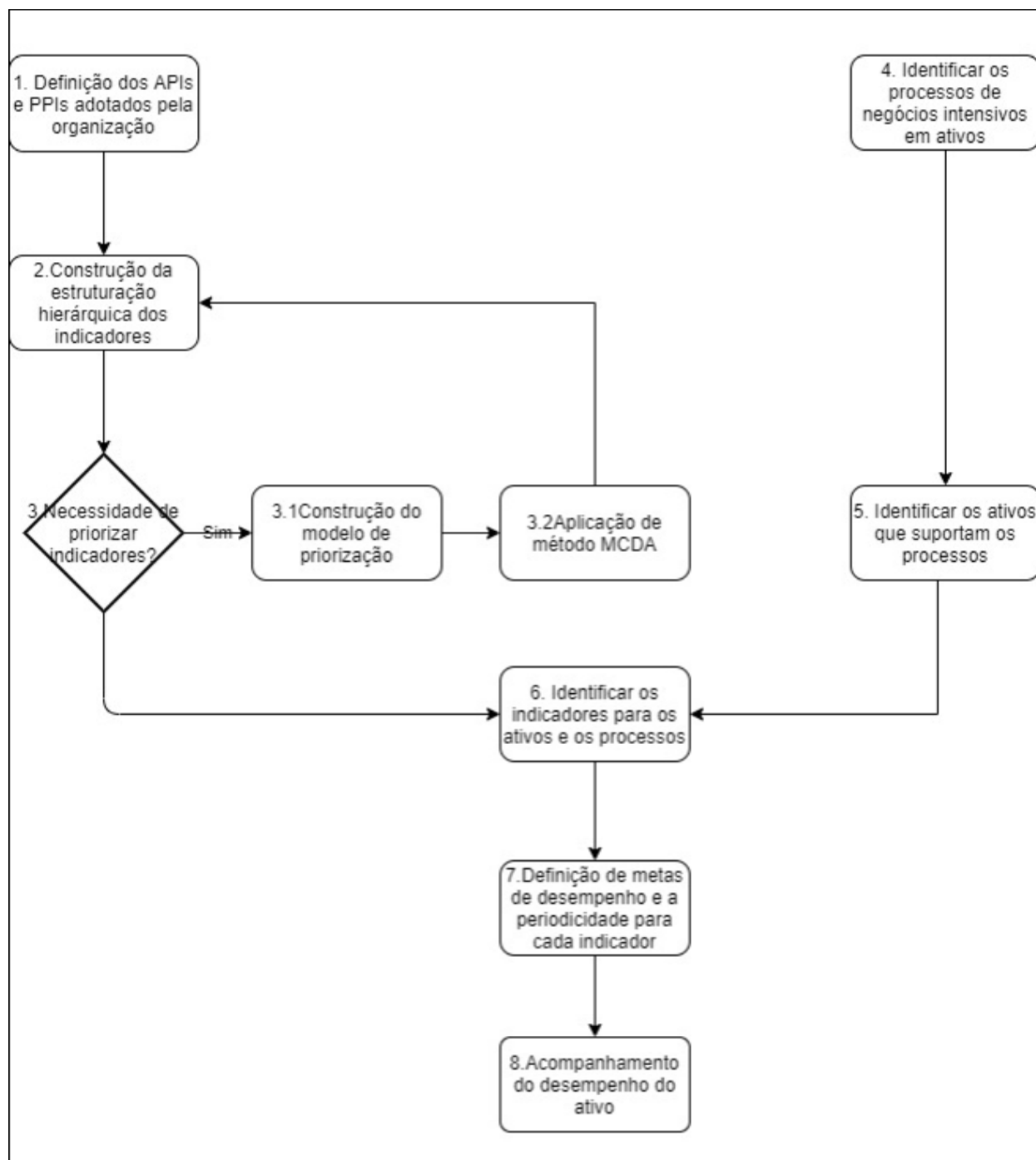
4.2 PROCEDIMENTO PARA ACOMPANHAMENTO DOS INDICADORES DE DESEMPENHO DE ATIVOS E PROCESSOS

O procedimento, apresentado na Figura 6, inicia-se com a definição dos APIs e PPIs adotados pela organização (ETAPA 1). Nessa fase, a organização deve selecionar o conjunto de indicadores que serão utilizados para medir a performance do ativo e do processo, devendo documentar os indicadores conforme as propriedades básicas, tais como nome, descrição, tendência e fórmula, reportadas em Popova e Sharpanskykh (2010) e Zhu *et al.* (2014). Esse processo de identificação de APIs e PPIs pode ser suportado por métodos expostos na revisão da literatura, como o BSC. Os apêndices A e B fornecem, respectivamente, PPIs genéricos e APIs que podem ser adotados pelas organizações.

A literatura aponta também que os indicadores de desempenho devem ser dispostos de forma hierárquica, isto significa que alguns indicadores possuem uma maior relevância para o acompanhamento. Dessa forma, a organização deve estruturar os PPIs e APIs de forma hierárquica, demonstrando as relações de ordenação entre eles (ETAPA 2). Para tal

hierarquização, pode-se assumir os três níveis organizacionais, classificando os PPIs e APIs como táticos, estratégicos e operacionais, como visto nos trabalhos envolvendo KPIs em Parida e Chattopadhyay (2007), Kumar *et al.* (2013) e Li *et al.* (2017) . Destaca-se ainda, como discutido em Zhu *et al.* (2017), que o desempenho do processo é afetado pelo desempenho do ativo, o que demanda identificar na estrutura hierárquica quais APIs impactam nos PPIs. Desse modo, abordagens advindas da Pesquisa Operacional podem auxiliar no estabelecimento da hierarquização e identificação dessas relações, como os trabalhos de Flapper, Fortuin e Stoop (1996) e Rodriguez, Saiz e Bas (2009). Ademais, a organização pode adotar a hierarquização proposta na seção anterior, isto é, hierarquizar da seguinte maneira: objetivos de desempenho, PPIs e APIs (Figuras 5 e Tabela 6).

Figura 6 - procedimento para acompanhamento do desempenho do ativo



Fonte: O autor (2021).

Como mencionado, a organização deve selecionar um conjunto de indicadores para monitorar, dada a grande quantidade existentes dessas métricas de desempenho (LOOY; SHAFAGATOVA, 2016; PARIDA et al., 2015; MEIER et al., 2013; POPOVA; SHARPANSKYKH, 2010). Nesse sentido, ao se identificar um alto nível de relações e de

indicadores na hierarquização a organização deve aplicar algum método que permita priorizar os PPIs e/ou APIs (Etapa 3). Neste aspecto, o problema de priorizar indicadores pode ser modelado como um problema de decisão multicritério (DE ALMEIDA, 2013), no qual os indicadores (alternativas) são avaliados em múltiplos objetivos. Dentre os métodos multicritério, o AHP que já vem sendo utilizado na seleção de indicadores (SUWIGNJO; BITITCI; CARRIE, 2000; SHAHIN; MAHBOD, 2007), pode-se utilizar da hierarquia até então desenvolvida, permitindo estabelecer pesos para cada indicador, cabendo a organização escolher aqueles com maior *score*. Dado que houve a priorização, uma nova hierarquia é estabelecida, apenas com os indicadores que são prioritários para a organização (retorna a Etapa 2).

Tendo realizado essas etapas, a organização possui, de forma consolidada, o conjunto de PPIs e APIs, bem como a relação hierárquica entre eles. Assim, tem-se um modelo de relações da performance que permite identificar as relações entre PPIs e APIs, alcançando um modelo semelhante ao proposto na seção anterior (Tabela 6), no qual mapeia-se que o desempenho de determinado API contribuirá para performance de determinado PPI. Entretanto, essas relações de APIs e PPIs estão a nível de performance, não estando, ainda, relacionado diretamente aos ativos e processos específicos da organização. Dessa maneira, o procedimento segue-se com a identificação desses indicadores com os ativos e processos da organização, mas para fazer isso é necessário identificar os ativos e processo, etapas essas que são descritas a seguir.

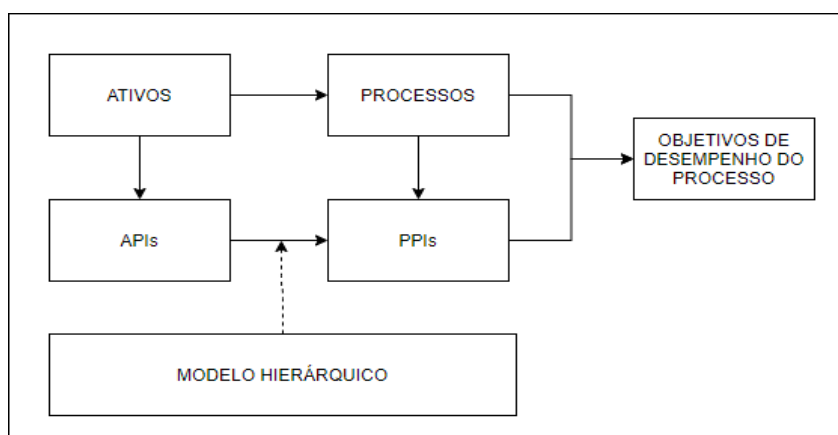
Em paralelo, como o objetivo deste trabalho é também avaliar o impacto do desempenho do ativo sobre os processos de negócios, as organizações devem mapear seus processos de negócios intensivos em ativos, identificando-os (Etapa 4). Para auxiliar nesta fase de identificação de processos, metodologias de BPM podem ser utilizadas. A exemplo, pode-se aplicar a cadeia de valor de Porter para identificar os processos que agregam valor à organização, para assim, classificar os processos e identificar aqueles que são intensivos em ativos.

Em seguida, deve-se identificar os ativos que suportam esses processos (Etapa 5), pois como aponta Siemieniuch e Sinclai (2002), os ativos são recursos para diversas atividades do processo. Essa fase é crucial, pois permite mapear e construir a relação ativo x processos que somada com as relações hierárquica APIs x PPIs proporcionará o acompanhamento do desempenho do ativo de forma estratégica.

Identificados os processos intensivos em ativos e os ativos relacionados, seleciona-se os seus respectivos indicadores, com base no conjunto de APIs e PPIs definidos e documentados pela organização (Etapa 6) combinando os resultados das Etapas 3 e 5, recomenda-se estipular as metas de desempenho e periodicidade para cada relação API-Ativo e PPI-Processo (Etapa 7). Enquanto as metas de desempenho possibilitam estipular os desempenhos alvos e comparar o estado do ativo e do processo ao longo do tempo (MEIER *et al.*, 2013), a periodicidade define o intervalo de tempo para cada medição. Tanto a periodicidade quanto a meta, serão abordados novamente na última fase do procedimento.

Realizadas essas etapas, a organização aplicará técnicas que permitam acompanhar o desempenho do ativo com os construtos de cada fase empregada até o momento (Etapa 8). De forma resumida, a Figura 7 esquematiza as relações que são estabelecidas pelo procedimento: o desempenho do ativo vai impactar os seus processos associados; por meio do modelo hierárquico mapeia-se quais APIs, que representam o desempenho do ativo, impactam no desempenho do processo associado representado pelos respectivos PPIs dos processos associados, desta maneira a organização consegue identificar a entrega de valor do ativo.

Figura 7 - esquematização das relações



Fonte: O autor (2021).

Nesse escopo, a organização possui elementos suficientes para realizar o monitoramento do desempenho do ativo e o seu impacto nos processos de negócio. Para o efetivo acompanhamento da performance é indispensável medir a performance dos ativos e processos, por meio dos seus indicadores, como também armazenar o histórico de medição (PARIDA, 2012). Com base no registro das medições dos indicadores e na aplicação dessas

etapas, a organização está apta a monitorar a performance do ativo. Como demonstrado em Galán (2018), por exemplo, pode-se dispor a performance do ativo, por meio de gráficos que agreguem informações cruciais. Nesse aspecto, adotar o uso de painéis de monitoramento (*dashboard*) que apresente os gráficos do desempenho do ativo, mensurado pelos principais APIs, juntamente com o desempenho dos processos que eles suportam, possibilitam acompanhar a relação entre processos e ativos. Desse jeito, além de visualizar a performance geral do ativo é possível acompanhar as métricas de processos que são impactadas pelos APIs, apoiando a tomada de decisão que envolve a GA.

Ainda nesse aspecto de acompanhamento, as avaliações desses indicadores devem estar ligados a alcance da meta, pois a meta nos fornece o meio de comparação do desempenho do ativo frente aos requerimentos organizacionais, permitindo oportunidade de melhoria do desempenho (LOOY; SHAFAGATOVA; 2016; HASSEN; KHAN; 2012; MEIER *et al.*, 2013). Posto isto, os indicadores podem ter periodicidade de medição distintas, cabendo a organização identificar a frequência mais adequada para medição.

A complexidade de relações, medições e demonstração da performance do ativo de forma holística, demanda o uso de sistema de informação que suporte o conjunto de atividades apontadas pelo procedimento. Essa demanda é apontada em Amadi-Echendi (2004), corroborando para o uso de sistema de informação que suporte os procedimentos apresentados.

4.3 PROTÓTIPO DE SISTEMA DE INFORMAÇÃO E APLICAÇÃO ILUSTRATIVA DO PROCEDIMENTO

Nessa seção ilustra-se a aplicação do procedimento proposto em um protótipo de sistema de informação. Este protótipo foi desenvolvido em linguagem Delphi, utilizando o modelo entidade-relacionamento no banco de dados Access.

Iniciando a aplicação do procedimento, define-se o conjunto de APIs e PPIs que serão utilizados para medir a performance do ativo e dos processos de negócios intensivos em ativo. A Figura 8 ilustra o registro das informações advindas da Etapa 1 do procedimento, tanto para os ativos quanto para os processos. Nota-se que o protótipo permite documentar as informações básicas dos APIs e PPIs, isto é, permite gerir o nome, a fórmula, a descrição, a unidade de medida e a tendência.

Figura 8 - Telas do protótipo: registro de API e PPI

NOVO INDICADOR DE ATIVOS (API)

Indicador de equipamentos:

Fórmula:

Descrição:

Unidade de medida:

Tendência: ☒ Maximizar ☐ Minimizar

NOVO INDICADOR DE PROCESSO (PPI)

Indicador de processo:

Fórmula:

Descrição:

Unidade de medida:

Tendência: ☐ Maximizar ☒ Minimizar

Fonte: O autor (2021).

Utilizou-se da estrutura de indicadores proposto na Tabela 6 como forma de hierarquia entre PPIs e APIs. Essa relação hierárquica é facilmente inserida no protótipo, a Figura 9 apresenta a interface do protótipo no que tange ao estabelecimento das relações. Verifica-se que o usuário deve indicar para cada PPI quais os APIs que contribuem para a sua performance. Destaca-se ainda que o protótipo do sistema não apoia de forma metodológica o estabelecimento da hierarquia, apenas permite registrar e gerir tais relações encontradas.

Figura 9 - Tela do protótipo: estabelecimento da relação hierárquica PPI x API

Estabelecimento da Relação PPI X API

Selecionar PPI:

- ☐ PPI1 - CUSTOS DE INSUMOS
- ☐ PPI2 - CUSTO DE OPERAÇÃO
- ☐ PPI3 - CUSTO DE MANUTENÇÃO
- ☐ PPI4 - TAXA DE QUALIDADE
- ☐ PPI5 - TAXA DE DEFEITO
- ☐ PPI6 - TAXA DE RETRABALHO
- ☐ PPI7 - TAXA DE DESCARTE
- ☒ PPI8 - LEAD TIME
- ☐ PPI9 - DOWNTIME
- ☐ PPI10 - ATRASO MÉDIO
- ☐ PPI11 - FLEXIBILIDADE DE VOLUME
- ☐ PPI12 - FLEXIBILIDADE DO MIX
- ☐ PPI13 - DISPONIBILIDADE
- ☐ PPI14 - TAXA DE TRANSFERÊNCIA
- ☐ PPI15 - CUSTOS DA ESTRUTURA

Selecione o(s) API(s):

- ☒ API1 - Disponibilidade
- ☐ API2 - Tempo médio entre falhas (MTBF)
- ☐ API3 - Downtime
- ☐ API4 - OEE
- ☐ API5 - Taxa de produção
- ☐ API6 - Taxa de qualidade
- ☐ API7 - Tempo médio para reparo (MTTR)
- ☐ API8 - Tempo médio para falhar (MTTF)
- ☐ API9 - Capacidade de utilização
- ☐ API10 - Taxa de Falha
- ☒ API11 - Tempo de Produção
- ☐ API12 - Frequência de paradas
- ☐ API13 - Número de defeitos
- ☐ API14 - Vibração e termografia
- ☐ API15 - Eficiência de utilização

Fonte: O autor (2021).

Posto isto, a Etapa 3, verifica a necessidade de priorizar indicadores. Nesse sentido, a fim de demonstrar a aplicabilidade dessa etapa com métodos multicritérios, aplicou-se na estrutura proposta o método AHP para obtenção dos pesos dos objetivos e PPIs. A Figura 10 sintetiza a aplicação do AHP, a qual tem-se o conjunto de pesos (vetor de prioridade) para os objetivos e indicadores, devendo selecionar os indicadores com maiores pesos ponderados, tais como, o PPI 2, o PPI 12 e os PPIs 4 e 5.

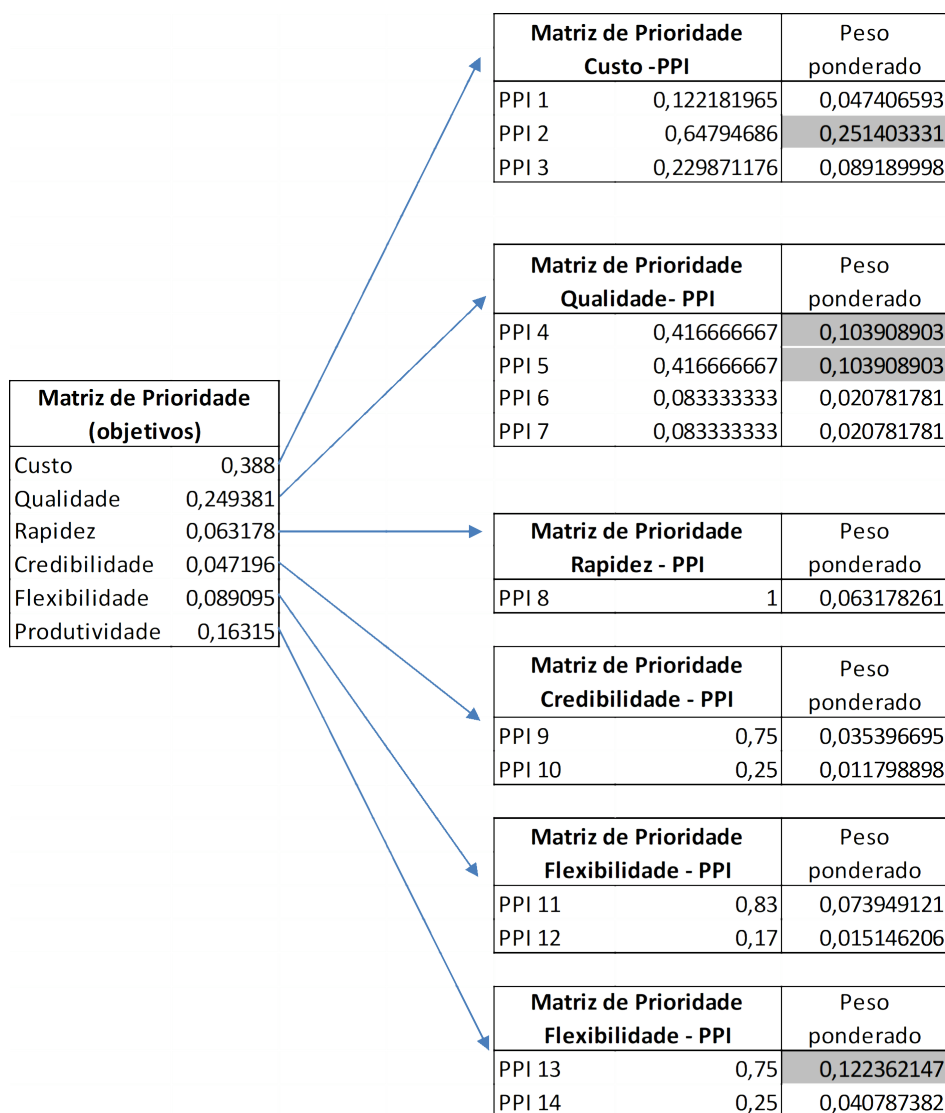
O método AHP utiliza-se de uma estrutura hierárquica (objetivos, critérios, subcritérios e alternativas) para o estabelecimento de pesos para cada item dos níveis hierárquicos, para então aplicar o modelo aditivo. Nesse aspecto, levando em consideração o escopo desse trabalho a hierarquia seria formada por objetivos de desempenho do processo, PPIs e APIs. Para a obtenção dos pesos, o método AHP aplica um procedimento de elicitação em cada nível hierárquico, a matriz A é uma matriz de avaliação de comparação par a par, onde a_{in} é a avaliação comparativa entre os itens do nível hierárquico e n o número de itens, sendo medido pela grau de importância em escala de Saaty (1978).

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & 1 & \vdots \\ \frac{1}{a_{1n}} & \frac{1}{a_{2n}} & \vdots & 1 \end{bmatrix}$$

Feito isso, a matriz A deve ser normalizada, para isso, cada elemento da matriz A deve ser dividido pela soma das avaliações da sua respectiva coluna. Em sequência, o AHP cria um vetor de priorização, que é obtido por meio da soma dos elementos normalizados da mesma linha da matriz de normalização. Por fim, o método utiliza uma análise de consistência, para mais detalhes consultar Saaty (1978). Salienta-se que esse procedimento deve ser aplicado para cada nível hierárquico.

Logo, com os vetores de priorização de cada nível, pode-se ponderar os pesos. Por exemplo, o PPI 2 (peso de 0,647947) está ligado hierarquicamente com o objetivo custo (peso de 0,3888), consequentemente, o peso ponderado para o PPI 2 é de 0,251403, ou seja, incorpora-se na análise a importância dos demais níveis.

Figura 10 - Matriz de prioridade de indicadores pelo método AHP



Fonte: O autor (2021).

Com essa etapa, consolidou-se no protótipo as relações estruturadas entre os indicadores de desempenho, podendo-se agora seguir com o estabelecimento da interação entre ativos e processos, para então poder identificar o impacto da performance do ativo sobre o negócio, no entanto é necessário identificar os ativos e processos avaliados. Nesse cenário, a Figura 11 exibe o registro de processos de negócios, contendo as informações relevantes apontadas na literatura, como por exemplo a tipologia de processo (WOGNUMA et al., 2004; ABPMP, 2013) e a especificação de um líder (ABPMP, 2013), consolidando a etapa 4 do procedimento.

Figura 11 - Tela do protótipo: Registro de Processos intensivos em ativos

Cadastrar novo processo:

Nome do processo:

Descrição:

Tipo: ☒ Finalístico ☐ Suporte ☐ Gestão

Líder:

Unidade Organizacional:

Fonte: O autor (2021).

Em sequência, o protótipo permite registrar a relação entre processos e ativos. A Figura 12 exibe as interfaces que registra o ativo e gerencia essa conexão, nas quais o usuário facilmente pode estipular quais ativos suportam um determinado processo, permitindo dessa maneira, informatizar a etapa 5 do procedimento.

Figura 12– Telas do protótipo: Registro de ativo e da relação entre processos intensivos em ativos e ativos

Cadastrar novo Ativo

Local:

Data de início da operação:

Família:

Upload especificações técnica: [Visualizar arquivo](#)

Processo: AQUECIMENTO

Ativos

- ☒ EQ1 - TURBINA DE REAÇÃO.TGM - BT
- ☒ EQ2 - TURBINA DE REAÇÃO.TGM - BTE
- ☐ EQ4 - TURBINA DE REAÇÃO.TGM - CTE
- ☒ EQ5 - TURBINA DE REAÇÃO.TGM - CT-fluxo axial
- ☐ EQ6 - TURBINA DE REAÇÃO.TGM - MCT
- ☒ EQ7 - TURBINA DE AÇÃO.TGM - TM-A
- ☒ EQ8 - TURBINA DE AÇÃO.TGM - TME-A
- ☐ EQ9 - TURBINA DE AÇÃO.TGM - TMC-A
- ☐ EQ11 - TURBINA DE AÇÃO.TGM - TS-P
- ☐ EQ12 - TURBINA DE AÇÃO.TGM - TM
- ☐ EQ13 - TURBINA DE AÇÃO.TGM - TME

Fonte: O autor (2021).

Dado que se estabeleceram as relações entre PPIs e APIs, como também, a relação processo de negócios e ativos, a próxima etapa é a de definir para cada processo e ativo os seus respectivos indicadores, cabendo ainda estabelecer as metas de desempenho e a periodicidade. Desse modo, a Figura 13 mostra as telas do protótipo nas quais o usuário pode

registrar essas informações, que são indispensáveis para o acompanhamento, consolidando as etapas 6 e 7 do procedimento.

Figura 13 - Telas do protótipo: definir os PPIs e APIs para seus respectivos processos e ativos

Fonte: O autor (2021).

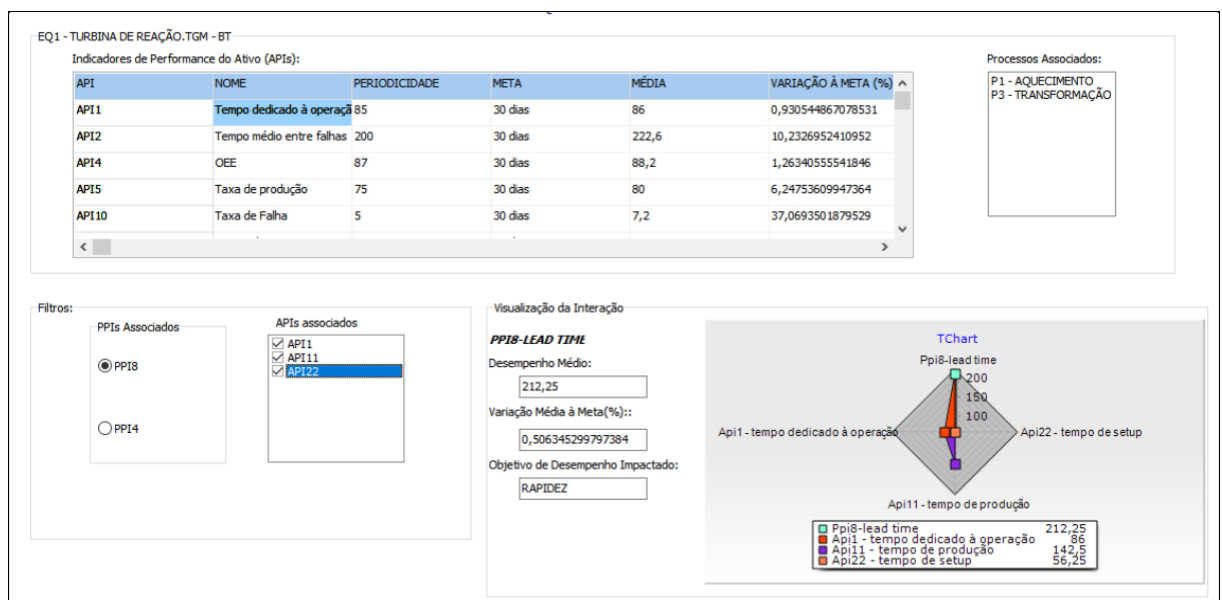
Toda a estrutura necessária para o acompanhamento está consolidada e implementada no protótipo, tem-se o registro da estrutura de indicadores, o vínculo processos de negócios com os ativos e a conexão desses processos e ativos com seus respectivos indicadores. Dessa maneira, para o acompanhamento é necessário realizar a medição dos indicadores, conforme a periodicidade apontada. Em vista disso, o protótipo permite anexar e armazenar o desempenho dos indicadores de desempenho no protótipo (Figura 14) ao longo do tempo, a fim de que meios de acompanhamento possam ser aplicados, dando início a etapa 8.

Figura 14 - Telas do protótipo: Registro de medição do desempenho dos indicadores

Fonte: O autor (2021).

Como o ativo é central para processos intensivos em ativos, para o acompanhamento da performance foi desenvolvido um painel de acompanhamento (Figura 15) tendo com base o ativo (Etapa 8). Esse painel além de apresentar uma visão geral do desempenho do ativo, por meio dos seus APIs, permite verificar os processos associados, e por meio desses processos e do modelo de hierarquia, quais PPIs são afetados pelo desempenho do ativo. De forma interativa, o usuário pode relacionar os PPIs e APIs, para visualizar no gráfico os desempenhos médios, verificando assim o impacto do ativo sobre as dimensões da performance do processo.

Figura 15 - Tela do protótipo: painel de acompanhamento de desempenho do ativo

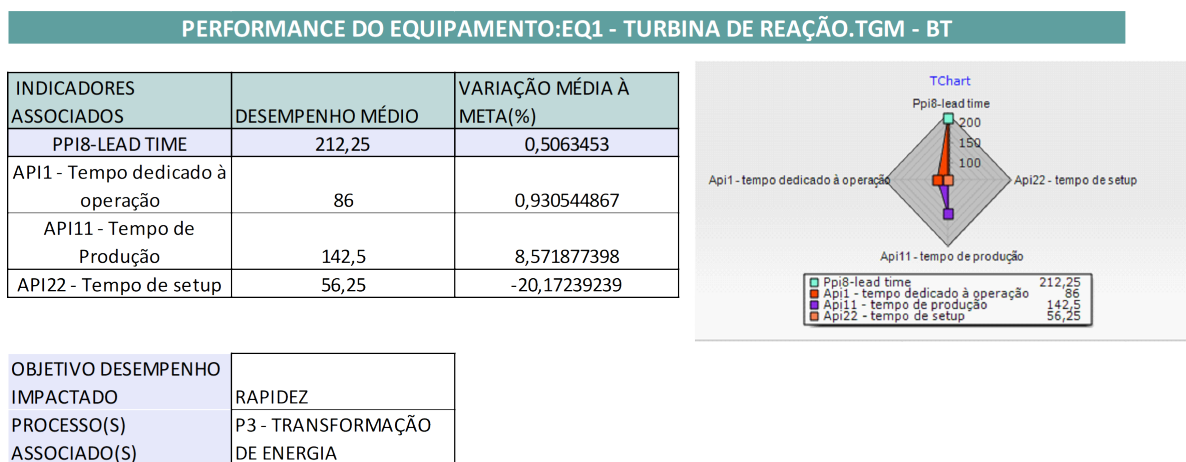


Fonte: O autor (2021).

A Figura 16, apresenta um exemplo de um relatório gerencial do protótipo, no formato de planilha, o qual corresponde a uma análise holística do ativo, similar ao apresentado na Figura 15. Como pode-se verificar, o gestor pode ver claramente o desempenho médio do ativo por meio de seus APIs, bem como, a partir dos processos associados ao ativo, analisar o PPIs e os objetivos impactados com base nas relações já mencionadas. Tendo assim, uma visão estratégica do ativo.

Figura 16 - Relatório da performance do ativo, em formato de planilha

Relatório de Performance do Ativo



DESEMPENHO GERAL DO EQUIPAMENTO				
API	META	PERIODICIDADE	MÉDIA	VARIAÇÃO MÉDIA À META (%)
API1-Tempo dedicado à operação	85	30 dias	86	0,930544867
API2-Tempo médio entre falhas (MTBF)	200	30 dias	222,6	10,23269524
API4-OEE	87	30 dias	88,2	1,263405555
API5-Taxa de produção	75	30 dias	80	6,247536099
API10-Taxa de Falha	5	30 dias	7,2	37,06935019
API22-Tempo de setup	70	30 dias	56,25	-20,17239239
API11-Tempo de Produção	130	30 dias	142,5	8,571877398
API23-Número de Falhas	20	30 dias	0	0

Fonte: O autor (2021).

4.4 DISCUSSÃO

Como mencionado, os ativos entregam valor ao negócio, o que demanda análise e monitoramento para seu gerenciamento eficaz. De antemão, ao nível de ativo o modelo de relação hierárquica (Tabela 6) e a lista de APIs (Apêndice B) asseguram um conjunto de APIs holísticos que possibilitam análises adequadas quanto a entrega de valor, numa perspectiva operacional. Por outro lado, as relações propostas entre objetivos de desempenho, PPIs e APIs mapeiam o impacto do ativo sobre os processos de negócio, oportunizando aos gestores uma tomada de decisão baseada em valor e dados. Sendo estes dois aspectos, lacunas na área de GA (PETCHROMPO; PARLIKAD, 2019).

A variedade de indicadores, como também, os diferentes *stakeholders* de uma organização, demanda que os indicadores sejam selecionados à luz dos objetivos organizacionais. Nesse contexto, os PPIs apontados no Apêndice A são genéricos e podem ser adotados em diferentes contextos de processos, enquanto os APIs, no Apêndice B, logram êxito em mapear as métricas de desempenho de ativos. Somado a isso, o modelo hierárquico de indicadores apresentados na Tabela 6 descreve as relações encontradas entre PPIs e APIs. Entretanto, caso a organização não venha adotá-los, o procedimento proposto possibilita um direcionamento para selecionar tais indicadores, sugerindo meios de selecionar, priorizar e hierarquizar os indicadores. A exemplo, o uso do método AHP além de manter a hierarquia definida, possibilita encontrar pesos para os indicadores por meio de julgamentos preferenciais, podendo então priorizar indicadores.

Ademais, o procedimento também permite o estabelecimento de relações entre os indicadores, mantendo a essência em desagregar os KPIs em APIs ou PPIs e que os ativos impactam no processo. Nesse contexto, ao passo que o modelo de hierarquia entre indicadores de desempenho (Figura 5) direciona em estruturar a performance, por meio de indicadores, o procedimento propõe operacionalizar essa estrutura, por meio da conexão entre ativos e processos de negócios, conforme mostrado na Figura 7.

Ainda nesses aspectos, tanto o modelo de relações proposto (Figura 5 e Tabela 6) como o procedimento, permitem contribuir em outras duas demandas apontadas na literatura, isto é, a utilização do procedimento e do modelo de relação propostos neste trabalho elencam o preenchimento dos seguintes *gaps*:

- Estabelece uma ligação entre a performance do ativo com a performance organizacional, por meio dos processos de negócio intensivos em ativo. Essas ligações contribuem diretamente aos trabalhos de Zhu *et al.* (2017) que deixaram para estudos futuros estudar a ligações entre a performance do ativo sobre o processo, e Attwater *et al.* (2014) que afirmam que a efetividade da GA dar-se em entender a relações entre o desempenho do ativo com o negócio. Assim, utilizando o modelo de relações ou aplicando o procedimento a organização pode compreender o impacto do ativo sobre os seus processos de negócios, deixando mais claro e visível o impacto das ações de GA sobre os ativos;

- Estruturar a hierarquização das informações de performance. Doumeingts (1985) discute a necessidade de um sistema de performance que integre as informações a cada nível organizacional, permitindo tomada de decisão descentralizada. Por conseguinte, além de possibilitar que cada nível tenha acesso a informações úteis, corrobora em visualizar os efeitos de níveis de performance mais baixo sobre a performance global. Dessa forma, por exemplo, usuários operacionais podem ver apenas o desempenho do ativo ou do processo, e os usuários gerenciais podem ver as performances associadas, sendo isso facilmente apoiado pelo protótipo desenvolvido.

O modelo estruturado de indicadores de desempenho além de viabilizar a disposição das relações entre ativo, processo e objetivos de desempenho, proporciona integralizar a performance da organização. Nesse aspecto, o procedimento surge como uma opção em GA, pois esta disciplina demanda avaliações alicerçadas ao alcance dos objetivos corporativos (ISO 55000, 2014; AMADI-ECHENDU, 2004). Dessa forma, o ativo deixa de ser um recurso operacional para um novo patamar, o estratégico, pois o desempenho dele impacta sobre a performance dos processos de negócios. E estes processos, por sua vez, são criados para auxiliar a organização alcançar seus objetivos de desempenho.

Além desses aspectos, o procedimento avança em estruturar de forma clara os requerimentos básicos para o gerenciamento da performance, tais como definição de metas e periodicidade de medição, como também, evidencia a necessidade de registrar essa medição ao longo do tempo. Vale destacar, ainda, que nas diversas etapas, o procedimento aponta para métodos e metodologias que auxiliem em sua execução, possibilitando uma maior efetividade, pois não adianta apenas apontar o melhor caminho tem que oportunizar a organização os meios de alcançá-lo.

A interdisciplinaridade é uma característica marcante para o gerenciamento do ativo (EL-AKRUTI; DWIGHT, 2013). Os modelos de manutenção são utilizados para sugerir políticas e ações de manutenção que maximizem o ciclo de vida do ativo ou melhorem sua performance, por meio de técnicas estocásticas que utilizam APIs. Nesse cenário, ao aplicar o procedimento a organização terá o modelo estruturado de indicadores, que pode apoiar a tomada de decisão em manutenção nos seguintes aspectos:

- Mapear os efeitos de diferentes políticas de manutenção sobre a performance do negócio, por meio do impacto da política sobre os APIs. Por exemplo, se a

política interfere na taxa de falha do ativo (API 10), ela impacta o processo em termos de custo de manutenção (PPI 3) e *downtime* (PPI 9), corroborando para o alcance dos objetivos de custo e credibilidade;

- Consolidar, monitorar e armazenar os parâmetros de desempenho de ativo, os APIs, que podem ser utilizados em diversos modelos de manutenção.

Por fim, o protótipo desenvolvido corrobora em validar a importância em investir em sistemas de informação, pois além de automatizar o procedimento, permite realizar diversas operações com os dados estruturados e armazenados. Ademais, o protótipo permitiu desenvolver aplicações, como o painel de acompanhamento (Figura 15) que são úteis na visualização de performances organizacionais, que sem o apoio de um sistema não seria tão efetivo.

5 CONCLUSÃO, LIMITAÇÕES E ESTUDOS FUTUROS

Neste capítulo são apresentadas as conclusões dessa pesquisa, evidenciando as principais contribuições alcançadas pelo estudo desenvolvido, sendo em seguida expostas as suas limitações, para então direcionar trabalhos futuros.

5.1 CONCLUSÕES

Os ativos são centrais em indústrias intensivas em capital, pois contribuem para o valor do negócio. Dado esse status do ativo, surge a GA como uma disciplina que visa gerir ativos ao longo do seu ciclo de vida, tendo como meta maximizar os retornos do ativo, em termo de valor. Desse modo, surgiram diversos estudos que perpassam o campo da GA, persistindo ainda como identificar a contribuição do ativo para o negócio, em diversas dimensões de valor, sendo esse *gap* o *locus* de investigação dessa pesquisa.

Desse modo, as evidências na literatura mostraram que os ativos contribuem para a performance do processo, contudo não foram observados estudos que estabeleçam, de maneira clara, formas de entender a entrega de valor do ativo aos processos de negócios. Somado a isso, como entender o valor do ativo e do negócio mostrou-se indispensável para a GA, seguiu-se com a identificação de indicadores de desempenho para ativos (APIs) e processos (PPIs), existindo ainda a necessidade de explanar como o desempenho do ativo impacta no desempenho dos processos intensivos em ativo.

Nesse contexto, conduziu-se uma abordagem qualitativa, por meio da revisão da literatura e consulta a especialistas, para o estabelecimento de relações hierárquica entre PPI e APIs. Essas relações permitem mapear quais são os indicadores de processos que são impactados por determinado API, contribuindo, dessa forma, em responder parcialmente como o ativo contribui para o negócio. Fala-se parcialmente no sentido que não se estabeleceu uma associação numérica.

O modelo estruturado de relações hierárquicas entre indicadores desenvolvido permite compreender a entrega de valor do desempenho do ativo, contudo observou-se que não é suficiente para acompanhar a performance do ativo. Por isso, desenvolveu-se um procedimento para o acompanhamento do desempenho do ativo que, além de operacionalizar as relações já consolidadas, permite que a organização adote, relacione e gerencie os APIs e PPIs de acordo

com as suas especificidades, atendendo, ao mesmo tempo, aos requerimentos básicos relacionados ao gerenciamento da performance. Por meio do procedimento, a organização consegue desenvolver o modelo estruturado dos indicadores, como também, aplicar formas de acompanhamento e de avaliação.

Além disso, desenvolveu-se um protótipo de sistema, no qual foi aplicado o procedimento de acompanhamento. Com este protótipo, foi observado a importância de um sistema de informação que permita a organização gerenciar, por meio de dados, os ativos, corroborando com o uso de *asset management system* e suas propriedades, tais como manter armazenado dados históricos de performance.

Por fim, destaca-se como principal contribuição dessa dissertação o apoio as organizações em obter maiores retornos financeiros e não financeiros (como a credibilidade) por meio dos seus ativos, ao incorporar na tomada de decisão a análise do impacto da performance destes sobre as dimensões de performance dos processos, permitindo ações específicas e pontuais nos ativos de modo a garantir que a entrega de valor seja maximizada. Ademais, esse trabalho auxilia na efetividade das estratégias de GA, as quais são guiadas pela entrega de valor do ativo aos *stakeholders* da organização, avaliando a viabilidade econômica das operações.

5.2 LIMITAÇÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como mencionado, o modelo estruturado de relações desenvolvido atendeu parcialmente seu objetivo, pois não foi possível medir a contribuição, em termos numéricos, do impacto da performance do ativo, medido pelo API, sobre a performance do processo, medido por determinado PPI. Nesse sentido, sugere-se como estudos futuros avançar na determinação das parcelas de contribuição entre cada relação, embora, como existe uma grande quantidade de APIs e PPI o acesso aos dados pode ser um limitador.

Uma limitação do procedimento proposto é a insensibilidade em incorporar na análise algumas propriedades entre indicadores, como por exemplo, a existência de indicadores substitutos, correlação e causalidade. Assim, espera-se, em próximas pesquisas, integrar ao procedimento formas de analisar e operacionalizar as principais propriedades relacionais entre indicadores.

Sugere-se, ainda, para outros estudos analisar diferentes formas de demonstrar a relação entre a performance de ativo e a performance dos processos de negócios intensivos em ativos, tais como *dashboard*, relatórios e gráficos. Nota-se ainda a necessidade de entender como agregar o desempenho do ativo, dado a própria importância do ativo, pois os ativos podem possuir diferentes níveis de importância para o processo, desse modo, os indicadores dos ativos devem ser avaliados também à luz da criticidade do ativo para o processo.

REFERÊNCIAS

- AALST, W. V. D.; LA ROSA, M.; SANTORO, F. Business process management: Don't forget to improve the process!. *Business and Information Systems Engineering*, v. 58, n. 1, p. 1–6, 2016.
- AMADI-ECHENDU, Joe E. Managing physical assets is a paradigm shift from maintenance. In: 2004 *IEEE International Engineering Management Conference* (IEEE Cat. No. 04CH37574). p. 1156-1160, IEEE, 2004.
- AMADI-ECHENDU et al. What is Engineering Asset Management?. In *Proceedings 2nd World Congress on Engineering Asset Management and the 4th International Conference on Condition Monitoring*, p. 116-129, 2007.
- ANDREWS, J.; PRESCOTT, D.; DE ROZIÈRES, F. A stochastic model for railway track asset management. *Reliability Engineering and System Safety*, v. 130, p. 76–84, 2014.
- ASFARNIA, F.; ASOODAR, Mohammad Amin; ABDESHAHI, Abbas. The effect of failure rate on repair and maintenance costs of four agricultural tractor models. *International Journal of Agricultural, Biosystem Science and Engineering*, v. 8, n. 3, p. 181-185, 2014.
- ASSOCIATION OF BUSINESS PROCESS MANAGEMENT PROFESSIONALS (ABPMP). *BPM CBOK V.3.0 - Business Process Management BPM Common Body of Knowledge*, 2013.
- ARTHUR, Daniel et al. Asset planning performance measurement. In: *Proceedings of the 10th World Congress on Engineering Asset Management (WCEAM 2015)*. Springer, Cham, 2016. p. 79-95.
- ATTWATER, A. et al. Measuring the performance of asset management systems. *IET Conference Publications*, v. 2014, n. CP642, 2014.
- BHADANI, Kanishk et al. Development and implementation of key performance indicators for aggregate production using dynamic simulation. *Minerals Engineering*, v. 145, p. 106065, 2020.
- BHATTI, M. Ishaq; AWAN, H. M.; RAZAQ, Z. The key performance indicators (KPIs) and their impact on overall organizational performance. *Quality & Quantity*, v. 48, n. 6, p. 3127-3143, 2014.
- CAULLIRAUX, H. M.; MARIETTO, M.G. B.; COCA-BALTA, A. G. Índices de medida de flexibilidade. *Production*, v. 2, n. 2, p. 133-143, 1992.
- CHIAVENATO, Idalberto. *Introdução à teoria geral da administração*. Elsevier Brasil, 2003.

- DA SILVA, G. J.; LOPES, R. S. An integrated framework for mode failure analysis, delay time model and multi-criteria decision-making for determination of inspection intervals in complex systems. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, v. 51, n. April 2017, p. 17–28, 2018.
- DAĞDEVİREN, Metin. Decision making in equipment selection: an integrated approach with AHP and PROMETHEE. *Journal of intelligent manufacturing*, v. 19, n. 4, p. 397-406, 2008.
- DE ALMEIDA, ADIEL TEIXEIRA. *Processo de Decisão nas Organizações: Construindo Modelos de Decisão*. 2013.
- DEL-RÍO-ORTEGA, Adela et al. Visual PPINOT: a graphical notation for process performance indicators. *Business & Information Systems Engineering*, v. 61, n. 2, p. 137-161, 2019.
- DO CARMO MENDONÇA, Tainá et al. Prioritization of maintenance equipment employing multicriteria decision aid. In: *2018 Annual IEEE International Systems Conference (SysCon)*. IEEE, p. 1-6, 2018.
- DOMÍNGUEZ, Eladio et al. A taxonomy for key performance indicators management. *Computer Standards & Interfaces*, v. 64, p. 24-40, 2019.
- DOSSI, Andrea; PATELLI, Lorenzo. You learn from what you measure: financial and non-financial performance measures in multinational companies. *Long Range Planning*, v. 43, n. 4, p. 498-526, 2010.
- DOUMEINGTS, Guy. How to decentralize decisions through GRAI model in production management. *Computers in industry*, v. 6, n. 6, p. 501-514, 1985.
- EL-AKRUTI, K.; DWIGHT, R. A framework for the engineering asset management system. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, v. 19, n. 4, p. 398–412, 2013.
- EL-AKRUTI, K.; DWIGHT, R.; ZHANG, T. The strategic role of Engineering Asset Management. *International Journal of Production Economics*, v. 146, n. 1, p. 227–239, 2013.
- ESMAEEL, Raghd Ibrahim et al. Understanding of business performance from the perspective of manufacturing strategies: fit manufacturing and overall equipment effectiveness. *Procedia Manufacturing*, v. 22, p. 998-1006, 2018.
- FACHIN, Odília. *Fundamentos de metodologias*, 3.ed. São Paulo: Saraiva, 2001.
- FLAPPER, S. D. P.; FORTUIN, L.; STOOP, P. P. M. Towards consistent performance management systems. *International Journal of Operations and Production Management*, v. 16, n. 7, p. 27–37, 1996.
- FORTUIN, Leonard. Performance indicators—why, where and how?. *European journal of operational research*, v. 34, n. 1, p. 1-9, 1988.

FROLOV, V. et al. Identifying core functions of asset management. *Engineering Asset Management Review*, v. 1, p. 19–30, 2010.

GALÁN, M. H. Evidence-based asset management applied to maintenance function control. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, v. 25, n. 4, p. 635–644, 2019.

GHALAYINI, Alaa M.; NOBLE, James S.; CROWE, Thomas J. An integrated dynamic performance measurement system for improving manufacturing competitiveness. *International Journal of production economics*, v. 48, n. 3, p. 207–225, 1997.

GIL, Antonio Carlos et al. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 2.ed. São Paulo: Atlas, 2002.
GONZALEZ, E. et al. Key Performance Indicators for Wind Farm Operation and Maintenance. *Energy Procedia*, v. 137, p. 559–570, 2017.

HAMMER, Michael. What is business process management?. In: *Handbook on business process management I*. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 3–16, 2010.

HASSAN, J.; KHAN, F. Risk-based asset integrity indicators. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, v. 25, n. 3, p. 544–554, 2012.

HASSANAIN, M. A.; FROESE, T. M.; VANIER, D. J. A Framework model for facilities maintenance management. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, v. 17, n. 1, p. 51–64, 2003.

HEVNER, Alan R. et al. Design science in information systems research. *MIS quarterly*, p. 75–105, 2004.

HUANG, Samuel H. et al. Manufacturing system modeling for productivity improvement. *Journal of Manufacturing Systems*, v. 21, n. 4, p. 249–259, 2002.

IADANZA, E. et al. Evidence-based medical equipment management: a convenient implementation. *Medical and Biological Engineering and Computing*, v. 57, n. 10, p. 2215–2230, 2019.

Institute Asset Management(IAM). Asset Management – an anatomy. 2014.

INYIAMA, Gerald Kenechukwu; OKE, Sunday Ayoola. Maintenance downtime evaluation in a process bottling plant. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 2020.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 55000:2014**: Asset management - Overview, principles and terminology. Geneva, 2014.

_____. **ISO 55001:2014**: Asset management - management systems - requirements. Geneva, 2014.

_____. **ISO 22400: 2014**: Automation systems and integration — Key performance indicators (KPIs) for manufacturing operations management — Part 2: Definitions and descriptions. Geneva, 2014.

- JUSTIN, M. Quantifying the benefits of Asset Management. *IET Conference Publications*, v. 2011, n. 584 CP, p. 21, 2011.
- KANG, Ningxuan et al. A Hierarchical structure of key performance indicators for operation management and continuous improvement in production systems. *International Journal of Production Research*, v. 54, n. 21, p. 6333-6350, 2016.
- KUCUKALTAN, B.; IRANI, Z.; AKTAS, E. A decision support model for identification and prioritization of key performance indicators in the logistics industry. *Computers in Human Behavior*, v. 65, p. 346–358, 2016.
- KUENG, Peter. Process performance measurement system: a tool to support process-based organizations. *Total quality management*, v. 11, n. 1, p. 67-85, 2000.
- KUMAR, U. et al. Maintenance performance metrics: A state-of-the-art review. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, v. 19, n. 3, p. 233–277, 2013.
- LI, Y. et al. Data-driven analysis of downtime impacts in parallel production systems. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, v. 12, n. 4, p. 1541-1547, 2015.
- LI, Y. et al. Identifying stakeholders and key performance indicators for district and building energy performance analysis. *Energy and Buildings*, v. 155, p. 1–15, 2017.
- LIMA, E. S.; COSTA, A. P. C. S. Improving Asset Management under a regulatory view. *Reliability Engineering and System Safety*, v. 190, p. 106523, 2019.
- LIMA, G. H. L.; COSTA, A. P. C. S. Modelo de avaliação do desempenho do ativo e o seu impacto nos processos de negócio. In : Simpósio de Engenharia de Produção, 27., 2020. *Anais...Bauru:UNESP*, 2020.
- LINDBERG, Carl-Fredrik et al. Key performance indicators improve industrial performance. *Energy procedia*, v. 75, p. 1785-1790, 2015.
- LIYANAGE, J. P.; KUMAR, U. Towards a value-based view on operations and maintenance performance management. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, v. 9, n. 4, p. 333–350, 2003.
- LOOY, A. VAN et al. Choosing the right business process maturity model. *Information & Management*, v. 50, n. 7, p. 466-488, 2013.
- MARCONI, M. d A.; LAKATOS, E. M. *Fundamentos de metodologia científica*. *Fundamentos de metodologia científica*, 5.ed. São Paulo: Atlas. 2003.
- MAHMOOD, K. et al. A Performance Evaluation Concept for Production Systems in an SME Network. *Procedia CIRP*, v. 72, p. 603–608, 2018.
- MEIER, H. et al. Key performance indicators for assessing the planning and delivery of industrial services. *Procedia CIRP*, v. 11, p. 99–104, 2013.

MLADENOVIC, G. et al. Use of key performance indicators for PPP transport projects to meet stakeholders' performance objectives. *Built Environment Project and Asset Management*, v. 3, n. 2, p. 228–249, 2013.

MOHAMMADI, A.; AMADOR-JIMENEZ, L.; NASIRI, F. Review of asset management for metro systems: challenges and opportunities. *Transport Reviews*, v. 39, n. 3, p. 309–326, 2019.

MUCHIRI, Peter N. et al. Empirical analysis of maintenance performance measurement in Belgian industries. *International Journal of Production Research*, v. 48, n. 20, p. 5905–5924, 2010.

MUCHIRI, Peter et al. Development of maintenance function performance measurement framework and indicators. *International Journal of Production Economics*, v. 131, n. 1, p. 295–302, 2011.

MUCHIRI, Peter; PINTELON, Liliane. Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): literature review and practical application discussion. *International journal of production research*, v. 46, n. 13, p. 3517–3535, 2008.

NWANYA, S. C.; UDOFIA, J. I.; AJAYI, O. O. Optimization of machine downtime in the plastic manufacturing. *Cogent Engineering*, v. 4, n. 1, p. 1335444, 2017.

PARIDA, Aditya. Asset performance assessment. In: *Asset management*. Springer, Dordrecht, 2012. p. 101–113.

PARIDA, A.; CHATTOPADHYAY, G. Development of a multi-criteria hierarchical framework for maintenance performance measurement (MPM). *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, v. 13, n. 3, p. 241–258, 2007.

PARIDA, Aditya et al. Performance measurement and management for maintenance: a literature review. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 2015.

PEFFERS, Ken et al. A design science research methodology for information systems research. *Journal of management information systems*, v. 24, n. 3, p. 45–77, 2007.

PETCHROMPO, Sanyapong; PARLIKAD, Ajith Kumar. A review of asset management literature on multi-asset systems. *Reliability Engineering & System Safety*, v. 181, p. 181–201, 2019.

POPOVA, V.; SHARPANSKYKH, A. Modeling organizational performance indicators. *Information Systems*, v. 35, n. 4, p. 505–527, 2010.

POPOVA, Viara; TREUR, Jan. A specification language for organisational performance indicators. *Applied Intelligence*, v. 27, n. 3, p. 291–301, 2007.

PRODANOV, Cleber Cristiano; DE FREITAS, Ernani Cesar. *Metodologia do trabalho*

científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2.ed. Editora Feevale, 2013.

QINGFENG, Wang et al. Development and application of equipment maintenance and safety integrity management system. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, v. 24, n. 4, p. 321-332, 2011.

RODA, I.; MACCHI, M. A framework to embed Asset Management in production companies. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability*, v. 232, n. 4, p. 368–378, 2018.

RODRIGUEZ, R. R.; SAIZ, J. J. A.; BAS, A. O. Quantitative relationships between key performance indicators for supporting decision-making processes. *Computers in Industry*, v. 60, n. 2, p. 104–113, 2009.

ROSEMANN, Michael; VOM BROCKE, Jan. The six core elements of business process management. In: *Handbook on business process management I*. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 105-122, 2015.

SAATY, Thomas L. Exploring the interface between hierarchies, multiple objectives and fuzzy sets. *Fuzzy sets and systems*, v. 1, n. 1, p. 57-68, 1978.

SARKIS, J. Quantitative models for performance measurement systems - Alternate considerations. *International Journal of Production Economics*, v. 86, n. 1, p. 81–90, 2003.

SCARF, P. A.; CAVALCANTE, C. A. V. Modelling quality in replacement and inspection maintenance. *International Journal of Production Economics*, v. 135, n. 1, p. 372–381, 2012.

SCHMIEDEL, T.; RECKER, J.; VOM BROCKE, J. The relation between BPM culture, BPM methods, and process performance: Evidence from quantitative field studies. *Information and Management*, v. 57, n. 2, 2020.

SCHNEIDER, J. et al. Asset management techniques. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, v. 28, n. 9 SPEC. ISS., p. 643–654, 2006.

SCOTT, Douglas; PISA, Robert. Can overall factory effectiveness prolong Mooer's law?. *Solid state technology*, v. 41, n. 3, p. 75-81, 1998.

SIEMIENIUCH, C. E.; SINCLAIR, M. A. On complexity, process ownership and organisational learning in manufacturing organisations, from an ergonomics perspective. *Applied Ergonomics*, v. 33, n. 5, p. 449-462, 2002.

SITORUS, Fernando; BRITO-PARADA, Pablo R. Equipment selection in mineral processing-A sensitivity analysis approach for a fuzzy multiple criteria decision making model. *Minerals Engineering*, v. 150, p. 106261, 2020.

SHAHIN, Arash; MAHBOD, M. Ali. Prioritization of key performance indicators. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 2007.

SHEIKHALISHAHI, M.; KARIMI, M.; RAGHEBI, R. Combinatorial optimization of petrochemical plants by asset integrity management indicators. *Process Safety and Environmental Protection*, v. 127, p. 321–328, 2019.

SLACK, Nigel et al. Administração da produção. São Paulo: Atlas, 1997.

SRINIVASAN, Rengarajan; PARLIKAD, Ajith Kumar. An approach to value-based infrastructure asset management. In: *Value Based and Intelligent Asset Management*. Springer, Cham, 2020. p. 123-138.

SUWIGNJO, P.; BITITCI, U. S.; CARRIE, A. S. Quantitative Models for Performance Measurement System. *International Journal of Production Economics*, v. 64, n. 1, p. 231–241, 2000.

TSANG, Albert HC; JARDINE, Andrew KS; KOLODNY, Harvey. Measuring maintenance performance: a holistic approach. *International Journal of Operations & Production Management*, 1999.

VAN LOOY, Amy; SHAFAGATOVA, Aygun. Business process performance measurement: a structured literature review of indicators, measures and metrics. *SpringerPlus*, v. 5, n. 1, p. 1797, 2016.

WOGNUM, P. M. et al. Improving enterprise system support—a case-based approach. *Advanced Engineering Informatics*, v. 18, n. 4, p. 241-253, 2004.

YIP, Hon-lun; FAN, Hongqin; CHIANG, Yat-hung. Predicting the maintenance cost of construction equipment: Comparison between general regression neural network and Box–Jenkins time series models. *Automation in Construction*, v. 38, p. 30-38, 2014.

ZHU, Li et al. Coordinating and evaluating of multiple key performance indicators for manufacturing equipment: Case study of distillation column. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, v. 22, n. 7, p. 805-811, 2014.

ZHU, Li et al. Key performance indicators for manufacturing operations management in the process industry. In: *2017 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*. IEEE, 2017. p. 969-973.

APÊNDICE A – LISTA DE PROCESS PERFORMANCE INDICATORS (PPIS)

PPI (trabalhos consultados)	Descrição	Fórmula	Unidade	Tendência
PPI 1 - Custos de insumos (BHATTI; AWAN; RAZAQ, 2014; VAN LOOY; SHAFAGATOVA, 2016)	Custo dos insumos utilizados nas operações	$\sum$ dos valores dos Insumos utilizados no período	\$	Min
PPI 2 - Custo de Operação (VAN LOOY; SHAFAGATOVA, 2016)	Custos associados as operações	$\sum$ custos de atividade associados à operação do processo	\$	Min
PPI 3-Custo de manutenção (Muchiri <i>et al.</i> , 2011; VAN LOOY; SHAFAGATOVA, 2016)	Custos decorrentes das ações programadas (material + homem/hora) + custos diretos associados a falhas (Material + homem/ hora) + Custos decorrentes da falha ¹	$\sum$ Custos diretos e indiretos da função manutenção	\$	Min
PPI 4 - Taxa de qualidade do processo (ISO 22400, 2014; VAN LOOY; SHAFAGATOVA, 2016)	Mensura a proporção de itens conformes sobre a produção total do processo	$\frac{\text{Quantidades de produtos conformes}}{\text{Produção Total}} \times 100$	%	Max
PPI 5 - Taxa de defeito do processo (GHALAYINI; NOBLE; CROWE, 1997)	Mensura a proporção de itens não conformes sobre a produção	$\frac{\text{Quantidades de produtos não conformes}}{\text{Produção Total}}$	%	Min

PPI (trabalhos consultados)	Descrição	Fórmula	Unidade	Tendência
	total do processo			
PPI 6 - Taxa de retrabalho do processo (GHALAYINI; NOBLE; CROWE, 1997; ISO 22400)	Mensura a proporção de itens reprocessados sobre a produção total do processo	$\frac{\text{Quantidades de produtos reprocessados}}{\text{Produção Total}}$	%	Min
PPI7- Taxa de descarte do processo (GHALAYINI; NOBLE; CROWE, 1997; ISO 22400, 2014)	Mensura a proporção de itens descartados sobre a produção total do processo	$\frac{\text{Quantidades de produtos descartados}}{\text{Produção Total}} \times$	%	Min
PPI 8- Lead time (ISO 22400, 2014; VAN LOOY; SHAFAGATOVA, 2016)	Mensura o Tempo médio agregado de todas as atividades associadas ao processo	$\frac{\sum \text{Tempos das atividades do processo}}{\text{Número de vezes que o processo foi executado}}$	Tempo médio	Min
PPI 9- Downtime (ISO 22400, 2014)	A proporção de tempo ao qual o processo de produção está atrasado devido a interrupções indesejáveis (causadas por mal funcionamento, pequenas interrupções e outros eventos não planejados).	$\frac{\sum \text{Tempos de atrasos dos fatores de produção}}{\text{Tempo de executar todo o processo}} \times 100$	%	Min
PPI 10 - Atraso médio (BHATTI; AWAN; RAZAQ, 2014)	Mensura o atraso médio das entregas das ordens de produção do processo	$\frac{\sum \text{tempos de atrasos nas entregas}}{\text{Quantidade de pedidos atrasados}}$	Tempo médio	Min

PPI (trabalhos consultados)	Descrição	Fórmula	Unidade	Tendência
PPI 11 - Flexibilidade de volume (BHATTI; AWAN; RAZAQ, 2014)	A habilidade de operar o sistema de maneira eficiente, mesmo diante de mudanças nos volumes de produção	Agregação de diversos indicadores (Tempo de setup, eficiência da máquina para realizar as tarefas, importância da tarefa, rotas de produção e custos diversos)	Adimensional	Max
PPI 12- Flexibilidade do Mix (BHATTI; AWAN; RAZAQ, 2014)	Definida como a habilidade de mudar para um novo conjunto de tipos de produtos, a serem processados, de forma rápida e econômica.	Agregação de diversos indicadores (Tempo de setup, eficiência da máquina para realizar as tarefas, importância da tarefa, rotas de produção e custos diversos)	Adimensional	Max
PPI 13 - Disponibilidade (ISO 22400, 2014; GONZALES <i>et al.</i> , 2017)	Mensura a porcentagem do tempo em que o processo está disponível	$\frac{\text{tempo no qual o processo foi executado}}{\text{Tempo necessário para executar todo o processo}}$	%	Max
PPI 14 - Taxa de transferência (DOSSI; PATELLI, 2010; BHATTI; AWAN; RAZAQ, 2014)	É uma medida de produtividade, mensurando a capacidade média atual de processamento do processo. Também chamada de	$\frac{\text{Nº de pedidos processados}}{\text{intervalo de tempo}}$	%	Max

PPI (trabalhos consultados)	Descrição	Fórmula	Unidade	Ten- dência
	taxa de fluxo do processo			
PPI 15 -Custos da estrutura ou geral (BHATTI; AWAN; RAZAQ , 2014; RODRIGUEZ; SAIZ; BAS, 2009)	Custos fixos da organização (Aluguéis, compra de equipamentos, dentre outros custos não operacionais)	$\sum$ Custos fixos e não operacionais	\$	Min
PPI 16 -Taxa de manutenção corretiva (ISO 22400, 2014; GONZALES <i>et al.</i> , 2017)	A magnitude das tarefas corretivas com todas as atividades de manutenção executadas,	$\frac{(\sum \text{Número de manutenções corretivas})}{\sum \text{Total de Manutenções}}$	%	Min
PPI 17 -Porcentagem de entrega pontual (BHATTI; AWAN; RAZAQ, 2014)	Mensura a proporção de pedidos entregues sobre o total de pedidos realizados	$\frac{\text{Pedidos entregues no prazo}}{\text{Pedidos realizados}} \times 100$	%	Max
PPI 18 -Taxa de realização do programado (MUCHIRI <i>et al.</i> , 2011)	Mensura a proporção de atividades realizadas nos prazos estabelecidos	$\frac{\text{Atividades realizadas no prazo}}{\text{todas atividades programadas}} \times 100$	%	Max

PPI (trabalhos consultados)	Descrição	Fórmula	Unidade	Tendência
PPI 19 -Número de reclamações (BHATTI; AWAN; RAZAQ, 2014)	Mensura a tendência de reclamações dos clientes	$\sum$ Reclamações	Quantidade	Min
PPI 20 -Porcentagem de tecnologia com menos de 3 anos (GHALAYINI; NOBLE; CROWE, 1997)	Mensura a proporção de equipamentos recentes, inovadores e atualizados	$\frac{\sum \text{Equipamentos com } < 3 \text{ anos}}{\text{Quantidades de equipamentos na planta}}$	%	Max
PPI 21 -Fundos alocados para aquisição de novas tecnologias (GHALAYINI; NOBLE; CROWE, 1997)	Capital disponibilizado para compra de maquinários novos e mais eficiente	$\sum$ Investimento	\$	Max
PPI 22 -Funcionários treinados (GHALAYINI; NOBLE; CROWE, 1997; BHATTI; AWAN; RAZAQ, 2014)	Média de funcionários treinados por unidade de tempo	$\frac{\sum \text{Funcionários treinados}}{\text{unidade de tempo}}$	Funcionários/tempo	Max
PPI 23 -Desenvolvimento de novos produtos (BHATTI; AWAN; RAZAQ, 2014)	Número de inovações no produto	$\frac{\sum \text{Novos produtos}}{\text{unidade de tempo}}$	Quantidade/tempo	Max

PPI (trabalhos consultados)	Descrição	Fórmula	Unidade	Ten- dência

APÊNDICE B - LISTA DE ASSET PERFORMANCE INDICATORS (APIS)

API	Descrição	Fórmula	Unidade	Tendência
API 1 – Tempo dedicado à operação [Gonzales <i>et al.</i> (2017); Muchiri <i>et al.</i> (2010); Parida e Chattopadhyay (2007); Mahmood <i>et al.</i> (2018); Qingfeng <i>et al.</i> (2011)]	A percentagem do tempo em que o ativo está disponível, sendo a razão entre tempo ao qual o ativo está operando e o tempo total para executar o pedido ³	$\frac{\text{Tempo operacional do ativo}}{\text{Tempo ocupado para executar a ordem}} \times$	%	Maximizar
API 2 - Tempo médio entre falhas (MTBF) [Gonzales <i>et al.</i> (2017); Muchiri <i>et al.</i> (2010); Meier <i>et al.</i> (2013); Iadanza <i>et al.</i> (2019); Li <i>et al.</i> (2019)];	Média de tempos transcorridos entre duas falhas	$\frac{\sum \text{Tempos entre falhas}}{N^{\circ} \text{ de falhas}}$	Tempo médio	Maximizar
API 3 – Downtime [Muchiri <i>et al.</i> (2010); Parida e Chattopadhyay (2007); Mahmood <i>et al.</i> (2018); Meier <i>et al.</i> (2013); Iadanza <i>et al.</i> (2019)]	A percentagem de tempo indisponível do ativo, causado por fatores não programados, tais como manutenção corretiva e falhas ⁴ em relação ao tempo levado para finalizar um pedido	$\frac{\text{Tempo indisponível do ativo}}{\text{Tempo ocupado para executar a ordem}} \times$	%	Minimizar

³ Inclui o *downtime* e o tempo de setup.

API	Descrição	Fórmula	Unidade	Tendência
API 4 - Overall Equipment Effectiveness (OEE) [Muchiri <i>et al.</i> (2010); Parida e Chattopadhyay (2007); Mahmood <i>et al.</i> (2018); Bhadani <i>et al.</i> (2020)]	Indicador agregado que mensura o quanto eficaz é o ativo	$Disponibilidade^5 \times \text{Percentual de itens conformes do ativo} \times \text{Performance}$	%	Maximizar
API 5 - Taxa de produção [Parida e Chattopadhyay (2007); Mahmood <i>et al.</i> (2018); Zhu <i>et al.</i> (2014); Li <i>et al.</i> (2019)]	Mensura a produtividade do ativo, em termos de volume produzido, em relação a um intervalo de tempo	$\frac{\text{Produção do ativo}}{\text{Intervalo de tempo}}$	Qtde/Tempo	Maximizar
API 6 - Percentual de itens conformes do ativo [Parida e Chattopadhyay (2007); Mahmood <i>et al.</i> (2018); Zhu <i>et al.</i> (2014); Bhadani <i>et al.</i> (2020)]	A percentagem de itens conformes processados pelo ativo sobre a produção do mesmo	$\frac{\text{Total de itens conformes produzidos}}{\text{Produção total do ativo}} \times 100$	%	Maximizar
API 7 - Tempo médio para reparo (MTTR) [Gonzales <i>et al.</i> (2017); Li <i>et al.</i> (2019); Qingfeng <i>et al.</i> (2011)]	Média de tempo transcorrido nos reparos realizados no ativo	$\frac{\sum \text{Tempos de reparo do ativo}}{N^{\circ} \text{ de intervenções realizadas}}$	Tempo médio	Minimizar

⁴Alguns autores incluem no *downtime* o tempo de setup.

⁵Existem diferenças de nomenclaturas na literatura, usou-se a definida em ISO 22400 (2014).

API	Descrição	Fórmula	Unidade	Tendência
API 8 - Tempo médio até a falha (MTTF)⁶ [Qingfeng <i>et al.</i> (2011); Muchiri <i>et al.</i> (2010); Iadanza <i>et al.</i> (2019); Li <i>et al.</i> (2019)]	Média de tempo transcorrido entre uma falha para outra falha	$\frac{\sum \text{Tempos para Falhar}}{N^{\circ} \text{ de falhas do ativo}}$	Tempo	Maximizar
API 9 - Capacidade de utilização [Gonzales <i>et al.</i> (2017); Parida e Chattopadhyay (2007); Mahmood <i>et al.</i> (2018); Bhadani <i>et al.</i> (2020)]	Proporção do tempo em que o ativo está sendo utilizado, também conhecido como taxa de uso	$\frac{\text{Tempo operacional}}{\text{Tempo disponível}} \times 100$	%	Maximizar
API 10 - Taxa de Falha [Gonzales <i>et al.</i> (2017); Iadanza <i>et al.</i> (2019)]	Mensura a frequência de falhas do ativo em um determinado intervalo de tempo	$\frac{N^{\circ} \text{ de Falhas}}{\text{Intervalo de tempo}}$	Qtde/Tempo	Minimizar
API 11 - Tempo operacional⁷ [Mahmood <i>et al.</i> (2018)]	Mensura o tempo gasto pelo ativo para executar o pedido, incluindo apenas funções que agreguem valor	$\text{Tempo de processamento} - \text{tempo de setup}$	Tempo	Minimizar
API 12 - Frequência de paradas do ativo [Muchiri <i>et al.</i> (2010)]	Mensura a proporção do volume de paradas, devido a falhas, ações de manutenção e outros	$\frac{N^{\circ} \text{ de Paradas}}{\text{Intervalo de Tempo}}$	Nº	Minimizar

⁶Esse indicador é para ativos que não podem ser concertados.

⁷Também conhecido como tempo real de produção.

API	Descrição	Fórmula	Unidade	Tendência
	(<i>Shutdown</i> ⁸ , <i>breakdown</i> ⁹ e <i>smallstoppges</i> ¹⁰) em um intervalo de tempo			
API 13 - Porcentagem de itens defeituosos [Parida e Chattopadhyay (2007); Mahmood <i>et al.</i> (2018)]	Proporção dos itens não conformes produzido pelo ativo em relação a sua produção	$\frac{\sum \text{Itens defeituosos}}{\text{Produção do ativo}} \times 100$	%	Minimizar
API 14 - Vibração e termografia [Parida e Chattopadhyay (2007)]	Mensuram o estado do ativo por meio de nível de ruídos e temperatura	Sem operacionalização de fórmula		
API 15 - Eficiência de utilização [ISO 22400 (2014); Gonzales <i>et al.</i> (2017); Mahmood <i>et al.</i> (2018); Bhadani <i>et al.</i> (2020)]	Mensura a eficiência de uma ativo no que tange a proporção de tempo gasto nas operações que agregam valor em relação ao tempo total gasto para executar o pedido ¹¹	$\frac{\text{Tempo operacional}}{\text{Tempo de execução do pedido}} \times 100$	%	Maximizar
API 16 - Percentual de itens descartados [Parida e	A proporção de itens produzidos pelo ativo que não atende aos requisitos de qualidade, e			Minimizar

⁸ Parada do ativo dentro do plano da produção.

⁹ Parada por uma falha.

¹⁰ Pequenas interrupções na qual o ativo fica inativo por curto período de tempo.

¹¹ O tempo total gasto deve incluir também o *downtime* e setup.

API	Descrição	Fórmula	Unidade	Tendência
Chattopadhyay (2007); Mahmood <i>et al.</i> (2018); ISO 22400 (2014)]	que não podem ser corrigidos pelo reprocessamento, sobre produção total do ativo	$\frac{\sum \text{Itens defeituosos descartados}}{\text{Produção Total do ativo}} \times 100$		
API 17 - Percentual de itens reprocessados [ISO 22400 (2014)]	A proporção de itens produzidos que não atende aos requisitos de qualidade, mas que podem ser corrigidos pelo reprocessamento, em relação a produção total do ativo	$\frac{\sum \text{Itens defeituosos reprocessados}}{\text{Produção Total do ativo}} \times 10$	%	Minimizar
API 18 – Performance [Mahmood <i>et al.</i> (2018)]	Expressa o quanto o ativo está operando segundo o seu projetado, sendo uma relação ideal x Real	$\frac{\text{Tempo de ciclo ideal} \times \text{produção}}{\text{Tempo operacional}} \times 100$	%	Maximizar
API 19 - Tempo de operação [ISO 22400 (2014)]	Tempo padrão de operação do ativo, ou seja, o tempo necessário para produção.	Tempo operacional + Tempo de setup	Tempo	Maximizar
API 20 - Consumo de energia do ativo [Zhu <i>et al.</i> (2014)]	Energia consumida pelo ativo em determinado período	$\frac{\text{Consumo de energia do ativo}}{\text{intervalo de tempo}}$	KWH	Minimizar
API 21 – Capacidade real de produção [Li <i>et al.</i> (2019)]	Quantidade produzida em relação a capacidade máxima de produção especificada para o ativo	$\frac{\text{Produção total do ativo}}{\text{capacidade máxima de Produção}} \times 100$	%	Maximizar
API 22 - Tempo de setup [ISO 22400 (2014)]	O tempo médio usado para a preparação e configuração do ativo para atender um pedido		Tempo médio	Minimizar

API	Descrição	Fórmula	Unidade	Tendência
		$\frac{\sum \text{Tempo de configuração do ativo}}{\text{Nº Total de pedidos realizados pelo ativo}}$		
API 23 - Número de Falhas [Muchiri <i>et al.</i> (2011)]	Nº de falhas e sua classificação (Operacional, segurança, não operacional)	Número de falhas	Nº	Minimizar
API 24 - Custo médio de manutenção do ativo [Yip, Fan e Chiang (2014)]	Mensura o custo médio das ações de manutenção do ativo em relação à determinado intervalo de tempo	$\frac{\sum \text{Custos ações de prevenção da falha}}{\text{Intervalo de tempo}}$	\$/Tempo	Minimizar