



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Faculdade de Engenharia e Ciências
Câmpus de Rosana

AMANDA MIDORI MATSUMOTO BRITO SANTOS

***Roadmap* da Eficiência Energética na Indústria no Contexto das Tecnologias
Habilitadoras da Indústria 4.0**

Rosana - SP
2023

Amanda Midori Matsumoto Brito Santos

***Roadmap* da Eficiência Energética na Indústria no Contexto das Tecnologias
Habilitadoras da Indústria 4.0**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenadoria de Curso de Engenharia de
Energia da Faculdade de Engenharia e Ciências
– Campus de Rosana, Universidade Estadual
Paulista, como parte dos requisitos para
obtenção do diploma de Graduação em
Engenharia de Energia.

Orientador: Kleber Rocha de Oliveira

S237r

Santos, Amanda Midori Matsumoto Brito

Roadmap da eficiência energética na indústria no contexto das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 / Amanda Midori Matsumoto Brito Santos. -- Rosana, 2023

73 p. : tabs.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia de Energia) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Engenharia e Ciências, Rosana

Orientador: Kleber Rocha de Oliveira

1. Eficiência Energética. 2. Indústria. 3. Indústria 4.0. 4. Tecnologias Habilitadoras. I. Título.

AMANDA MIDORI MATSUMOTO BRITO SANTOS

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADO EM ENGENHARIA DE ENERGIA"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIA

Prof. Dr. Leandro Ferreira Pinto
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Kleber Rocha de Oliveira
Orientador/UNESP-Rosana

Prof. Dra. Claudia Gonçalves de Azevedo
UNESP-Rosana

Prof. Dr. José Francisco de Resende da Silva
UNESP-Rosana

Novembro de 2023

Dedico este trabalho à minha amada avó
Maria, ao meu amado avô José e ao meu amado pai Celso.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela força e sabedoria que Ele me proporcionou nessa trajetória.

Agradeço imensamente aos meus avós, Maria Rosa e José Mineiro, por me criarem com muito amor e carinho. Sem eles, eu não estaria aqui, especialmente à minha avó, que se tornou a figura materna que eu nunca tive.

Agradeço à minha família, especialmente ao meu pai, Celso de Brito dos Santos, pelo apoio e confiança durante essa jornada.

Agradeço ao meu orientador Doutor Kleber Rocha de Oliveira pela paciência, dedicação, apoio e ensinamentos transmitidos durante a realização deste trabalho. Foi uma enorme satisfação tê-lo como orientador.

Agradeço especialmente à minha orientadora nos projetos da bolsa COPE Conecta, Doutora Cláudia Gonçalves de Azevedo, pelos ensinamentos, confiança e apoio. Sem eles, dificilmente teria chegado até aqui. Foi uma honra ter sido sua orientanda nesses últimos dois anos.

Agradeço ao meu irmão de consideração, Gustavo Alves, por ter me ajudado e apoiado quando eu mais precisei.

Agradeço a todos os amigos que fiz ao longo dessa jornada, em especial à Beatriz Luisa, pelo apoio e companheirismo durante o último ano.

E por fim, mas não menos importante, agradeço a todo o corpo docente de Engenharia de Energia da Faculdade de Engenharia e Ciências (Câmpus de Rosana) pelo acolhimento, dedicação e pelos ensinamentos transmitidos, em especial ao Doutor José Francisco Resende da Silva, pela prontidão ao aceitar fazer parte da banca examinadora.

“Toda ação humana, quer se torne positiva
ou negativa, precisa depender de motivação”
-Dalai Lama

RESUMO

A indústria possui um papel essencial na economia global, impulsionando o Produto Interno Bruto (PIB) e criando oportunidades de emprego. Além disso, ela fornece insumos para outros setores da economia. No entanto, à medida que o mundo enfrenta desafios energéticos e ambientais, a adoção de práticas de eficiência energética se torna cada vez mais essencial. O objetivo deste estudo é explorar como as tecnologias da Indústria 4.0 podem promover a eficiência energética nesse cenário. Para alcançar esse objetivo, foram analisados nove casos que serviram como base de dados para criar um *roadmap*. Durante a análise desses casos, com foco nos produtos aplicados e nos benefícios associados a eles, foi possível estabelecer uma correlação entre esses produtos e as características das tecnologias habilitadoras. Isso evidenciou que as tecnologias habilitadoras, como *big data*, internet das coisas, computação em nuvem, inteligência artificial, *machine-to-machine*, manufatura digital e identificação por radiofrequência (RFID), estavam integradas nesses produtos. Portanto, o objetivo principal deste trabalho é desenvolver um *roadmap* que ofereça insights para a adoção de práticas de eficiência energética na indústria.

PALAVRAS-CHAVE: Indústria. Eficiência Energética. Indústria 4.0. Tecnologias Habilitadoras.

ABSTRACT

The industry have an essential role in the global economy, boosting Gross Domestic Product (GDP) and creating employment opportunities. Furthermore, it provides inputs for other sectors of the economy. However, as the world faces energy and environmental challenges, the adoption of energy-efficient practices becomes increasingly crucial. The objective of this study is to explore how enabling technologies of Industry 4.0 can promote energy efficiency in this scenario. To achieve this goal, nine cases were analyzed, serving as a database to create a roadmap. During the analysis of these cases, focusing on the applied products and the associated benefits, it was possible to establish a correlation between these products and the characteristics of enabling technologies, proving that enabling technologies were incorporated into into these products. The identified enabling technologies were big data, Internet of Things, cloud computing, artificial intelligence, machine-to-machine, digital manufacturing, and RFID. Therefore, the main objective of this work is to develop a roadmap that provides insights for the adoption of energy-efficient practices in the industry.

KEYWORDS: Industry. Energy Efficiency. Industry 4.0. Enabling Technologies.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Dados obtidos do caso 1	33
Quadro 2 – Dados obtidos do caso 2	34
Quadro 3 – Dados obtidos do caso 3	35
Quadro 4 – Dados obtidos do caso 4	36
Quadro 5 – Dados obtidos do caso 5	37
Quadro 6 – Dados obtidos do caso 6	38
Quadro 7 – Dados obtidos do caso 7	39
Quadro 8 – Dados obtidos do caso 8	40
Quadro 9 – Dados obtidos do caso 9	41
Quadro 10 – Correlação entre as tecnologias habilitadoras e os benefícios do produto aplicado do caso 1	42
Quadro 11 – Correlação entre as tecnologias habilitadoras e os benefícios do produto aplicado do caso 2	43
Quadro 12 – Correlação entre as tecnologias habilitadoras e os benefícios do produto aplicado do caso 3	44
Quadro 13 – Correlação entre as tecnologias habilitadoras e os benefícios do produto aplicado do caso 4	45
Quadro 14 – Correlação entre as tecnologias habilitadoras e os benefícios do produto aplicado do caso 5	46
Quadro 15 – Correlação entre as tecnologias habilitadoras e os benefício do produto aplicado do caso 6	47
Quadro 16 – Correlação entre as tecnologias habilitadoras e os benefícios do produto aplicado do caso 7	48
Quadro 17 – Correlação entre as tecnologias habilitadoras e os benefícios do produto aplicado do caso 8	49
Quadro 18 – Correlação entre as tecnologias habilitadoras e os benefícios do produto aplicado do caso 9	50
Quadro 19 – Identificação das tecnologias habilitadoras	51

LISTA DE SÍMBOLOS

CO ₂	Dióxido de carbono (<i>Carbon dioxide</i>)
CO ₂ e	Emissão de carbono equivalente (<i>Carbon dioxide equivalent</i>)
CPS	Sistemas cyber-físicos (<i>Cyber-Physical System</i>)
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
Gt	Gigatonelada
IA	Inteligência artificial (<i>Artificial intelligence - AI</i>)
IEA	Agência Nacional de Energia (<i>International Energy Agency</i>)
IaaS	Software e infraestrutura como serviço
IoS	Internet dos serviços (<i>Internet of services</i>)
IoT	Internet das coisas (<i>Internet of things</i>)
M2M	Comunicação máquina para máquina (<i>machine-to-machine</i>)
MDL	Mecanismo de desenvolvimento limpo
MFM	<i>WEG Motion Fleet Management</i>
Mt	Megatonelada
Mtoe	Milhões de toneladas equivalentes de petróleo (<i>Millions of tonnes of oil equivalent</i>)
PSS	Sistema Produto-Serviço (<i>Product Service System</i>)
PaaS	Plataforma como serviço
RFID	Identificação por Radio frequência (<i>Radio Frequency Identification</i>)
SCADA	Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados (<i>Supervision Control And Data Acquisition</i>)
SCs	Sistemas Computacionais
SaaS	Software como serviço
UC	Universidades corporativas
kWh	Quilowatt-hora (kilowatt-hour)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVO	15
1.1.1	Objetivo geral	16
1.1.2	Objetivos específicos	16
2	REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	17
2.2	INDÚSTRIA 4.0	18
2.2.1	Tecnologias habilitadoras	20
2.2.1.1	Internet das coisas	20
2.2.1.2	<i>Big data</i>	21
2.2.1.3	Computação em nuvem	22
2.2.1.4	Inteligência artificial	23
2.2.1.5	Manufatura digital	24
2.2.1.6	<i>Machine-to-machine</i>	24
2.2.1.7	RFID	25
2.3	ROADMAP	26
3	METODOLOGIA	27
4	ESTUDO DE CASO	28
4.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DOS CASOS	28
4.1.1	Caso 1	28
4.1.2	Caso 2	29
4.1.3	Caso 3	30
4.1.4	Caso 4	30
4.1.5	Caso 5	31
4.1.6	Caso 6	31
4.1.7	Caso 7	31
4.1.8	Caso 8	31
4.1.9	Caso 9	32
4.2	MINERAÇÃO DE DADOS	32
4.2.1	Caso 1	32
4.2.2	Caso 2	34
4.2.3	Caso 3	34
4.2.4	Caso 4	35
4.2.5	Caso 5	36

4.2.6	Caso 6.....	37
4.2.7	Caso 7.....	38
4.2.8	Caso 8.....	39
4.2.9	Caso 9.....	40
4.3	CORRELAÇÃO ENTRE OS BENEFÍCIOS DOS PRODUTOS APLICADOS E AS TECNOLOGIAS HABILITADORAS	42
4.3.1	Caso 1.....	42
4.3.2	Caso 2.....	43
4.3.3	Caso 3.....	43
4.3.4	Caso 4.....	45
4.3.5	Caso 5.....	45
4.3.6	Caso 6.....	46
4.3.7	Caso 7.....	47
4.3.8	Caso 8.....	48
4.3.9	Caso 9.....	49
4.4	IDENTIFICAÇÃO DAS TECNOLOGIAS HABILITADORAS	51
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	53
5.1	AVALIAÇÃO INICIAL	53
5.1.1	Identificação da situação atual da eficiência energética.....	53
5.1.2	Determinação dos principais desafios e oportunidades.....	54
5.1.3	Estabelecimento de metas claras para a redução do consumo de energia.....	54
5.2	IDENTIFICAÇÃO DE TECNOLOGIAS HABILITADORAS.....	55
5.2.1	Pesquisa e identificação de tecnologias disponíveis que possam ajudar a melhorar a eficiência energética na indústria.....	55
5.2.2	Considerar tecnologias relacionadas a geração, distribuição, armazenamento, monitoramento e controle de energia	55
5.3	PRIORIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS.....	55
5.3.1	Classificação das tecnologias identificadas com base em sua relevância e impacto potencial na eficiência energética	56
5.3.2	Consideração do custo, da disponibilidade e a da maturidade das tecnologias.....	56
5.4	DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO	56
5.4.1	Criação de um cronograma que detalhe a implementação das tecnologias ao longo do tempo.....	57
5.4.2	Divisão da implementação em fases ou etapas, estabelecendo marcos e prazos específicos	57
5.5	RECURSOS NECESSÁRIOS	57
5.5.1	Determinação dos recursos necessários para implementar cada tecnologia, incluindo investimento financeiro, pessoal e materiais	58
5.5.2	Estimativa de custos e alocação do orçamento para cada fase da implementação.....	58

5.6 PARCERIAS E COLABORAÇÕES.....	59
5.6.1 Avaliação da possibilidade de estabelecer parcerias com fornecedores de tecnologias, instituições de pesquisa ou outras empresas que possam contribuir para o sucesso da implementação	59
5.7 MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO	60
5.7.1 Estabelecimento de métricas e indicadores de desempenho para medir o progresso em direção às metas de eficiência energética	60
5.7.2 Implementação de sistemas de monitoramento e coleta de dados em tempo real, se possível	60
5.8 TREINAMENTO E EDUCAÇÃO	61
5.8.1 Certificação de que a equipe esteja devidamente treinada para operar e manter as novas tecnologias	61
5.8.2 Promoção da conscientização e da educação sobre a importância da eficiência energética.....	61
5.9 IMPLEMENTAÇÃO E TESTES PILOTOS.....	62
5.9.1 Implementação das tecnologias de forma faseada, começando por testes pilotos para avaliar seu desempenho na operação real	62
5.10 AJUSTES E OTIMIZAÇÃO	63
5.10.1 Ajustes e otimizações do <i>roadmap</i> e nas tecnologias implementadas.....	63
5.11 ESCALONAMENTO E EXPANSÃO	63
5.11.1 Expansão da implementação para toda a indústria	63
5.12 COMUNICAÇÃO E RELATÓRIOS.....	64
5.12.1 Informe aos <i>stakeholders</i> sobre o progresso e os resultados do <i>roadmap</i>.....	64
5.12.2 Preparação de relatórios regulares para documentar os sucessos alcançados e os desafios enfrentados	64
5.13 DISCUSSÕES	65
6 CONCLUSÃO	66
REFERÊNCIAS	67

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a globalização e o surgimento de novas tecnologias proporcionam uma nova realidade com cenários dinâmicos e avanços em diversos sentidos para as organizações. De acordo com Pereira e Terazzi (2020) e Ikeziri *et al.* (2020), as empresas precisam se adaptar aos novos desafios em relação ao surgimento das novas tecnologias, a necessidade de elevados índices de produtividade a custos menores e uma maior participação dos consumidores no decorrer da cadeia produtiva.

De acordo com Lafontaine *et al.* (2010) e a AGECC (2010), nas últimas décadas, a eficiência vem ganhando destaque, ela oferece uma solução para inúmeros desafios como as mudanças climáticas, segurança energética, competitividade industrial, desenvolvimento econômico e redução da pobreza.

Um exemplo que a eficiência energética pode proporcionar a redução da pobreza seria através da introdução de fogões de cozinha energeticamente eficientes. Esses fogões utilizam menos lenha e reduzem os efeitos da poluição do ar interno, de modo que a sua utilização pode melhorar consideravelmente a qualidade de vida das pessoas que possuem situação de vulnerabilidade econômica e são dependentes de fontes de biomassa (LAFONTAINE *et al.*, 2010).

Lafontaine *et al.* (2010) relata que em relação ao aumento da competitividade industrial, a eficiência energética proporciona a redução de custos de produção, reduz a pressão sobre os orçamentos familiares e diminui as despesas de energia do governo.

De acordo com a (EPE, 2023), o setor industrial consumiu 37,3% da geração de energia elétrica no Brasil no ano de 2022, sendo o maior setor com maior demanda de energia elétrica. O setor se manteve em primeiro lugar na questão de consumo de energia elétrica ao longo dos anos. Diante desses fatos, era esperado que houvesse a prática da eficiência energética, porém isso não ocorre na intensidade desejada (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2023).

Neste contexto, o presente trabalho visa contribuir estimular a aplicação da eficiência energética na indústria através de um *roadmap* no contexto das tecnologias habilitadoras.

1.1 OBJETIVO

Nessa seção serão abordados o objetivo geral e os objetivos específicos do estudo.

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral do presente trabalho é demonstrar que a implementação das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 pode proporcionar melhorias significativas em termos de eficiência energética na indústria. Além disso, o presente estudo visa fornecer uma análise abrangente das estratégias, ferramentas e práticas disponíveis que podem ser adotadas para alcançar esse objetivo, destacando os benefícios econômicos, ambientais e operacionais que podem ser obtidos através da integração dessas tecnologias avançadas no contexto da gestão de energia industrial.

1.1.2 Objetivos específicos

- Entender o conceito de algumas tecnologias habilitadoras, bem como suas funcionalidades e benefícios;
- Comprovar a existência das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 em diferentes produtos através de análises de casos;
- Demonstrar através da realização de um *roadmap* que utilizando as tecnologias habilitadoras é possível obter eficiência energética na indústria.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Yergin (2012) se refere a eficiência energética e conservação de energia como dois termos intercambiáveis. Sola e Mota (2015) dizem que a literatura especializada apresenta o conceito de eficiência energética de diversas maneiras, ocasionando até mesmo a associação da mesma com a conservação de energia.

Croucher (2011) afirma que a conservação de energia é realizada a partir da redução de energia consumida através dos bens e serviços que consomem eletricidade, como por exemplo, retirar um aparelho eletrônico da tomada quando o mesmo não estiver em uso, ao invés de deixá-lo em *stand-by*. Sola e Mota (2015) relata que a conservação de energia foca na redução das decisões gerais envolvendo o produto, levando a redução da quantidade necessária de energia.

De acordo com Schwarz (2018), a conservação de energia está relacionada com a redução no consumo de combustível bem como na redução da utilização de produtos e serviços que consomem energia. Para Oikonomou *et al.*, (2009), a conservação de energia é obtida pela mudança comportamental do consumidor. E de acordo com Marques, Haddad e Martins (2006), a conservação de energia é um conceito socioeconômico que se apoia em duas ferramentas: mudança de hábito e eficiência energética.

Schwarz (2018) e Farias (2017) afirmam que enquanto a eficiência energética é a utilização de menos energia para alcançar um nível fixo de bens e serviços ou utilizar a mesma quantidade de energia para a obtenção de mais bens e serviços.

Croucher (2011) afirma que a eficiência energética é resultante da relação entre a energia que foi consumida e a energia que foi demandada.

A eficiência energética possui uma grande importância como um objetivo político porque está relacionada a competitividade industrial, comercial e os benefícios da segurança da energia, além dos benefícios ambientais, bem como a redução da emissão de CO₂ (PATTERSON, 1996). E de acordo com Oikonomou *et al.* (2009), a eficiência energética é realizada através da redução do consumo total de energia por meio de uma tecnologia específica sem uma mudança de comportamento relevante.

Desde o Protocolo de Quioto, a eficiência energética vem ganhando espaço na agenda política dos países mais desenvolvidos. Isso ocorre porque está associada às políticas de

mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) e aos benefícios que a conservação de energia ocasiona para o consumo de energia e para o meio ambiente (ABREU, 2003).

De acordo com a *International Energy Agency (IEA)*, entre os anos de 2000 e 2011, as emissões globais cresceram 44% (IEA, 2013).

Ainda de acordo com o *IEA*, em 2020, as emissões de dióxido de carbono provenientes da combustão de energia e processos industriais diminuíram mais de 5% devido a pandemia Covid-19 (IEA, 2023). Após a implementação das vacinas e estímulo econômico, em 2021 as emissões recuperaram os níveis antes da pandemia com um aumento maior que 6%. E em 2022 houve um aumento de 0,9% ou 321 Mt, totalizando 36,8 Gt (IEA, 2023).

Sola e Mota (2015), que de modo geral, a eficiência energética possui benefícios ambientais a partir da redução da emissão de CO₂, bem como contribui com a diminuição das mudanças climáticas que ocorrem no planeta, sendo uma solução para a diminuição da poluição ambiental.

2.2 INDÚSTRIA 4.0

Em abril de 2001 ocorreu a feira Industrial de Hannover, na Alemanha, onde o termo Indústria 4.0 apareceu pela primeira vez e desde então esse termo remete à produção do futuro (ZUEHLKE, 2019; COELHO, 2016).

O termo Indústria 4.0 (I4.0) estava relacionado com o projeto denominado Plataforma Indústria 4.0 (*Plattform Industrie 4.0*), cujo objetivo era desenvolver uma alta tecnologia que proporcionasse aos sistemas automatizados a capacidade de comunicação e trocas de informações e/ou dados entre máquinas e seres humanos, promovendo a otimização de todo o processo de produção (SACOMANO *et al.*, 2018; ZUEHLKE, 2019).

Como qualquer outra revolução industrial, a I4.0 ocasionou a evolução dos sistemas de produção, promovendo a mudança da dimensão do trabalho. Aires, Freire e Souza (2017) relata que, conseqüentemente, ocorreu a mudança do perfil exigido dos trabalhadores, passando do trabalho manual para o intelectual. Devido a essas mudanças, durante as décadas de 1980 e 1990, diversas organizações constituíram Universidades Corporativas (UC) visando a estratégia de capacitação dos trabalhadores (MEISTER, 1999). Dezesete anos depois, (FREIRE *et al.*, 2016) corroboraram com (MEISTER, 1999) observando que o objetivo das UC eram de superar as lacunas na formação acadêmica, constituindo em suas estruturas organizacionais áreas específicas para cuidar da Educação Corporativa com a finalidade de garantir a formação continuada de sua força de trabalho.

Existem várias interpretações envolvendo a indústria 4.0, Khan e Turowski (2016) reconhecem esse fato e afirmam que a indústria 4.0 é uma revolução que ocorreu devido a aplicação de tecnologias avançadas em nível de produção para resultar em novos valores e serviços para os consumidores e às próprias organizações.

De acordo com Lima e Gomes (2020), na visão de alguns autores, a indústria 4.0 engloba um conjunto de diversas inovações específicas para o processo produtivo possuindo potencial para gerar uma quarta revolução industrial.

De acordo com Vieira *et al.* (2019), a quarta revolução é um conjunto de elementos tecnológicos que integrados se beneficiam da redução dos limites entre o mundo virtual e o mundo físico, possibilitando trabalhos colaborativos entre humanos e máquinas com a utilização de sistema de produção cyber-físicos (CPS) como um de seus componentes chaves. Kang *et al.* (2016) afirmam que a indústria 4.0 está sendo impulsionada não somente pela criação de fábricas inteligentes, mas também pelos seguintes fatores:

- Padronização e arquitetura de referência;
- Gerenciamento de sistemas complexos;
- Aumento da infraestrutura de banda larga para a indústria;
- Segurança e proteção;
- Organização e design do trabalho;
- Treinamento e desenvolvimento profissional contínuo;
- Regulamentação dos processos;
- Eficiências dos recursos.

De acordo com Lasi *et al.* (2014), a indústria 4.0 é um projeto do futuro com as seguintes características:

- Períodos de desenvolvimento curto: é necessário que o tempo de desenvolvimento e inovação sejam diminuídos;
- Individualização: produtos produzidos de acordo com as condições do mercado definidas pelos consumidores;
- Flexibilidade: é necessário ter maior flexibilidade no desenvolvimento dos produtos;
- Descentralização: necessidade de procedimentos de tomada de decisão mais ágeis;

- Eficiência dos recursos: sustentabilidade em foco nos contextos industriais com o objetivo de combater a escassez e aumentar a eficiência econômica e ecológica.

Hermann, Otto e Pentek (2015) afirmam que existem quatro principais conjuntos de tecnologias na indústria 4.0, sendo eles os sistemas ciber-físicos (CPS), internet das coisas (IoT), Internet dos serviços (IoS) e fábrica inteligente. Lima e Gomes (2020) diz que existem outras tecnologias, como por exemplo, a comunicação máquina para máquina (*Machine-to-machine - M2M*), *big data* e computação em nuvem, porém elas não devem ser consideradas exclusivamente da Indústria 4.0 pois foram certificadas pelas revoluções industriais anteriores, sendo assim consideradas tecnologias habilitadoras da indústria 4.0.

2.2.1 Tecnologias habilitadoras

De acordo com *DIISRTE* (2012), uma tecnologia habilitadora possui o potencial de causar uma transformação significativa na capacidade de um usuário ou de uma cultura, possibilitando a criação de novos produtos, bem como serviços ou processos mais eficientes.

Existem várias interpretações envolvendo quais são as tecnologias habilitadoras da indústria 4.0. De acordo com Dalmarco *et al.* (2019), a indústria 4.0 possui 9 tecnologias habilitadoras, sendo elas: a simulação, *big data*, computação em nuvem, sistemas cyberfísicos (*Cyber-Physical System - CPS*), segurança cibernética (*Cybersecurity*), robótica colaborativa, realidade aumentada, manufatura aditiva e integração de sistemas.

Segundo o relatório do Rüßmann *et al.* (2015), a indústria 4.0 possui 9 tecnologias habilitadoras, sendo elas: a internet industrial das coisas, computação em nuvem, big data, robôs autônomos, manufatura aditiva, simulação digital, integração de sistemas, realidade aumentada e segurança cibernética.

2.2.1.1 Internet das coisas

Em 1999, durante uma apresentação para executivos da empresa Procter & Gamble, o pesquisador Keven Ashthon utilizou pela primeira vez o termo internet das coisas (*Internet of things - IoT*). O assunto que estava sendo debatido era realizar durante o processo de produção, a etiquetagem dos produtos através da radiofrequência (*RFID*) (LIRA, 2020).

Diniz (2006) afirma que “A ideia por trás da Internet das coisas nasce de uma nova dimensão de conexão propiciada pela Internet – além de possibilitar a comunicação a qualquer tempo e em qualquer lugar, agora também considera a comunicação de qualquer coisa.”

Ferreira, Martinho e Domingos (2010) relatam que a internet das coisas é a capacidade dos sensores se conectarem aos objetos, tornando-se objetos inteligentes com a capacidade de capturar informações de contexto e fornecer informações que possibilitam adaptações e decisões em tempo real, além de permitirem a execução de processos de negócio.

Para Misra *et al.* (2016), a internet das coisas é o conceito de diversos objetos inteligentes capazes de interagirem entre si e cooperarem com outros objetos inteligentes através de conexões sem fio e com fio.

Ainda de acordo com MISRA *et al.* (2016), a internet das coisas é basicamente a troca de informações realizada de um dispositivo para outro, além da capacidade de analisar grande volume de dados.

Younus (2021) afirma que “o principal objetivo da IoT é diminuir a lacuna entre as operações de negócios do mundo real e sua representação nos sistemas de informações”. Esse fato permite que as tecnologias como RFID e redes de sensores sem fio colem dados precisos. Os dados coletados são utilizados para criar representações em tempo real de negócios e dos objetos associados dentro dos sistemas de informações.

2.2.1.2 *Big data*

De acordo com Rübmann *et al.* (2015), o *big data* pode ser definido como uma ferramenta utilizada para resolver problemas tradicionais na cadeia de valor através da utilização de recursos já existentes, como uma indústria com intenção de abertura de novos empreendimentos e de desenvolver sistemas de software com capacidade de manipular grandes volumes de dados.

Para kang *et al.* (2016), o *big data* é uma ferramenta capaz de utilizar os conjuntos de dados que são inadequados de serem utilizados por métodos tradicionais devido à sua ampla variedade, estrutura complexa e tamanho. Para a utilização desses dados são necessários sistemas técnicos e especiais, bem como metodologias tais como análise, captura, busca, compartilhamento, entre outros.

De acordo com Dalmarco *et al.* (2019) e Serazetdinova *et al.* (2019), o *big data* consegue interpretar, processar e analisar grandes quantidades de dados complexos provenientes de diversos setores, com o objetivo de gerar informações cruciais.

Dalmarco *et al.* (2019) e Serazetdinova *et al.* (2019) também afirmam que o *big data* consegue dar suporte na tomada de decisões baseado em dados e otimização de operações.

Bahrin *et al.* (2016) relatam que o *big data* se refere a dados provenientes de diversas fontes, que são analisados sistematicamente em tempo real, com o intuito de melhorar a qualidade de produção e as ferramentas, assim como os equipamentos através da manutenção preditiva. Com isso, ocorre o aumento da tomada de decisões e a flexibilidade na produção.

2.2.1.3 Computação em nuvem

Gao e Zhao (2011) afirmam que atualmente as empresas dependem de análise de dados em tempo real e de armazenamento de dados. A computação em nuvem auxilia no armazenamento de grandes volumes de dados em tempo real provenientes de diferentes fontes para fins de manufatura industrial.

De acordo com Dalmarco *et al.* (2019) e Serazetdinova *et al.* (2019), a computação em nuvem pode ser definida sendo uma rede de sistemas hospedados em servidores da internet. Dalmarco *et al.* (2019) e Serazetdinova *et al.* (2019) também afirmam que esse sistema possibilita o armazenamento e compartilhamento de dados de um modo rápido e seguro, e seu acesso pode ser realizado através de qualquer aparelho conectado a ele a qualquer instante.

A computação em nuvem desempenha um papel fundamental ao auxiliar os Sistemas Computacionais (SCs) na automatização e integração, proporcionando ainda facilidades no gerenciamento e administração (ERBOZ, 2017). Através dela é possível virtualizar recursos e serviços, combinando sistemas baseados em cliente/servidor. Existem três modelos de computação em nuvem: Software como Serviço (*SaaS*), onde o acesso depende da compra do cliente; Plataforma como Serviço (*PaaS*), onde os clientes podem acessar suas aplicações na nuvem como desenvolvedores de software e Infraestrutura como Serviço (*IaaS*) que oferece atividades básicas, como capacidades de armazenamentos (ERBOZ, 2017).

Para Vaidyaa, Ambad e Bhosle (2018), a computação em nuvem auxilia a conexão e compartilhamento de dispositivos de comunicação de uma empresa para outra. E de acordo com Silva e Olave (2020), a computação em nuvem são “Serviços orientados a dados armazenados

virtualmente em um único lugar, melhorando a performance de processamento, custo, tempo e eficiência nas comunicações”.

Rüßmann *et al.* (2015) afirmam que as empresas já estão utilizando a computação em nuvem, porém com a Indústria 4.0, ocorrerá a necessidade crescente de compartilhar dados entre diferentes locais e empresas. Rüßmann *et al.* (2015) relatam que desse modo, a computação em nuvem irá aumentar o seu desempenho alcançando tempos de reação de apenas alguns milissegundos e como resultado, dados e funcionalidades de máquinas serão cada vez mais implantados na nuvem, possibilitando mais serviços orientados por dados para sistemas de produção.

2.2.1.4 Inteligência artificial

Coelho (2019) afirma que a Inteligência Artificial (IA) é um domínio da ciência da computação que visa desenvolver ferramentas capazes de replicar a inteligência humana, abrangendo habilidades como raciocínio, percepção, tomada de decisões e resolução de problemas. Coelho (2019) relata que o avanço rápido da tecnologia da informação e da computação impulsiona significativamente esse campo científico, possibilitando a rápida integração de novos elementos à inteligência artificial. Para Schwab (2018), a inteligência artificial proporciona maior eficiência, reduz custos e “computadoriza” empregos.

De acordo com Sacomano *et al.* (2018), a inteligência artificial possui o objetivo de utilizar dispositivos ou métodos computacionais que possuam semelhança ao raciocínio humano, através de resoluções de problemas com a maior eficiência possível.

Segundo Teles (2017), uma das bases da Indústria 4.0 é o conceito de IA através do uso de robôs que aprendem com as atividades realizadas. A utilização da robótica oferta inúmeras vantagens, como, por exemplo, tornar as fábricas mais produtivas e autônomas.

Para Santos (2018), a inteligência artificial possui aplicação nos mais diversos setores da indústria e dos serviços, por algoritmos de aprendizagem de máquinas que evoluem rapidamente.

Ainda de acordo com Santos (2018), a IA quando integrada a outras tecnologias, possuirá o potencial de revolucionar o mundo dos negócios. Isso acontecerá devido ao fato de que essa integração permite combinar a inteligência humana e o discernimento humano com o trabalho incessante das máquinas, no qual essa combinação remete a cenários futuristas com humanoides ocupando postos de trabalhos desempenhados por seres humanos.

2.2.1.5 Manufatura digital

Para Porto *et al.* (2002), a melhoria do desempenho dos computadores proporciona as empresas a possibilidade de testar sistemas de produção de alta complexidade antes mesmo de serem implantados e através de simulação e modelagem as empresas podem otimizar seus custos produtivos.

Segundo Carli e Delamaro (2000), a manufatura digital possui ligação com os objetivos estratégicos da empresa e por meio de uma modelagem fundamentada em dados reais da empresa ocorre a conexão entre o design do produto e o planejamento dos processos de manufatura.

Conforme a Siemens (2022), “a manufatura digital é o uso de um sistema integrado, baseado em computador, que consiste em simulação, visualização 3D, análises e ferramentas de colaboração para criar definições de processos de manufatura e produto simultaneamente”.

2.2.1.6 *Machine-to-machine*

Palattella *et al.* (2013) afirmam que *Machine-to-machine (M2M)* pode ser definida como um conjunto de tecnologias que se comunicam e permitem a ação de um dispositivo por meio de um comando de outro dispositivo.

Segundo Glitho (2011), M2M possui origem no *Supervision Control And Data Acquisition (SCADA)* em meados dos anos 80. Com o tempo, novas tecnologias surgiram e aprimoraram esse tipo de comunicação, evoluindo para interações sem fio e ampliando suas aplicações em diversas áreas (GLITHO, 2011).

Nos últimos anos, a M2M mais utilizada é composta por sensores e atuadores, além de uma conexão de dados (SALLES, 2022). A arquitetura do M2M abrange quatro elementos fundamentais, sendo os requisitos necessários para ocorrer a interação, classificados em (SALLES, 2022):

- Funções de Medição de Dados: Envolve a coleta e interpretação de informações por meio de sensores, gerando dados cruciais.
- Comunicações: Refere-se à troca eficiente e precisa de informações entre dispositivos, facilitando a transmissão e recepção de dados.

- Gerenciamento de Funções: Engloba o controle e a coordenação das operações entre os dispositivos, assegurando a eficácia e a sincronização adequada das ações realizadas.
- Contexto: Estabelece o ambiente ou conjunto de circunstâncias em que as interações entre os dispositivos ocorrem, oferecendo um entendimento mais amplo e adaptável do cenário em que a tecnologia *M2M* é aplicada. Esses elementos formam a base para a implementação eficaz da interconexão *M2M* em diferentes contextos industriais e tecnológicos.

2.2.1.7 RFID

De acordo com Nassar e Vieira (2014), o *RFID* (*Radio Frequency Identification*) surgiu a partir da década de 1980 e opera como uma rede de identificação por rádio frequência, o seu alcance dependendo do chip utilizado.

Bao e Gang (2006) afirmam que o RFID (identificação por radiofrequência) é uma tecnologia utilizada rastrear e identificar objetos, com aplicação em diversos setores, como por exemplo, distribuição, varejo, armazenamento, entre outros.

De acordo com Duroc e Kaddour (2002), sua comunicação ocorre através de uma etiqueta com chip *RFID*, a chamada Tag RFID, que envia sinais a um leitor específico. A partir disso, um software é responsável pela conversão dos dados em informações significativas.

Para Nassar e Vieira (2014), o funcionamento de uma etiqueta *RFID* ocorre de dois modos: o modo ativo e modo passivo. No modo ativo, uma *tag* ativa é alimentada por uma bateria e consegue enviar dados a um leitor de forma autônoma; seu tamanho é maior em relação a *tag* passiva. No modo passivo, a corrente é fornecida pelo leitor, não possui bateria e o seu alcance de leitura é menor em relação a *tag* ativa.

De acordo com Fan et al. (2015), o *RFID* começou a ser considerada um dos elementos da *IoT*, com o objetivo de interconectar dispositivos em rede.

Ainda de acordo com Fan et al. (2015), a tecnologia de identificação por radiofrequência passou a ser vista com um dos elementos da *IoT* com o propósito de interconectar dispositivos em rede. E Zhu, Mukhopadhyay e Kurata (2011) relatam que a conexão de objetos físicos à internet possibilita a execução de forma coordenada determinadas atividades.

2.3 ROADMAP

O *roadmap* é uma estratégia corporativa que fornece inúmeras vantagens para as organizações, sendo uma abordagem que antecipa o futuro e estabelece conexões positivas em relação à identificação de oportunidades para novos empreendimentos (KAPPEL, 2001).

De acordo com Lin (2019), o *roadmap* consiste em uma metodologia de planejamento e gestão tecnológica que teve origem nas práticas empresariais, consiste em uma estrutura que facilita o aprimoramento de projetos, processos e produtos, promovendo uma colaboração intensiva entre especialistas de diferentes áreas em conjunto com seus stakeholders.

Kamtsiou *et al.* (2016) relata que o *roadmap* possibilita a formulação de estratégias e ações direcionadas ao futuro desejado, com foco na antecipação de mudanças tecnológicas e oportunidades emergentes de negócios. Serve como um guia que delinea a situação atual, as metas futuras e qual caminho seguir para alcançá-las, além de promover clareza nos processos e contribuir para a compreensão dos participantes nos projetos empresariais.

3 METODOLOGIA

De acordo com Rudio (1999 apud por HEERDT e LEONEL, 2007), “a pesquisa científica se diferencia de qualquer outra modalidade de pesquisa devido as suas técnicas, seu método, possuir foco na realidade empírica e pela forma de transmitir o conhecimento obtido”.

Yin (2001) afirma que o estudo de caso pode ser conduzido para um dos três propósitos: explorar, descrever ou explicar. Rauen (2002) classifica o estudo de caso pode em: estudos de casos histórico-organizacionais, estudos de casos observacionais, história de vida, estudo de caso comunitário, estudos de casos situacionais, estudos de casos microetnográficos, estudo comparativo de casos e multicaseos.

A presente pesquisa utiliza a estratégia de estudo de caso, especificamente o multicaseos que será discutido no capítulo 4 e está dividida em 4 partes.

Para o estudo de caso foram selecionados 9 cases e para essa seleção foi utilizado o pré-requisito de que os cases apresentassem a adoção de uma tecnologia no ramo da indústria. A tecnologia e o ramo da indústria dos casos não se limitavam a uma tecnologia ou indústria em específico, portanto, a sua seleção se tornou mais ampla. Após a seleção dos casos foi observado que as tecnologias adotadas se generalizavam em produtos fornecidos por empresas, portanto a citação destes será feita pelo termo produtos aplicados.

Foi realizada a análise dos casos em que foi possível a obtenção dos benefícios e resultados provenientes dos produtos aplicados. Com isso, foi realizado um levantamento desses dados juntamente com a verificação e levantamento das especificações de cada um dos produtos aplicados que foram obtidas através dos sites dos fornecedores.

Com esse levantamento foi possível realizar a correlação entre os benefícios provenientes dos produtos aplicados e as tecnologias habilitadoras.

Por fim, com os dados da correlação, foi possível a realização do *roadmap* da eficiência energética na indústria 4.0 no contexto das tecnologias habilitadoras.

As tecnologias habilitadoras descritas ao longo do presente estudo foram selecionadas devido as suas relevâncias na Indústria 4.0 e principalmente devido ao fato de que nas análises de cada caso foi notado que essas tecnologias habilitadoras estavam inseridas nos produtos utilizados dos casos. Cabe ressaltar que existem mais tecnologias habilitadoras na Indústria 4.0 e que a falta de citação das mesmas no presente trabalho não demonstra a falta de relevância delas na Indústria 4.0.

4 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso possui a finalidade de demonstrar como as tecnologias habilitadoras podem contribuir com a eficiência energética. Esse capítulo é dividido em 3 partes, sendo que na primeira parte é feita a contextualização dos 9 casos através da apresentação das empresas clientes, as empresas fornecedoras dos produtos aplicados, os produtos aplicados e os benefícios provenientes destes. Vale ressaltar que os casos não se limitam a casos provenientes de empresas oferecedoras de produtos aplicados, houve também a seleção de duas teses, porém ambas possuíam focos diferentes do presente trabalho.

Na segunda parte é feita uma análise de cada caso. Essa análise foi realizada levando em consideração diversos fatores, sendo eles os dados fornecidos pelos casos, as especificações dos produtos aplicados, os benefícios e resultados provenientes da utilização destes. Ao observar os benefícios dos produtos utilizados foi possível identificar similaridades destes com as características das tecnologias habilitadoras.

Devido às similaridades constatadas, na terceira parte foi realizada uma correlação entre os dados resultantes da análise com as características das tecnologias habilitadoras. Conseqüentemente, ao realizar essa correlação foi possível identificar quais tecnologias habilitadoras estavam inseridas nos produtos aplicados de cada caso. Portanto, a terceira parte é subdividida em duas partes, na primeira parte encontra-se a correlação realizada e na segunda parte encontra-se a identificação das tecnologias habilitadoras inseridas nos casos.

4.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DOS CASOS

Nesta seção, ocorre a contextualização dos 9 casos selecionados para as análises.

4.1.1 Caso 1

A Friato foi fundada em 1993 e não possuía nenhum tipo de automação, contando somente com termômetros de mercúrio instalados em todas as salas do frigorífico. O controle da temperatura era feito através de um operador que tinha que se deslocar de ambiente a ambiente e verificá-las, além de ser necessário se deslocar até o painel elétrico para ligar ou desligar a ventilação e subir até o forro do frigorífico para abrir ou fechar a válvula de líquido, equipamento que permite a passagem de amônia no sistema de modo a refrigerar mais o

ambiente. Devido a esse fato, a temperatura oscilava muito, atingindo valores diferentes daqueles considerados aceitáveis pelo Ministério do Trabalho (ELIPSE SOFTWARE, 2023).

Para solucionar esse problema, a empresa adotou o Software Elipse E3, fornecida pela empresa Elipse Software, como plataforma de supervisão e controle. Houve também a participação da empresa Império Automação na instalação e customização da aplicação do software neste projeto.

A plataforma começou a ser utilizada em 2015 e possibilitou o monitoramento das temperaturas e a execução de comandos sobre os equipamentos que integram o sistema de refrigeração do frigorífico remotamente. Com isso, não foi mais necessário o deslocamento dos operadores, pois estes podem acessar a plataforma de um único computador localizado na sala de máquinas (ELIPSE SOFTWARE, 2015).

4.1.2 Caso 2

A Carbonífera do Cambuí é uma empresa que se dedica à extração e venda de carvão mineral no interior do Paraná. As operações em uma mina envolvem diversas etapas que consomem grandes quantidades de energia elétrica, como a moagem do mineral, sua secagem e transporte. O carvão mineral desempenha um papel fundamental na indústria, sendo utilizado principalmente como fonte de energia (CUBI ENERGIA, 2022).

A empresa enfrentava o desafio de aumentar sua eficiência sem prejudicar a produção. Para superar esse obstáculo, a empresa decidiu colaborar com cinco startups para criar um projeto piloto, sendo a CUBi uma delas. A solução proposta pela CUBi foi a Plataforma de monitoramento inteligente para Gestão de Energia.

O processo de implementação teve uma duração de aproximadamente 33 dias, começando com uma análise inicial e modelagem detalhada dos processos industriais. O objetivo era entender cada etapa da indústria a fundo, identificando a melhor maneira pela qual a plataforma de gestão energética da CUBi poderia contribuir para o projeto.

Durante esse período, houve uma troca de informações detalhada, desde a extração do carvão até o momento da expedição do produto final. Em colaboração com a equipe de manutenção da Carbonífera, foram identificados os pontos cruciais para medição e monitoramento. Também foi determinado qual seria o formato mais adequado para visualização e acompanhamento desses dados, garantindo assim uma integração eficaz da solução na operação da empresa (CUBI ENERGIA, 2022).

O monitoramento de energia é realizado por medidores inteligentes instalados previamente na entrada de energia, setores produtivos ou até mesmo em máquinas chave do processo. As informações coletadas são transmitidas diretamente para a plataforma da CUBi, onde ficam acessíveis em tempo real na web. O monitoramento de energia também é capaz de encontrar oportunidades de economia da maneira automatizada (CUBI ENERGIA, 2023).

4.1.3 Caso 3

A WEG foi fundada em 1961 e é uma empresa global de equipamentos eletroeletrônicos, que se destaca em inovação pelo desenvolvimento constante de soluções para atender as grandes tendências voltadas a mobilidade elétrica, eficiência energética e energias renováveis e mobilidade (WEG, 2023).

Esse caso apresenta o monitoramento da condição de operação dos conjuntos de acionamento de um motor WEG e um redutor nº 900106501 do Metalúrgico III localizado em Guarimir e os produtos aplicados foram os sensores WEGscan100, o *WEG Motion Fleet Management (MFM)* e o *App WEG Digital Notify* (WEG, 2023).

Os sensores realizam a medição da vibração e temperaturas, enviando os dados para o MFM, possui também a função de configurar diversos alarmes, como os de dados globais e alarmes de bandas de frequências específica de falhas de bandas de velocidade, isso possibilita a detecção de anomalias (WEG, 2023a).

O MFM é utilizado para monitorar e elevar a disponibilidade da frota de acionamento industrial e sua tecnologia é baseada na tecnologia computação em nuvem. Através de sua utilização é possível conhecer o estado operacional dos equipamentos, esse fato possibilita o estabelecimento de planos de manutenção preditiva (WEG, 2023b).

O *App WEG Digital Notify* realiza a gestão de ativos industriais através de smartphone ou dispositivos que interagem com o mesmo enviando alertas (WEG, 2023).

4.1.4 Caso 4

O estudo de caso foi realizado em uma empresa multinacional em São Paulo, ela atua no setor automotivo sendo responsável pela manufatura e montagem de motores. Foi adotado o modelo de *Product Service System (PSS)* através de ferramentas de corte apoiado por

tecnologias de Indústria 4.0 (I4.0) no processo de usinagem de componentes de motor Diesel junto da aquisição de novas máquinas e equipamentos (LANZILOTTI, 2022).

4.1.5 Caso 5

A empresa Aperam BioEnergia foi fundada no Vale do Jequitinhonha na década de 70 e produz carvão vegetal via carbonização da madeira oriunda de florestas renováveis de eucalipto em Minas Gerais. A produção desse carvão libera muitos gases poluentes, então a empresa decidiu adquirir o Elipse E3 nas suas seis UPERs (Unidades de Produção de Energia Renovável) (ELIPSE SOFTWARE, 2023).

4.1.6 Caso 6

A Samarco é uma empresa que atua no segmento de mineração, e em busca de tornar seus processos mais sustentáveis contratou o SCADA EA da empresa Energia Automação para o monitoramento de seus 15 religadores. A Energia Automação é uma empresa que fornece soluções inteligentes e o SCADA EA é uma aplicação construída sobre as plataformas da Elipse Software (ENERGIA AUTOMACÃO, 2023).

4.1.7 Caso 7

Aplicação do ecossistema FIWARE no âmbito PURA-SP existente na Universidade de São Paulo. A arquitetura utilizada no segmento de tratamento e distribuição de água é composta por 5 camadas, nesse caso foi proposta uma nova arquitetura possuindo 3 camadas com a utilização das tecnologias habilitadoras (AZEVEDO, 2017).

4.1.8 Caso 8

Estudo de caso com dados coletados em documentos concedidos pela empresa e entrevista com dois membros da equipe que desenvolveu a plataforma AGILEAN.

O estudo de caso foi realizado em uma empresa de consultoria de Fortaleza, que tem desenvolvido e aplicado soluções melhoradas por TICs à indústria da construção, bem como a aplicação dos princípios Lean (CARNEIRO; CARNEIRO; CÂNDIDO, 2019).

A Agilean é uma empresa que fornece a plataforma de Gestão Integrada Lean com integrações via APIs ou transferência de arquivo com os principais ERPs e ferramentas voltadas para a indústria da construção civil, atuando para aumentar a produtividade no canteiro de obras e garantir automação dos processos de gestão da sua obra e suas soluções. A plataforma Agilean é composta por software, aplicativo e hardware e apresenta 6 funcionalidades, sendo elas a Agilean Andon, folha de pagamento, localização dos funcionários, medição de obra, qualidade e dashboard de resultados (AGILEAN, 2023).

4.1.9 Caso 9

A Docol foi fundada em 1956 em Jaraguá do Sul, sendo a maior exportadora de metais sanitários da América Latina. Com o intuito de alcançar eficiência econômica e sustentabilidade simultaneamente, contratou os produtos *WEG Energy Management* e a plataforma *IoT WEGnology* da WEG digital (DOCOL, 2023).

4.2 MINERAÇÃO DE DADOS

Nessa seção ocorre a mineração dos dados obtidos dos 9 casos, onde serão abordados os dados obtidos envolvendo os benefícios e resultados que os produtos aplicados proporcionaram em cada um dos casos juntamente com suas especificações que foram obtidos através de análises das especificações dos produtos. Essa análise foi realizada levando em consideração as informações que os fornecedores dos produtos aplicados fornecem sobre seus produtos em seus sites.

4.2.1 Caso 1

O Quadro 1 apresenta os dados obtidos através da mineração do caso 1, sendo eles os benefícios e resultados que o produto obtido proporcionou. Também apresenta a especificação do produto aplicado proveniente do site do fornecedor.

Quadro 1 – Dados obtidos do caso 1

Benefícios e resultados do produto aplicado
Computador com o software Elipse E3 e um <i>CLP</i> interligados por um switch.
As leituras das temperaturas são feitas por indicadores em rede <i>Modbus</i> e enviadas para o <i>CLP</i> que exerce comando sobre as válvulas e motores dos evaporadores.
As temperaturas de todos os ambientes podem ser controladas remotamente.
O monitoramento das temperaturas é realizado de forma macro e micro.
Os alarmes e alarmes assinalados pelo sistema podem ser monitorados.
Os status dos ventiladores podem ser monitorados por uma escala de cores, onde verde significa controle automático, laranja significa manual e vermelho significa com defeito. Esse monitoramento é mostrado através de uma animação.
As válvulas de líquido podem ser controladas, com a possibilidade de alterar a temperatura do ambiente para que se aproxime do <i>setpoint</i> , atuando sobre o ventilador e as válvulas.
Possui a função de gerar planilhas de acordo com o intervalo de tempo desejado. Essa função também possui a capacidade de registrar todas as ações atuais ou antigas que foram realizadas sobre o sistema de refrigeração da planta.
Possui a função de gerar relatórios, históricos e tabelas com a possibilidade de comparação através de gráficos das temperaturas assinaladas junto aos grupos de evaporadores das salas.
Todos os históricos e eventos podem ser visualizados e controlados com a função de filtrar o período desejado, além da função de impressão e envio por <i>e-mail</i> destas informações através de planilhas no formato <i>pdf</i> .
Visualização de relatórios.
Visualização do monitoramento das temperaturas de todos os ambientes.
Controle remoto das temperaturas de todos os ambientes.
Computador com software Elipse E3 e um <i>CLP</i> interligados por um switch.
Comunicação entre o <i>CLP</i> e os indicadores.
Visualização das variações das temperaturas assinaladas junto aos evaporadores de cada uma das salas via relatório, os quais também podem ser impressos e exportados em <i>pdf</i> .
O <i>CLP</i> exerce comando sobre as válvulas e motores dos evaporadores.
O <i>CLP</i> recebe as leituras das temperaturas feita por indicadores de cinco ambientes.
Possibilidade de impressão das planilhas em <i>pdf</i> e de sua exportação podendo ser utilizadas para análises das auditorias.

Fonte: Elaborada pela autora

4.2.2 Caso 2

O Quadro 2 apresenta os dados obtidos através da mineração do caso 2, sendo eles os benefícios e resultados que o produto obtido proporcionou. Também apresenta a especificação do produto aplicado proveniente do site do fornecedor.

Quadro 2 – Dados obtidos do caso 2

Benefícios e resultados do produto aplicado
As práticas de eficiência energética geraram uma economia de 48% de potencial.
Analisa a relação entre o consumo de energia elétrica e seu efeito na produção da Carbonífera, gerando informações detalhadas sobre esse contexto.
Possibilidade de 9 alertas automáticos visando informar sempre que algum processo sair das condições planejadas.
Várias oportunidades de economia e eficiência energética.
As medições envolvendo os dados de energia e produção são monitoradas pelos medidores inteligentes que foram instalados.
Comunicação entre os medidores inteligentes e a plataforma para a transmissão dos dados.
Instalação de medidores inteligentes para realizar medições dos dados de energia e produção.
O consumo de energia pode ser visualizado em tempo real.
Visualização de dados do consumo de energia elétrica e produção em tempo real.
Comunicação entre os medidores inteligentes e a plataforma da CUBi para a transmissão dos dados coletados.
Com os dados recebidos dos medidores inteligentes, o sistema da CUBi pode correlacionar e gerar informações contextuais do que estava sendo consumido de energia elétrica e de como impactava a sua produção.

Fonte: Elaborada pela autora

4.2.3 Caso 3

O Quadro 3 apresenta os dados obtidos através da mineração do caso 3, sendo eles os benefícios e resultados que o produto obtido proporcionou. Também apresenta a especificação do produto aplicado proveniente do site do fornecedor.

Quadro 3 – Dados obtidos do caso 3

Benefícios e resultados do produto aplicado
Ocorre a medição de vibração dos componentes e mancais do sistema de acionamento e das temperaturas através do <i>WEGscan100</i> . Os dados coletados são enviados para o <i>WEG Motion Fleet Management</i> .
Possui a função de configurar alarmes de bandas de frequências específicas de falhas de bandas de velocidade, aceleração e envelope, além de configurar alarmes de dados globais. As notificações de nível alerta e crítico são realizadas automaticamente via e-mail.
Possui o monitoramento da frota de acionamento industrial que ocasiona no aumento de sua disponibilidade.
Função de monitoramento e acompanhamento dos ativos, essa função pode ser acessada a qualquer momento e de qualquer local.
Possibilita a visualização do estado operacional e do monitoramento do redutor e do motor.
Planejamento de manutenção preditiva em função da condição operacional da frota. Com isso, o número de paradas não planejadas é reduzido.
Através de um smartphone ou dispositivos que interagem com o mesmo, é possível realizar a gestão de ativos, além da possibilidade de alterar seus status.
Possui a tecnologia que detecta antecipadamente as falhas no ativo monitorado através das medições dos sensores e algoritmos avançados. Possibilitando a detecção de anomalias que envolve falha no rolamento e desgastes de engrenagem.
Os dados coletados são utilizados para encontrar formas para melhorar os procedimentos, e com isso é proporcionado um melhor atendimento.
Os sensores detectaram mudanças no comportamento do redutor, enviando alarmes para notificar esse erro através do <i>App WEG Digital Notify</i> . Então, foram feitas análises dos dados coletados através das ferramentas proporcionadas pelo <i>Motion Fleet Management</i> e foi concluído que existia anomalias envolvendo o funcionamento do redutor. Devido a essa descoberta, foi possível realizar manutenções para corrigi-la, evitando assim que a falha evoluísse e causasse prejuízos elevados.
Os ativos podem ser visualizados através de mapas geográficos, navegação em múltiplos níveis e em árvore de ativos. O espectro de aceleração do eixo de entrada do redutor também pode ser visualizado.
Possui diversas formas para a realização de diagnóstico, os sinais de vibração podem ser analisados através do domínio do tempo e em modo espectral. Possui também a função <i>CMMS (computerized maintenance management system)</i> que possibilita a criação e gestão das ordens relacionadas a recursos de execução, planejamento e manutenção.
Possui a função de gráfico 3D, onde é possível realizar a comparação do aumento das frequências ao longo do tempo.
Os dados são processados na borda (<i>edge</i>) e na nuvem (<i>cloud</i>) proporcionando a realização de diagnósticos avançados.
Comunicação entre o <i>WEGscan100</i> e o <i>WEG Motion Fleet Management</i> para a transmissão dos dados obtidos.
A <i>WEG Motion Fleet Management</i> possui Módulos Exchange para integração (via REST API) de dados com outras plataformas e soluções.
Comunicação entre o <i>WEG Motion Fleet Management</i> e o <i>APP WEG Digital Notify</i> para a transmissão das notificações.
Visualização do monitoramento das engrenagens do redutor e visualização do monitoramento para elevar a disponibilidade da frota de acionamento industrial.
Relatórios de operação dos equipamentos, dos ativos e planta sob demanda e de modo periódico são feitas por meio da coleta periódica dos dados e um processamento avançado deles, tanto na borda (<i>edge</i>) como na nuvem (<i>cloud</i>), assim efetuando relatórios de operação dos equipamentos, ativos e planta sob demanda e de modo periódico.

Fonte: Elaborada pela autora

4.2.4 Caso 4

O Quadro 4 apresenta os dados obtidos através da mineração do caso 4, sendo eles os benefícios e resultados que o produto obtido proporcionou. Também apresenta a especificação do produto aplicado proveniente do site do fornecedor.

Quadro 4 – Dados obtidos do caso 4

Benefícios e resultados do produto aplicado
A instalação de chip com <i>RFID</i> em ferramentas possibilitou o armazenamento e fácil acesso a informações de <i>preset</i> , vida útil e identificação da ferramenta.
Os dados que estão armazenados no chip são enviados automaticamente para a máquina sem a necessidade de intervenção do operador.
Quando ocorre o término da vida útil da ferramenta de corte, a máquina para automaticamente, com isso ocorre a redução de problemas de qualidade do produto e quebras de ferramentas.
Ocorre o gerenciamento de 70% dos itens.
Capacidade de alocar mais de 600 itens como lâminas, machos, insertos e brocas.
Possui alta capacidade de armazenamento, gerenciamento de dados e as ordens de compras são emitidas automaticamente.
Houve a redução de R\$ 6.030.400,00 de custo operacional por ano ou R\$ 502.533,33 por mês
Foi realizada a implantação da reciclagem de metal duro quando o final de vida era atingido, gerando uma receita extra.
Ocasionou a redução de extração de matéria-prima virgem, além de promover a conservação do sistema.
Ocorreu a redução em diversos aspectos, como no tempo de reposição de estoque, custo de inventário e risco de parada de produção ocasionados pela falta de ferramenta.
Foram reciclados 602 kg de metal duro por ano, o que ocasionou a redução de extração do Tungstênio e Cobalto, ambos considerados materiais de metal escassos na natureza.
Levando em consideração a requisição de ferramentas, o processo tornou-se mais prático, pois elas serão registradas eletronicamente no sistema, então ele emite a nota fiscal, e por fim, o envia automaticamente ao cliente para que realize o acerto de contas semanalmente com o fornecedor.
Foi estabelecida uma quantidade mínima de ferramentas em estoque para cada item, para evitar que aconteça a falta de ferramentas. Quando essa quantidade mínima é atingida, o sistema gera e envia um pedido de compras para a fábrica fornecedora de forma automática.
Comunicação realizada entre o chip de <i>RFID</i> e as máquinas.
Comunicação realizada entre as máquinas e as ferramentas.
Visualização dos dados armazenados no chip de <i>RFID</i> .

Fonte: Elaborada pela autora

4.2.5 Caso 5

O Quadro 5 apresenta os dados obtidos através da mineração do caso 5, sendo eles os benefícios e resultados que o produto obtido proporcionou. Também apresenta a especificação do produto aplicado proveniente do site do fornecedor.

Quadro 5 – Dados obtidos do caso 5

Benefícios e resultados do produto aplicado
Ocorre o monitoramento e visualização de todas as temperaturas de resfriamento e carbonização.
As oscilações das temperaturas podem ser acompanhadas através de gráficos.
Possui o pacote tecnológico em todas as suas plantas, incluindo queimadores responsáveis por incinerar os gases de carbonização. Isso resulta na redução das emissões desses gases, promovendo a sustentabilidade.
Ocorre a exibição de diversos fatores, sendo eles, o momento ideal para que ocorra a descarga através do acompanhamento da curva de resfriamento, o percentual relativo ao índice O.E.E. de performance dos fornos e dos tempos de carbonização e os alarmes.
Possui a função de executar comandos sobre as válvulas e vedações, proporcionando em um melhor controle das oscilações das temperaturas conforme a necessidade.
Ocorre maior controle da eficiência nos processos de resfriamento e carbonização, resultando em maior rendimento e qualidade da produção.
A produção apresentou rendimentos gravimétricos na faixa de 38% a 39%.
Promoveu a padronização dos procedimentos de carbonização.
Aprimoramento da gestão de riscos.
Diminuição dos gastos relacionados à manutenção dos dutos, queimadores e fornos.
Diminuição das emissões de gases quando comparada às usinas que não possuem um software para controle de temperatura.
Diminuição de ocorrências de fogo ou incêndio, resultando em um ambiente mais seguro.
Transferência de trabalhadores capacitados para monitorar e controlar todas as operações por meio do software Elipse na sala de controle.
Permite a visualização da quantidade de fornos que estão resfriando e carbonizando.
Conexão realizada entre o dispositivo de medição de temperatura e o Elipse E3.
Conexão realizada entre o Elipse E3 com as vedações e válvulas.
Possui recurso que proporciona a criação de objetos gráficos para serem utilizados em telas e consoles de operação.
Possui o recurso de criação de qualquer tipo de interface de operação e visualização, esse recurso conta com uma qualidade gráfica vetorial superior.
Dados do monitoramento de todas as temperaturas de resfriamento e carbonização.
Comunicação realizada entre o <i>CLP</i> e os indicadores para a medição das temperaturas.
Comunicação entre o <i>CLP</i> e um computador com o Elipse E3 interligados por um switch.
Sistema de alarmes e eventos.
Dados de monitoramento das temperaturas, alarmes e o percentual relativo ao índice O.E.E de performance dos fornos e os tempos de carbonização.

Fonte: Elaborada pela autora

4.2.6 Caso 6

O Quadro 6 apresenta os dados obtidos através da mineração do caso 6, sendo eles os benefícios e resultados que o produto obtido proporcionou. Também apresenta a especificação do produto aplicado proveniente do site do fornecedor.

Quadro 6 – Dados obtidos do caso 6

Benefícios e resultados do produto aplicado
Ocorre o monitoramento remoto de 15 religadores em tempo real.
A rede de distribuição de energia é controlada remotamente e de forma mais macro.
A condição das baterias de cada religador e seus dados (aberto ou fechado) é disponibilizada pelo software através de um sistema de alarmes. Portanto, se ocorrer de um religador falhar, esse problema é sinalizado e comunicado através de suas telas.
Ocorre o monitoramento das correntes, fatores de potência tensões e potências.
Os religadores podem ser controlados na central de monitoramento, proporcionando maior segurança aos técnicos, pois não têm mais a necessidade de atuarem em zonas de difícil acesso.
Acompanhamento dos religadores por meio de relatórios diários, permitindo a visualização em tempo real de todas as atividades realizadas pelos operadores em cada religador.
Acompanhamento dos religadores por meio de registros históricos, permitindo o acompanhamento dos alarmes, status (aberto ou fechado) e estado das baterias dos religadores em qualquer intervalo de tempo desejado.
O controle e resolução de falhas envolvendo os religadores foi agilizado em 96%.
Proporcionou aos operadores uma tomada de decisões mais assertivas e coordenadas.
Aumento da eficiência e confiança na rede de distribuição de energia.
Dados relativos das correntes, potências, tensões e fatores de potência.
Visualização do monitoramento das correntes, potências, fatores de potência e tensões.
Visualização do monitoramento remoto dos religadores via relatórios de atividades diárias e via históricos.
Visualização do sistema de alarmes e o software relata a condição das baterias de cada religador e seus dados.
Comunicação entre o CLP e os indicadores para medição da temperatura.
Comunicação entre o CLP e um computador com o Elipse E3 interligados por um switch.

Fonte: Elaborada pela autora

4.2.7 Caso 7

O Quadro 7 apresenta os dados obtidos através da mineração do caso 7, sendo eles os benefícios e resultados que o produto obtido proporcionou. Também apresenta a especificação do produto aplicado proveniente do site do fornecedor.

Quadro 7 – Dados obtidos do caso 7

Benefícios e resultados do produto aplicado
Os dados envolvendo os históricos dos sensores possuem armazenamento na nuvem e esses dados podem ser combinados ou comparados com outras bases para orientar decisões estratégicas.
As leituras dos medidores de água foram melhoradas.
Capacidade de simulação comportamental sem afetar o ambiente real e os produtos.
Ocorreu a automatização de toda a tomada de decisões.
Proporcionou a integração de inúmeros fabricantes e componentes sem a necessidade de que estejam relacionados à água como por exemplo, a indústria e o governo.
Os dados dos históricos são utilizados na prevenção de necessidades para satisfazer as necessidades da demanda.
Gerenciamento e controle da planta em qualquer lugar por meio de processos automatizados.
Por meio da dashboards é possível aumentar a visibilidade das instalações, resultando no aprimoramento do desempenho e da análise de dados.
Em relação aos eventos climáticos, possibilitou a utilização de dados sobre eles para prevenir as mudanças na disponibilidade ou necessidades de recursos.
Automatização de toda tomada de decisão na planta de tratamento de água.
Possibilitou a identificação de perdas e qualidade da água.
Utilização de dados para promover melhorias nos procedimentos e proporcionar um melhor atendimento aos usuários.
Visualização de dados em tempo real sobre os eventos climáticos.
Visualização do acompanhamento online de todo o consumo e demais informações que forem necessárias.
A partir de um local remoto, é possível gerenciar a planta e ter o controle e uso definido por processos automatizados.
Armazenamento na nuvem de dados do histórico dos sensores.
Utilização dos dados para encontrar formas de melhorar os procedimentos visando um melhor atendimento aos cidadãos.
Visualização do consumo online através da <i>dashboard</i> .
A comunicação realizada entre os equipamentos <i>IoT</i> e os sensores são registradas na <i>dashboard</i> para o acompanhamento online de todo o consumo e outras informações que forem necessárias.

Fonte: Elaborada pela autora

4.2.8 Caso 8

O Quadro 8 apresenta os dados obtidos através da mineração do caso 8, sendo eles os benefícios e resultados que o produto obtido proporcionou. Também apresenta a especificação do produto aplicado proveniente do site do fornecedor.

Quadro 8 – Dados obtidos do caso 8

Benefícios e resultados do produto aplicado
Notificar os gestores sobre as obras através de status dos serviços (iminência de parada, parada e em execução).
Com a implementação da tecnologia RFID foi obtido o controle e monitoramento dos trabalhos realizados. A tecnologia RFID é implantada no cartão de identificação de cada operário, isso possibilita a identificação de cada funcionário, também permite registrar os tempos de paralização.
Proporcionou a gestão de paralizações.
Os status dos serviços (iminência de parada, em execução e parada) podem ser visualizado.
Avaliação da eficiência dos colaboradores com base na análise dos períodos de inatividade.
Os resultados são apresentados em tempo real na forma de dashboards interativos.
Proporcionou a verificação de qualidade dos serviços e a conexão entre folha de pagamento.
Possui a função de envio de alertas via SMS para os celulares cadastrados no sistema.
Conexão entre a folha de pagamento e verificação de qualidade dos serviços.
Através de uma dashboard é apresentado os indicadores relacionados à eficiência do sistema produtivo gerados pelo fluxo de valor monitorado.
Visualização do fluxo de valor monitorado.
Conexão entre folha de pagamento e verificação de qualidade dos serviços.
Com todo o fluxo de valor monitorado é possível gerar indicadores relacionados à eficiência do sistema produtivo que são apresentados em um dashboard.

Fonte: Elaborada pela autora

4.2.9 Caso 9

O Quadro 9 apresenta os dados obtidos através da mineração do caso 9, sendo eles os benefícios e resultados que o produto obtido proporcionou. Também apresenta a especificação do produto aplicado proveniente do site do fornecedor.

Quadro 9 – Dados obtidos do caso 9

Benefícios e resultados do produto fornecido aplicado
Visualização online do monitoramento de grandezas elétricas.
Visualização de informações assertivas para o planejamento de manutenção preditiva.
Distribuição dos gastos de recursos de acordo com cada setor de despesa.
Assistência no processo de decisão para viabilização de projetos voltados para a eficiência energética.
Estimula o uso sustentável e consciente de recursos.
Realiza assistência na implementação de planos que visem redução de despesas e programas de gestão de energia.
Possui compatibilidade com diferentes sistemas e plataformas.
Possui a função “ <i>drag and drop</i> ”, ela acelera e facilita o desenvolvimento de soluções de <i>IoT</i> , além de agilizar as adaptações e ajustes.
As dashboards são customizáveis.
Possui modelagem estatística, simulação numérica, <i>machine learning</i> por meio da aplicação de Jupyter Notebooks, transformação e tratamento de dados.
Geração de relatórios que detalham a distribuição dos custos de consumo.
Possui os Módulos <i>Specialist</i> que possuem Inteligência artificial e <i>Analytics</i> para a realização de diagnóstico autônomos de falhas.
Dados de emissão de carbono equivalente (CO ₂ e) para visualização em perfil da medição completa da planta, utilizando dados consolidados de energia elétrica (consumo ativo) para a conversão, nessa funcionalidade tem as seguintes funções: consumo total em kWh, emissão total de CO ₂ e (carbono equivalente), tendência das emissões em relação ao período anterior, conversão de CO ₂ e para carbono sequestrado por árvores cultivadas por 10 anos, conversão de CO ₂ e para emissões de veículos de passageiros movidos a gasolina por um ano, gráfico de pizza com o percentual de cada unidade de consumo, gráfico de barras com o montante em kWh de CO ₂ e de cada unidade de consumo e <i>Heatmap</i> das emissões totais.
Dados coletados através de dispositivos de medição de energia e utilidades são transformados em informações para gestão e monitoramento do uso desses recursos.
Ocorre a coleta de dados provenientes de dispositivos de medição de utilidades e energia.
Possibilidade de visualização dos consumos de utilidades.
Monitoramento da emissão de carbono equivalente (CO ₂ e) para visualização em perfil da medição completa da planta, utilizando dados consolidados de energia elétrica (consumo ativo) para a conversão, nessa funcionalidade tem as seguintes funções: consumo total em kWh, emissão total de CO ₂ e (carbono equivalente), tendência das emissões em relação ao período anterior, conversão de CO ₂ e para carbono sequestrado por árvores cultivadas por 10 anos, conversão de CO ₂ e para emissões de veículos de passageiros movidos a gasolina por um ano, gráfico de pizza com o percentual de cada unidade de consumo, gráfico de barras com o montante em kWh de CO ₂ e de cada unidade de consumo e <i>Heatmap</i> das emissões totais.
Monitoramento do consumo de utilidades, onde apresenta o resumo da última leitura de vazão realizada, o consumo acumulado no dia e consumo acumulado no mês e a visualização geral do Medidor que apresenta informações do equipamento utilizado no ponto de medição, resumo sobre as últimas medições consolidadas e gráficos do consumo histórico com possibilidade de projeção de consumo.
A plataforma <i>IoT WEGnology</i> promove flexibilidade e adaptabilidade para customizar o monitoramento e obter informações atualizadas e disponíveis em cloud para acesso de qualquer lugar e a qualquer momento.
Visualização dos gastos do consumo de cada medição realizada.
Visualização do consumo de utilidades, mostrando o resumo da última leitura de vazão realizada, o consumo acumulado no dia e consumo acumulado no mês e a visualização geral do Medidor que apresenta informações do equipamento utilizado no ponto de medição, resumo sobre as últimas medições consolidadas e gráficos do consumo histórico com possibilidade de projeção de consumo.
Visualização da emissão de carbono equivalente (CO ₂ e) mostrando o perfil de medição completa da planta.
Relatórios de rateio de consumo dos gastos para cada medição, fornece também informações consolidadas em forma de tabela e gráfico.
A <i>WEG Energy Management</i> pode ser integrada com outras plataformas.
Conexão entre dispositivos de medição de energia e utilidades que coletam dados e os transmitem para a plataforma <i>IoT WEGnology</i> , sendo que este transforma esses dados transmitidos em informações para gestão e monitoramento do uso desses recursos.
Conexão entre dispositivos de medição de energia e utilidades que coletam dados e os transmitem para o <i>WEG Energy Management</i> para melhor entendimento da grande quantidade de dados provenientes desses dispositivos.
Promove o uso consciente e sustentável dos recursos e auxilia na tomada de decisão para viabilizar projetos de eficiência energética.

Fonte: Elaborada pela autora

4.3 CORRELAÇÃO ENTRE OS BENEFÍCIOS DOS PRODUTOS APLICADOS E AS TECNOLOGIAS HABILITADORAS

De posse dos dados provenientes da seção 4.2 e as características e funcionalidades das tecnologias habilitadoras, foi possível realizar a correlação entre as tecnologias habilitadoras e os benefícios dos produtos aplicados.

4.3.1 Caso 1

O Quadro 10 apresenta a correlação entre as tecnologias habilitadoras e os benefícios do produto aplicado do caso 1.

Quadro 10 – Correlação entre as tecnologias habilitadoras e os benefícios do produto aplicado no caso 1

Tecnologias habilitadoras	Benefícios do produto aplicado
Computação em nuvem	Visualização das variações das temperaturas assinaladas junto aos evaporadores de cada uma das salas via relatório, os quais também podem ser impressos e exportados em <i>pdf</i> . Todos os históricos e eventos podem ser visualizados e controlados com a função de filtrar o período desejado, além da função de impressão e envio por e-mail destas informações através de planilhas no formato <i>pdf</i> . Visualização de relatórios. Visualização do monitoramento das temperaturas de todos os ambientes.
Inteligência artificial	O <i>CLP</i> exerce comando sobre as válvulas e motores dos evaporadores.
Internet das coisas	As leituras das temperaturas são feitas por indicadores em rede Modbus e enviadas para o <i>CLP</i> que exerce comando sobre as válvulas e motores dos evaporadores.
Manufatura digital	Os status dos ventiladores podem ser monitorados por uma escala de cores, onde verde significa controle automático, laranja significa manual e vermelho significa com defeito. Esse monitoramento é mostrado através de uma animação.
<i>Big data</i>	<i>CLP</i> recebe leituras das temperaturas feita por indicadores de cinco ambiente do frigorífico. Dados dos eventos, históricos, relatórios, monitoramento dos alarmes, monitoramento das temperaturas de todos os ambientes.
<i>Machine-to-machine</i>	Comunicação do computador com o software Elipse E3 e um <i>CLP</i> interligados por um switch. Comunicação entre o <i>CLP</i> e os indicadores.

Fonte: Elaborada pela autora

4.3.2 Caso 2

O Quadro 11 apresenta a correlação entre as tecnologias habilitadoras e os benefícios do produto aplicado do caso 2.

Quadro 11 – Correlação entre as tecnologias habilitadoras e os benefícios do produto aplicado no caso 2

Tecnologias habilitadoras	Benefícios do produto aplicado
Computação em nuvem	Visualização de dados do consumo de energia elétrica e produção em tempo real.
Inteligência artificial	Analisar a relação entre o consumo de energia elétrica e seu efeito na produção da Carbonífera, gerando informações detalhadas sobre esse contexto. Possibilidade de 9 alertas automáticos visando informar sempre que algum processo sair das condições planejadas.
Internet das coisas	Instalação de medidores inteligentes para realizar medições dos dados de energia e produção.
<i>Big data</i>	Com os dados recebidos dos medidores inteligentes, o sistema da CUBi pode correlacionar e gerar informações contextuais do que estava sendo consumido de energia elétrica e de como impactava na produção da Carbonífera.
<i>Machine-to-machine</i>	Comunicação entre os medidores inteligentes e a plataforma da CUBi para a transmissão dos dados coletados.

Fonte: Elaborada pela autora

4.3.3 Caso 3

O Quadro 12 apresenta a correlação entre as tecnologias habilitadoras e os benefícios do produto aplicado do caso 3.

Quadro 12 – Correlação entre as tecnologias habilitadoras e os benefícios do produto aplicado no caso 3

Tecnologias habilitadoras	Benefícios do produto aplicado
Internet das coisas	<p>Ocorre a medição de vibração dos componentes e mancais do sistema de acionamento e das temperaturas através do <i>WEGscan100</i>. Os dados coletados são enviados para o <i>WEG Motion Fleet Management</i>.</p> <p>Monitorar e elevar a disponibilidade da frota de acionamento industrial. Função de monitoramento e acompanhamento dos ativos, essa função pode ser acessada a qualquer momento e de qualquer local.</p>
Manufatura digital	<p>Os ativos podem ser visualizados através de mapas geográficos, navegação em múltiplos níveis e em árvore de ativos.</p> <p>Possui diversas formas para a realização de diagnóstico, os sinais de vibração podem ser analisados através do domínio do tempo e em modo espectral.</p> <p>Possui a função de gráfico 3D, onde é possível realizar a comparação do aumento das frequências ao longo do tempo. O espectro de aceleração do eixo de entrada do redutor por ser visualizado.</p>
Computação em nuvem	<p>Função de monitoramento e acompanhamento dos ativos, essa função pode ser acessada a qualquer momento e de qualquer local. Através de um smartphone ou dispositivos que interagem com o mesmo, é possível realizar a gestão de ativos, além da possibilidade de alterar seus <i>status</i>.</p> <p>Possibilita a visualização do estado operacional e do monitoramento do redutor e do motor.</p> <p>Visualização do monitoramento das engrenagens do redutor.</p> <p>Visualização do espectro de aceleração do eixo de entrada do redutor por ser visualizado. Visualizar o monitoramento e elevar a disponibilidade da frota de acionamento industrial.</p>
Inteligência artificial	<p>Relatórios de operação dos equipamentos, dos ativos e planta sob demanda e de modo periódico são feitas por meio da coleta periódica dos dados e um processamento avançado deles, tanto na borda (<i>edge</i>) como na nuvem (<i>cloud</i>), assim efetuando relatórios de operação dos equipamentos, ativos e planta sob demanda e de modo periódico.</p> <p>Possui a função de configurar alarmes de bandas de frequências específicas de falhas de bandas de velocidade, aceleração e envelope, além de configurar alarmes de dados globais. As notificações de nível alerta e crítico são realizadas automaticamente via e-mail.</p> <p>Possui a função <i>CMMS</i> (<i>computerized maintenance management system</i>) que possibilita a criação e gestão das ordens relacionadas a recursos de execução, planejamento e manutenção. Possui a tecnologia que detecta antecipadamente as falhas no ativo monitorado através das medições dos sensores e algoritmos avançados. Possibilitando a detecção de anomalias que envolve falha no rolamento e desgastes de engrenagem.</p>
<i>Big data</i>	Os dados são processados na borda (<i>edge</i>) e na nuvem (<i>cloud</i>) proporcionando a realização de diagnósticos avançados.
<i>Machine-to-machine</i>	Comunicação entre o <i>WEGscan100</i> e o <i>WEG Motion Fleet Management</i> para a transmissão dos dados obtidos. Comunicação entre o <i>WEG Motion Fleet Management</i> e o <i>APP WEG Digital Notify</i> para a transmissão das notificações. A <i>WEG Motion Fleet Management</i> possui Módulos Exchange para integração (via REST API) de dados com outras plataformas e soluções.

Fonte: Elaborada pela autora

4.3.4 Caso 4

O Quadro 13 apresenta a correlação entre as tecnologias habilitadoras e os benefícios do produto aplicado do caso 4.

Quadro 13 – Correlação entre as tecnologias habilitadoras e os benefícios do produto aplicado no caso 4

Tecnologias habilitadoras	Benefícios do produto aplicado
<i>Big data</i>	<p>Possui alta capacidade de armazenamento, gerenciamento de dados e as ordens de compras são emitidas automaticamente.</p> <p>Ocorre o gerenciamento de 70% dos itens.</p> <p>Capacidade de alocar mais de 600 itens como lâminas, machos, insertos e brocas.</p>
Internet das coisas	Dados armazenados no chip são transferidos automaticamente para a máquina sem a intervenção do operador.
Inteligência artificial	<p>Levando em consideração a requisição de ferramentas, o processo tornou-se mais prático, pois elas serão registradas eletronicamente no sistema, então ele emite a nota fiscal, e por fim, o envia automaticamente ao cliente para que realize o acerto de contas semanalmente com o fornecedor.</p> <p>Quando ocorre o término da vida útil da ferramenta de corte, a máquina para automaticamente, com isso ocorre a redução de problemas de qualidade do produto e quebras de ferramentas.</p> <p>Foi estabelecida uma quantidade mínima de ferramentas em estoque para cada item, para evitar que aconteça a falta de ferramentas. Quando essa quantidade mínima é atingida, o sistema gera e envia um pedido de compras para a fábrica fornecedora de forma automática.</p>
<i>RFID</i>	<p>A instalação de chip com <i>RFID</i> em ferramentas possibilitou o armazenamento e fácil acesso a informações de <i>preset</i>, vida útil e identificação da ferramenta.</p> <p>Os dados que estão armazenados no chip são enviados automaticamente para a máquina sem a necessidade de intervenção do operador.</p>
<i>Machine-to-machine</i>	<p>Comunicação realizada entre o chip de <i>RFID</i> e as máquinas.</p> <p>Comunicação realizada entre as máquinas e as ferramentas.</p>
Computação em nuvem	<p>Visualização dos dados armazenados no chip de <i>RFID</i>.</p> <p>Possui alta capacidade de armazenamento, gerenciamento de dados e as ordens de compras são emitidas automaticamente.</p>

Fonte: Elaborada pela autora

4.3.5 Caso 5

O Quadro 14 apresenta a correlação entre as tecnologias habilitadoras e os benefícios do produto aplicado do caso 5.

Quadro 14 – Correlação entre as tecnologias habilitadoras e os benefícios do produto aplicado no caso 5

Tecnologias habilitadoras	Benefícios do produto aplicado
Internet das coisas	Monitoramento de todas as temperaturas de carbonização e resfriamento nos fornos para produção de carvão vegetal através de indicadores.
Computação em nuvem	<p>Dados do monitoramento de todas as temperaturas de resfriamento e carbonização.</p> <p>Visualização da quantidade de fornos que estão carbonizando e resfriando.</p> <p>Acompanhar graficamente as oscilações das temperaturas nas fases endo e exotérmica, etapas inicial e final de carbonização.</p> <p>Ocorre a exibição de diversos fatores, sendo eles, o momento ideal para que ocorra a descarga através do acompanhamento da curva de resfriamento, o percentual relativo ao índice O.E.E. de performance dos fornos e dos tempos de carbonização e os alarmes.</p>
Manufatura digital	<p>Possui o pacote tecnológico em todas as suas plantas, incluindo queimadores responsáveis por incinerar os gases de carbonização. Isso resulta na redução das emissões desses gases, promovendo a sustentabilidade.</p> <p>Possui o recurso de criação de qualquer tipo de interface de operação e visualização, esse recurso conta com uma qualidade gráfica vetorial superior.</p> <p>Possui recurso que proporciona a criação de objetos gráficos para serem utilizados em telas e consoles de operação.</p> <p>Desenvolvimento de interfaces de visualização e operação de alta qualidade, utilizando gráficos vetoriais superiores.</p>
Inteligência artificial	<p>Possui a função de executar comandos sobre as válvulas e vedações, proporcionando em um melhor controle das oscilações das temperaturas conforme a necessidade.</p> <p>Sistema de alarmes e eventos. Funcionalidades como supressão, <i>shelving</i> e classificação dinâmica.</p>
<i>Big data</i>	<p>Dados de monitoramento das temperaturas, alarmes e o percentual relativo ao índice O.E.E de performance dos fornos e os tempos de carbonização.</p> <p>Promoveu a padronização dos procedimentos de carbonização.</p> <p>Dados das oscilações das temperaturas de carbonização e resfriamento.</p>
<i>Machine-to-machine</i>	<p>Comunicação entre o <i>CLP</i> e um computador com o Elipse E3 interligados por um switch.</p> <p>Comunicação realizada entre o <i>CLP</i> e os indicadores para a medição das temperaturas.</p> <p>Conexão realizada entre o Elipse E3 com as vedações e válvulas.</p> <p>Conexão realizada entre o dispositivo de medição de temperatura e o Elipse E3.</p>

Fonte: Elaborada pela autora

4.3.6 Caso 6

O Quadro 15 apresenta a correlação entre as tecnologias habilitadoras e os benefícios do produto aplicado do caso 6.

Quadro 15 – Correlação entre as tecnologias habilitadoras e os benefícios do produto aplicado no caso 6

Tecnologias habilitadoras	Benefícios do produto aplicado
Internet das coisas	<p>Ocorre o monitoramento remoto de 15 religadores em tempo real.</p> <p>Monitoramento das tensões, correntes, potências (ativas e reativas), fatores de potência e distâncias de faltas, ou seja, a distância do problema para o religador que foi acionado ou aberto para isolá-lo.</p>
Inteligência artificial	<p>Controle dos religadores via a central de monitoramento sem a necessidade de que os técnicos atuarem em zonas de difícil acesso.</p> <p>A rede de distribuição de energia é controlada remotamente e de forma mais macro.</p>
<i>Big data</i>	Dados relativos das correntes, potências, tensões e fatores de potência.
Computação em nuvem	<p>Visualização do monitoramento das correntes, potências, fatores de potência e tensões.</p> <p>Ocorre o monitoramento remoto de 15 religadores em tempo real.</p> <p>Visualização do sistema de alarmes e o software relata a condição das baterias de cada religador e seus dados.</p> <p>Acompanhamento dos religadores por meio de relatórios diários, permitindo a visualização em tempo real de todas as atividades realizadas pelos operadores em cada religador.</p> <p>Acompanhamento dos religadores por meio de registros históricos, permitindo o acompanhamento dos alarmes, <i>status</i> (aberto ou fechado) e estado das baterias dos religadores em qualquer intervalo de tempo desejado.</p> <p>A condição das baterias de cada religador e seus dados (aberto ou fechado) é disponibilizada pelo software através de um sistema de alarmes. Portanto, se ocorrer de um religador falhar, esse problema é sinalizado e comunicado através de suas telas.</p>
<i>Machine-to-machine</i>	<p>Comunicação entre o <i>CLP</i> e os indicadores para medição da temperatura.</p> <p>Comunicação entre o <i>CLP</i> e um computador com o E3 interligados por um switch.</p>

Fonte: Elaborada pela autora

4.3.7 Caso 7

O Quadro 16 apresenta a correlação entre as tecnologias habilitadoras e os benefícios do produto aplicado do caso 7.

Quadro 16 – Correlação entre as tecnologias habilitadoras e os benefícios do produto aplicado no caso 7

Tecnologias habilitadoras	Benefícios do produto aplicado
Computação em nuvem	<p>Visualização do acompanhamento online de todo o consumo e demais informações que forem necessárias (temperatura, localização, condição climática etc.).</p> <p>Visualização do consumo online através da <i>dashboard</i>. Visualização de dados dos históricos. Armazenamento na nuvem de dados de históricos dos sensores (não se limitando somente aos dados na camada de sensores). Esses dados podem ser integrados ou confrontados com outras bases para tomada de decisão.</p> <p>Visualização de dados em tempo real sobre eventos climáticos para antecipar as mudanças na disponibilidade ou necessidades de recursos. Utilização dos dados para descobrir melhorias nos procedimentos e, assim, proporcionar um melhor atendimento aos cidadãos. A comunicação realizada entre os equipamentos <i>IoT</i> e os sensores são registradas no <i>dashboard</i>, para que assim tenha o acompanhamento online de todo o consumo e demais informações que forem necessárias.</p>
Inteligência artificial	<p>Gerenciamento e controle da planta em qualquer lugar por meio de processos automatizados.</p> <p>Ocorreu a automatização de toda a tomada de decisões.</p> <p>Os dados dos históricos são utilizados na prevenção de necessidades para satisfazer as necessidades da demanda. As leituras dos medidores de água foram melhoradas.</p>
<i>Machine-to-machine</i>	<p>Proporcionou a integração de inúmeros fabricantes e componentes sem a necessidade de que estejam relacionados à água como por exemplo, a indústria e o governo.</p> <p>Comunicação entre os equipamentos <i>IoT</i> para água com uma série de sensores utilizados para o controle da água.</p> <p>A comunicação realizada entre os equipamentos <i>IoT</i> e os sensores são registradas na <i>dashboard</i> para o acompanhamento online de todo o consumo e outras informações que forem necessárias.</p>
Internet das coisas	<p>Integração dos mais diversos componentes e fabricantes, pois trata-se de uma arquitetura aberta com protocolo de comunicação igualmente aberto.</p> <p>Melhoria na precisão das leituras dos medidores de água e com maior frequência.</p> <p>Comunicação entre os equipamentos <i>IoT</i> para água com uma série de sensores utilizados para o controle da água.</p>
Manufatura digital	<p>Possibilidade de simulação comportamental sem comprometer o ambiente real e produtos. Através do uso de <i>dashboards</i> é possível aumentar a visibilidade das instalações de ativos e melhorar o desempenho e análise de dados.</p>
<i>Big data</i>	<p>Os dados dos históricos são utilizados na prevenção de necessidades para satisfazer as necessidades da demanda.</p> <p>Utilização de dados em tempo real sobre eventos climáticos para antecipar as mudanças na disponibilidade ou necessidades de recursos.</p>

Fonte: Elaborada pela autora

4.3.8 Caso 8

O Quadro 17 apresenta a correlação entre as tecnologias habilitadoras e os benefícios do produto aplicado do caso 8.

Quadro 17 – Correlação entre as tecnologias habilitadoras e os benefícios do produto aplicado no caso 8

Tecnologias habilitadoras	Benefícios do produto aplicado
<i>RFID</i>	<p>Com a implementação da tecnologia <i>RFID</i> foi obtido o controle e monitoramento dos trabalhos realizados.</p> <p>A tecnologia <i>RFID</i> é implantada no cartão de identificação de cada operário, isso possibilita a identificação de cada funcionário, também permite registrar os tempos de paralização.</p> <p>Proporcionou a gestão de paralizações.</p>
Internet das coisas	Aferição da produtividade dos funcionários baseado nos tempos de parada.
<i>Big data</i>	<p>Apresentação dos resultados em forma de dashboards interativos atualizados em tempo real.</p> <p>Com a implementação da tecnologia <i>RFID</i> foi obtido o controle e monitoramento dos trabalhos realizados.</p> <p>A tecnologia <i>RFID</i> é implantada no cartão de identificação de cada operário, isso possibilita a identificação de cada funcionário, também permite registrar os tempos de paralização.</p>
Inteligência artificial	<p>Notificar os gestores sobre as obras através de status dos serviços (iminência de parada, parada e em execução).</p> <p>Possui a função de envio de alertas via <i>SMS</i> para os celulares cadastrados no sistema.</p> <p>Gestão de paralizações.</p> <p>Com todo o fluxo de valor monitorado é possível gerar indicadores relacionados à eficiência do sistema produtivo que são apresentados em um dashboard.</p>
Computação em nuvem	<p>Visualização dos status dos serviços (em execução, iminência de parada e parada).</p> <p>Através de uma dashboard é apresentado os indicadores relacionados à eficiência do sistema produtivo gerados pelo fluxo de valor monitorado.</p> <p>Proporcionou a verificação de qualidade dos serviços e a conexão entre folha de pagamento.</p>

Fonte: Elaborada pela autora

4.3.9 Caso 9

O Quadro 18 apresenta a correlação entre as tecnologias habilitadoras e os benefícios do produto aplicado do caso 9.

Quadro 18 – Correlação entre as tecnologias habilitadoras e os benefícios do produto aplicado no caso 9

Tecnologias habilitadoras	Benefícios do produto aplicado
Inteligência artificial	<p>Relatórios de rateio de consumo oferece uma visão detalhada e transparente dos gastos para cada medição, fornece também informações consolidadas em forma de tabela e gráfico, permitindo assim uma visualização clara e acessível dos dados. Auxílio na implementação de planos de redução de despesas e programas de gestão de energia como a ISSO 50001.</p> <p>Promove o uso consciente e sustentável dos recursos e auxilia na tomada de decisão para viabilizar projetos de eficiência energética. A <i>WEG Motion Fleet Management</i> possui Módulos <i>Specialist</i> com <i>Analytics</i> e Inteligência Artificial para diagnóstico autônomo de falhas.</p>
Internet das coisas	<p>O <i>WEG Energy Management</i> gerencia o consumo de recursos, os dados são coletados por dispositivos de medição de energia e utilidades e transformados em informações para gestão e monitoramento.</p>
Manufatura digital	<p>Monitoramento da emissão de carbono equivalente (CO₂e) para visualização em perfil da medição completa da planta, utilizando dados consolidados de energia elétrica (consumo ativo) para a conversão, nessa funcionalidade tem as seguintes funções: consumo total em kWh, emissão total de CO₂e (carbono equivalente), tendência das emissões em relação ao período anterior, conversão de CO₂e para carbono sequestrado por árvores cultivadas por 10 anos, conversão de CO₂e para emissões de veículos de passageiros movidos a gasolina por um ano, gráfico de pizza com o percentual de cada unidade de consumo, gráfico de barras com o montante em kWh de CO₂e de cada unidade de consumo e <i>Heatmap</i> das emissões totais. Monitoramento do consumo de utilidades, onde apresenta o resumo da última leitura de vazão realizada, o consumo acumulado no dia e consumo acumulado no mês e a visualização geral do Medidor que apresenta informações do equipamento utilizado no ponto de medição, resumo sobre as últimas medições consolidadas e gráficos do consumo histórico com possibilidade de projeção de consumo. A Plataforma <i>IoT WEGnology</i> possui a função “drap and drop” facilita e acelera o desenvolvimento de soluções de <i>IoT</i> ao mesmo tempo que agiliza as adaptações e ajustes.</p>
<i>Big data</i>	<p>Dados coletados através de dispositivos de medição de energia e utilidades são transformados em informações para gestão e monitoramento do uso desses recursos. Também mostra dados de emissão de carbono equivalente (CO₂e) para visualização em perfil da medição completa da planta, utilizando dados consolidados de energia elétrica (consumo ativo) para a conversão, nessa funcionalidade tem as seguintes funções: consumo total em kWh, emissão total de CO₂e (carbono equivalente), tendência das emissões em relação ao período anterior, conversão de CO₂e para carbono sequestrado por árvores cultivadas por 10 anos, conversão de CO₂e para emissões de veículos de passageiros movidos a gasolina por um ano, gráfico de pizza com o percentual de cada unidade de consumo, gráfico de barras com o montante em kWh de CO₂e de cada unidade de consumo e <i>Heatmap</i> das emissões totais.</p>
Computação em nuvem	<p>Ocorre a coleta de dados provenientes de dispositivos de medição de utilidades e energia Visualização de informações assertivas para o planejamento de manutenção preditiva. Visualização da emissão de carbono equivalente (CO₂e) mostrando o perfil de medição completa da planta. Possibilidade de visualização dos consumos de utilidades. Visualização dos gastos do consumo de cada medição realizada. O <i>IoT WEGnology</i> promove flexibilidade e adaptabilidade para customizar o monitoramento e obter informações atualizadas e disponíveis em cloud para acesso de qualquer lugar e a qualquer momento.</p>
<i>Machine-to-machine</i>	<p>Conexão entre dispositivos de medição de energia e utilidades que coletam os dados e os transmitem para o <i>WEG Energy Management</i>, sendo que este transforma os dados transmitidos em informações para gestão e monitoramento do uso desses recursos. Conexão entre dispositivos de medição de energia e utilidades que coletam dados e transmite para a plataforma de <i>IoT WEGnology</i>, assim possibilitando melhor entendimento da grande quantidade de dados provenientes desses dispositivos de medição. A <i>WEG Energy Management</i> pode ser integrada com outras plataformas.</p>

Fonte: Elaborada pela autora

4.4 IDENTIFICAÇÃO DAS TECNOLOGIAS HABILITADORAS

A partir da correlação realizada na seção 4.3, foi possível observar que as tecnologias habilitadoras estavam inseridas nos produtos aplicados por meio destas. As tecnologias habilitadoras identificadas serão apresentadas no Quadro 19.

Quadro 19 – Identificação das tecnologias habilitadoras

Tecnologias Habilitadoras	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5	Caso 6	Caso 7	Caso 8	Caso 9
Computação em nuvem	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Inteligência Artificial	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Manufatura Digital	X		X		X				X
<i>Big data</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Machine-to-machine</i>	X	X	X	X	X	X	X		X
<i>RFID</i>				X				X	
Internet das coisas	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Fonte: Elaborada pela autora

Analisando o Quadro 19 é possível notar a inserção de diferentes tecnologias habilitadoras em um mesmo produto.

O produto do caso 1 possui a inserção da computação em nuvem, inteligência artificial, manufatura digital, *big data*, *machine-to-machine* e internet das coisas.

O produto do caso 2 possui a inserção da computação em nuvem, inteligência artificial, *big data*, *machine-to-machine* e internet das coisas.

O produto do caso 3 possui a inserção da computação em nuvem, inteligência artificial, manufatura digital, *big data*, *machine-to-machine* e internet das coisas.

O produto do caso 4 possui a inserção da computação em nuvem, inteligência artificial, *big data*, *machine-to-machine*, *RFID* e internet das coisas.

O produto do caso 5 possui a inserção da computação em nuvem, inteligência artificial, manufatura digital, *big data*, *machine-to-machine* e internet das coisas.

O produto do caso 6 possui a inserção da computação em nuvem, inteligência artificial, *big data*, *machine-to-machine* e internet das coisas.

O produto do caso 7 possui a inserção da computação em nuvem, inteligência artificial, *big data*, *machine-to-machine* e internet das coisas.

O produto do caso 8 possui a inserção da computação em nuvem, inteligência artificial, *big data*, *RFID* e internet das coisas.

O produto do caso 9 possui a inserção da computação em nuvem, inteligência artificial, manufatura digital, *big data*, *machine-to-machine* e internet das coisas.

Através desses dados é possível concluir que a computação em nuvem, inteligência artificial, *big data* e internet das coisas estão inseridas em todos os casos. *Machine-to-machine* só não está inserida no caso 8. Manufatura digital só está inserida nos casos 1, 3, 5 e 9. E *RFID* só está inserida nos casos 4 e 8.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nessa etapa é construído e apresentado o *roadmap* identificando suas funções e processos, assim como as tecnologias habilitadoras que contribuem para o sucesso da implementação.

5.1 AVALIAÇÃO INICIAL

Esta etapa envolve uma análise inicial das operações industriais para entender o consumo de energia atual, identificar ineficiências e estabelecer uma linha de base para a eficiência energética.

5.1.1 Identificação da situação atual da eficiência energética

Identificar a situação atual de eficiência energética na indústria envolve coletar dados sobre o consumo de energia, realizar auditorias energéticas, avaliar processos, implementar sistemas de monitoramento em tempo real e analisar custos. Comparar os dados com padrões da indústria e identificar pontos fracos, como equipamentos obsoletos e sistemas ineficientes, é essencial. Além disso, a avaliação da viabilidade de fontes de energia renovável e o envolvimento dos funcionários são importantes. Esse processo fornece uma base sólida para criar um *roadmap* de eficiência energética com metas realistas e métricas de acompanhamento.

As tecnologias habilitadoras que podem contribuir nessa etapa são:

- *IoT (Internet of Things)* e *Machine-to-machine*: Usado para coletar dados em tempo real sobre o consumo de energia e o desempenho dos equipamentos.
- *Big Data Analytics*: Auxilia na análise dos dados coletados, identificando ineficiências e oportunidades de economia de energia.
- Computação em nuvem (*Cloud computing*): Utilizado para armazenamento de um grande volume de dados, sendo possível acessá-lo de qualquer local.
- Manufatura digital: Sistema capaz de realizar diversas funções, como análises, simulações e visualizações 3D com o intuito de criar definições de processos de manufatura e produto simultaneamente.
- Inteligência artificial e *machine learning*: Comunicação autônoma que ocorre entre dispositivos inteligentes capazes de tomar decisões colaborativas sem intervenção direta humana

- Tecnologia *RFID*: Utilizado para rastreamento, identificação e registro de dados por meio de sinais de radiofrequência.

5.1.2 Determinação dos principais desafios e oportunidades

A identificação dos principais desafios e oportunidades é um passo importante ao planejar melhorias na eficiência energética. Os desafios podem incluir alto consumo de energia, equipamentos obsoletos e falta de conscientização. As oportunidades envolvem tecnologias inovadoras, redução de custos a longo prazo, sustentabilidade, incentivos governamentais, cumprimento de metas ambientais e vantagem competitiva. Identificar esses aspectos ajuda a priorizar áreas de atuação no *roadmap* de eficiência energética, buscando o equilíbrio entre custos, benefícios e responsabilidade ambiental.

As tecnologias habilitadoras que podem contribuir nessa etapa são:

- *Cloud Computing*: Utilizado para armazenar e acessar dados de eficiência energética de qualquer lugar.

- *Machine Learning* e IA (Inteligência Artificial): Auxiliam na identificação de tecnologias eficazes com base na análise de dados e na otimização contínua.

- Internet das coisas e *machine-to-machine*: Auxilia controle e otimização de projetos. Fornece o monitoramento de equipamentos e máquinas possibilitando manutenções preditivas caso ocorra variações nos padrões pré-estabelecidos, com isso identifica equipamentos e máquinas obsoletos com o intuito de melhorar os processos.

- *RFID*: Utilizada para rastreamento de máquinas ou produtos, além de possibilitar o monitoramento de suas condições.

- *Big data Analytics*: São usados para avaliar o custo e o potencial de economia de energia de diferentes tecnologias.

- Manufatura digital: Auxilia na otimização dos processos e aumento na produtividade.

5.1.3 Estabelecimento de metas claras para a redução do consumo de energia

Estabelecer metas claras de redução do consumo de energia envolve a definição de objetivos mensuráveis, específicos e realistas, com prazos bem definidos. Essas metas devem ser comunicadas, monitoradas e periodicamente revisadas e atualizadas. Elas ajudam a direcionar esforços para melhorar a eficiência energética, incentivando a equipe e permitindo o acompanhamento do progresso em direção a uma operação mais sustentável.

5.2 IDENTIFICAÇÃO DE TECNOLOGIAS HABILITADORAS

Neste estágio, a equipe identifica as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 que podem ser aplicadas para melhorar a eficiência energética. Isso pode incluir *IoT*, sensores, análise de dados, automação, IA e outras tecnologias relevantes.

5.2.1 Pesquisa e identificação de tecnologias disponíveis que possam ajudar a melhorar a eficiência energética na indústria

Pesquisar e identificar tecnologias para melhorar a eficiência energética na indústria envolve um processo de levantamento de opções disponíveis. Isso inclui revisão da literatura, consulta a especialistas, avaliação de custos e benefícios, adequação ao contexto e análise de viabilidade. As tecnologias devem ser priorizadas com base em seu potencial de economia de energia e retorno do investimento. A implementação é planejada com detalhes, e o monitoramento contínuo do desempenho é essencial para garantir que as tecnologias atinjam seus objetivos de eficiência energética. Esse processo ajuda a orientar a estratégia de eficiência energética, resultando em operações mais sustentáveis e econômicas na indústria.

5.2.2 Considerar tecnologias relacionadas a geração, distribuição, armazenamento, monitoramento e controle de energia

A consideração de tecnologias relacionadas à geração, distribuição, armazenamento, monitoramento e controle de energia abrange diferentes aspectos do ciclo de energia na indústria. Isso inclui a escolha de tecnologias de geração de energia, sistemas de distribuição eficientes, métodos de armazenamento, sistemas de monitoramento de consumo de energia e sistemas de controle para otimizar o uso de energia. A seleção adequada e a integração dessas tecnologias podem resultar em melhorias significativas na eficiência energética da indústria, contribuindo para redução de custos e impacto ambiental

5.3 PRIORIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS

As tecnologias identificadas são priorizadas com base em seu potencial de impacto na eficiência energética e nos recursos disponíveis.

5.3.1 Classificação das tecnologias identificadas com base em sua relevância e impacto potencial na eficiência energética

Classificar tecnologias com base em sua relevância e impacto potencial na eficiência energética envolve avaliar quais tecnologias são mais adequadas às necessidades da indústria, considerando o potencial de economia de energia, custos, impacto ambiental e viabilidade técnica. Essa classificação ajuda a priorizar a implementação de tecnologias mais eficazes no *roadmap* de eficiência energética, direcionando recursos para as áreas de maior potencial de melhoria.

5.3.2 Consideração do custo, da disponibilidade e a da maturidade das tecnologias

Ao considerar tecnologias para melhorar a eficiência energética, é essencial avaliar o custo total, o retorno do investimento, a disponibilidade no mercado, a maturidade da tecnologia, fornecedores confiáveis, recursos internos, alinhamento com objetivos e possíveis riscos. Priorize as tecnologias com base na relação custo-benefício, adequação e disponibilidade, garantindo escolhas realistas e financeiramente sustentáveis para alcançar melhorias na eficiência energética da indústria.

5.4 DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO

Aqui, as tecnologias selecionadas são desenvolvidas e implementadas nas operações industriais para otimizar o uso de energia.

As tecnologias habilitadoras que podem contribuir nessa etapa são:

- *IoT* e Sensores Inteligentes: São usados para monitorar o desempenho das tecnologias de eficiência energética em tempo real.
- *Blockchain*: Pode ser usado para rastrear a proveniência de energia, garantindo transparência na implementação.
- *RFID*: Implementação de chips em produtos ou máquinas visando diversos fatores como rastreamento e inspeção destes.
- Computação em nuvem: Utilizada para a visualização em tempo real do desempenho das tecnologias de eficiência energética.
- Internet das coisas e *machine-to-machine*: Comunicação entre máquinas e equipamentos para coleta de dados dos ativos.

- *Big data and analytics*: Utilizado para analisar grande volume de dados, oferecendo insights detalhados sobre padrões de consumo de energia e eficiência operacional. Essa análise aprofundada permite identificar áreas de melhoria, reduzir desperdícios e otimizar processos, resultando em uma gestão energética mais eficaz.

- *Manufatura digital*: Possibilita a visualização e análise detalhada de processos de produção, permitindo a identificação de ineficiências e a otimização de fluxos de trabalho.

5.4.1 Criação de um cronograma que detalhe a implementação das tecnologias ao longo do tempo

A criação de um cronograma detalhado para a implementação de tecnologias de eficiência energética envolve a divisão do processo em etapas, a definição de marcos, a estimativa de duração, o sequenciamento de tarefas, alocação de recursos, atribuição de responsabilidades e monitoramento constante. Esse cronograma proporciona clareza, orientação e comunicação eficaz durante o processo de implementação, contribuindo para o sucesso da iniciativa de eficiência energética na indústria.

5.4.2 Divisão da implementação em fases ou etapas, estabelecendo marcos e prazos específicos

Dividir a implementação em fases ou etapas com marcos e prazos específicos é uma abordagem organizada para projetos de eficiência energética. Isso envolve identificar as etapas, definir marcos significativos e prazos realistas para cada fase. Essa estrutura ajuda a gerenciar o projeto, manter o controle do progresso e garantir que os objetivos sejam alcançados de acordo com o cronograma estabelecido.

5.5 RECURSOS NECESSÁRIOS

Define-se quais recursos financeiros, humanos e tecnológicos são necessários para a implementação das tecnologias escolhidas.

As tecnologias habilitadoras que podem contribuir nessa etapa são:

- *Cloud Computing*: Ajuda na gestão financeira, alocação de recursos e monitoramento financeiro.

- *Machine Learning* e IA: Podem ser usados para otimizar o uso de recursos e alocar orçamentos de forma mais eficaz.

- Internet das coisas, *RFID* e *machine-to-machine*: Os dados coletados fornecem informações dos ativos em tempo real, permitindo a detecção de possíveis variações e possibilitando a realização de manutenções preditivas. Com isso, ocorre a diminuição de ineficiências envolvendo danificações nos ativos, evitando prejuízos.

- *Big data Analytics*: Analisa dados de mercado, comportamento do cliente e tendências para auxiliar na tomada de decisões, estratégias e desenvolvimento de produtos.

- Manufatura digital: Criação eficiente de modelos virtuais, resultando na redução de tempo e custos associados à produção de protótipos físicos. Isso acelera o desenvolvimento de produtos e maximiza a eficiência dos recursos.

5.5.1 Determinação dos recursos necessários para implementar cada tecnologia, incluindo investimento financeiro, pessoal e materiais

Determinar os recursos necessários para implementar tecnologias de eficiência energética envolve a avaliação dos custos financeiros, alocação de pessoal e identificação de materiais e equipamentos necessários. Certifique-se de que os recursos estejam alinhados com o orçamento disponível, atribua responsabilidades às equipes e verifique a disponibilidade de fornecedores confiáveis. Isso é fundamental para garantir a implementação eficaz e dentro do cronograma das tecnologias de eficiência energética na indústria.

5.5.2 Estimativa de custos e alocação do orçamento para cada fase da implementação

Estimar custos e alocar orçamento para cada fase da implementação envolve identificar todos os custos, desenvolver orçamentos detalhados, determinar fontes de financiamento, priorizar recursos e estabelecer sistemas de monitoramento financeiro. Isso é essencial para garantir que o projeto de eficiência energética seja bem gerenciado financeiramente, evitando desvios de custos e assegurando que os recursos estejam disponíveis quando necessários.

5.6 PARCERIAS E COLABORAÇÕES

Estabelecem-se parcerias com fornecedores de tecnologia, instituições de pesquisa e outras organizações relevantes para apoiar a implementação das soluções de eficiência energética.

5.6.1 Avaliação da possibilidade de estabelecer parcerias com fornecedores de tecnologias, instituições de pesquisa ou outras empresas que possam contribuir para o sucesso da implementação

Avaliar a possibilidade de estabelecer parcerias envolve identificar potenciais parceiros com competências e recursos relevantes, garantir objetivos compartilhados, formalizar acordos claros e manter uma comunicação eficaz. O estabelecimento de parcerias estratégicas pode fortalecer a implementação de tecnologias de eficiência energética, proporcionando conhecimento, recursos e apoio técnico adicionais. Isso contribui para o sucesso do projeto e pode gerar benefícios mútuos.

As tecnologias habilitadoras que podem contribuir nessa etapa são:

- *Blockchain*: Pode ser usado para estabelecer parcerias com fornecedores de tecnologia e instituições de pesquisa, garantindo transparência e confiança.
- *Computação em nuvem*: Pode ser utilizado para estabelecer parcerias com fornecedores de tecnologia para garantir a visualização de grande volume de dados.
- *Internet das coisas e Machine-to-machine*: Pode ser usado para estabelecer parcerias com fornecedores de tecnologia e instituições de pesquisa para garantir monitoramento e gestão de ativos.
- *IA e Machine learning*: Utilizado para o aperfeiçoamento organizacional, trazendo soluções para problemas gerenciais e operacionais.
- *RFID*: Parcerias com fornecedores especializados podem fornecer soluções de rastreamento precisas e confiáveis. Além disso, colaborações estratégicas com instituições de pesquisa possibilitam inovações contínuas, impulsionando avanços significativos na gestão de ativos e na otimização da cadeia de suprimentos. Essas parcerias não apenas garantem a qualidade dos serviços, mas também promovem um ambiente propício para a evolução tecnológica e operacional.
- *Manufatura digital*: Parcerias com empresas especializadas proporciona soluções avançadas para modelagem, simulação e integração de processos.

5.7 MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO

É estabelecido um sistema de monitoramento para acompanhar o desempenho energético após a implementação das tecnologias. Isso permite a identificação de melhorias contínuas.

As tecnologias habilitadoras que podem contribuir nessa etapa são:

- *IoT* e Sensores Inteligentes: Permitem o monitoramento contínuo do desempenho das tecnologias de eficiência energética.
- *Machine Learning* e IA: Auxiliam na análise de dados e no ajuste das tecnologias para melhorar o desempenho.
- Computação em nuvem: Permite a supervisão e visualização do monitoramento de forma remota e instantânea, independentemente do local e a qualquer momento.

5.7.1 Estabelecimento de métricas e indicadores de desempenho para medir o progresso em direção às metas de eficiência energética

Estabelecer métricas e indicadores de desempenho envolve definir metas claras, identificar métricas relevantes, escolher indicadores específicos, definir baselines, determinar a frequência de monitoramento, atribuir responsabilidades, implementar sistemas de coleta de dados, analisar resultados, tomar ações corretivas quando necessário e buscar continuamente melhorias. Essa abordagem permite medir e acompanhar o progresso em direção às metas de eficiência energética, garantindo a tomada de decisões informadas e a otimização do desempenho.

5.7.2 Implementação de sistemas de monitoramento e coleta de dados em tempo real, se possível

A implementação de sistemas de monitoramento e coleta de dados em tempo real envolve a seleção de tecnologia adequada, definição de objetivos, instalação de sensores, integração de sistemas, coleta e armazenamento de dados, visualização e análise em tempo real, alertas e notificações, treinamento da equipe, manutenção regular e busca de melhoria contínua. Isso proporciona uma visão em tempo real das operações, permitindo a detecção de problemas, a otimização imediata e a tomada de decisões informadas para melhorar a eficiência energética.

5.8 TREINAMENTO E EDUCAÇÃO

Os funcionários são treinados para operar as novas tecnologias e entender os princípios da eficiência energética.

5.8.1 Certificação de que a equipe esteja devidamente treinada para operar e manter as novas tecnologias

Envolve a realização de treinamento adequado para os funcionários que serão responsáveis por operar, manter e interagir com as novas tecnologias de eficiência energética. O treinamento deve abranger aspectos como a configuração e operação dos equipamentos, a solução de problemas comuns e a manutenção preventiva. É essencial garantir que a equipe tenha as habilidades e o conhecimento necessários para maximizar o desempenho das tecnologias e evitar falhas operacionais.

As tecnologias habilitadoras que podem contribuir nessa etapa são:

- Realidade Aumentada: Pode ser usada para treinar a equipe na operação das novas tecnologias.
- *Machine Learning e IA*: Podem ajudar a personalizar programas de treinamento com base nas necessidades individuais dos funcionários.
- Internet das coisas e *Machine-to-machine*: Facilita o gerenciamento e monitoramento de ativos em tempo real, permitindo a coleta e análise de dados precisos para tomar decisões informadas e proativas, melhorando a eficiência operacional e a manutenção preditiva.
- Computação em nuvem: Proporciona conhecimentos e habilidades fundamentais para aprimorar o gerenciamento dos dados monitorados, garantindo a eficiência operacional.
- Manufatura digital: Proporciona insights e conhecimentos necessários para operar eficientemente em um ambiente de produção digitalizado, aprimorando a qualidade e eficácia dos processos de fabricação.
- *Big data analytics*: Utilizada para adquirir insights sobre a utilização dos dados visando a otimização dos processos, desenvolvimento de soluções que contribuem com a eficiência energética e práticas mais sustentáveis.
- *RFID*: Aperfeiçoamento das análises dos dados obtidos para uma gestão mais eficiente.

5.8.2 Promoção da conscientização e da educação sobre a importância da eficiência energética

Destaque a importância de conscientizar e educar os membros da equipe, bem como outras partes interessadas, sobre os benefícios e a relevância da eficiência energética. Isso pode ser alcançado por meio de campanhas de conscientização, programas de treinamento e comunicações regulares. A conscientização sobre a eficiência energética pode incluir informações sobre economia de recursos, redução de custos, impacto ambiental positivo e conformidade com regulamentos. A educação pode envolver a explicação de práticas e comportamentos que contribuam para a eficiência energética e o incentivo ao uso responsável dos recursos energéticos. A promoção da conscientização e educação é essencial para envolver a equipe e criar uma cultura organizacional comprometida com a eficiência energética.

5.9 IMPLEMENTAÇÃO E TESTES PILOTOS

Antes de uma implementação em larga escala, testes piloto são realizados para avaliar a eficácia das tecnologias em um ambiente controlado.

5.9.1 Implementação das tecnologias de forma faseada, começando por testes pilotos para avaliar seu desempenho na operação real

Iniciar a implementação de tecnologias de eficiência energética em fases, começando por testes piloto, envolve a seleção cuidadosa das tecnologias, o desenvolvimento de um plano de teste, a coleta de dados, a avaliação de desempenho, a identificação de ajustes necessários e a tomada de decisão com base nos resultados. Essa abordagem ajuda a minimizar riscos, otimizar o desempenho das tecnologias e permite a aprendizagem contínua antes da implementação em toda a operação.

As tecnologias habilitadoras que podem contribuir nessa etapa são:

- *Cloud Computing*: Auxilia na coleta e análise de dados dos testes piloto.
- *IoT e Machine-to-machine*: Permite o monitoramento em tempo real dos testes piloto.
- *Machine Learning* e IA: Analisa históricos e identifica ineficiências dos testes pilotos.
- *RFID*: Permite o rastreamento em tempo real dos testes piloto.
- *Big data Analytics*: O processamento de dados permite a formação de estratégias ou ajustes dos testes piloto.
- *Manufatura digital*: Possibilita a simulação nos projetos piloto, proporcionando uma visão mais detalhada.

5.10 AJUSTES E OTIMIZAÇÃO

Com base nos resultados dos testes piloto e do monitoramento contínuo, são feitos ajustes e otimizações nas tecnologias e processos para melhorar ainda mais a eficiência energética.

5.10.1 Ajustes e otimizações do *roadmap* e nas tecnologias implementadas

Fazer ajustes e otimizações com base nos resultados dos testes piloto envolve uma análise cuidadosa dos dados dos testes, identificação de áreas de desempenho insatisfatório, *feedback* da equipe e partes interessadas, resolução das causas raiz, ajustes nas tecnologias implementadas e otimização do *roadmap* de implementação. Essa abordagem permite corrigir problemas, melhorar o desempenho e adaptar o plano de eficiência energética para alcançar os melhores resultados.

5.11 ESCALONAMENTO E EXPANSÃO

As soluções de eficiência energética bem-sucedidas são escaladas e expandidas para abranger mais áreas das operações industriais.

5.11.1 Expansão da implementação para toda a indústria

Expandir a implementação de tecnologias após testes piloto bem-sucedidos envolve a definição de metas claras, escalonamento gradual, treinamento da equipe, monitoramento contínuo, comunicação eficaz, avaliação de custos e benefícios, documentação, relatórios e aprendizado contínuo. Isso é essencial para alcançar o sucesso na implementação em toda a indústria, otimizando a eficiência energética.

As tecnologias habilitadoras que podem contribuir nessa etapa são:

- *Blockchain*: Pode ser usado para garantir a escalabilidade e a integridade da implementação em toda a indústria.
- *Cloud Computing*: Pode ser utilizado para garantir a segurança, economia de custos, integração e colaboração em toda a indústria.

- *Machine Learning* e IA: Pode ser usada para garantir a automatização, otimização, personalização de experiência, reconhecimento e análise de imagens, detecção de anomalias e tomada de decisões em toda a indústria.
- Internet das coisas e *machine-to-machine*: Pode ser usada para garantir o monitoramento em tempo real, manutenção preditiva, segurança e monitoramento, gestão inteligente de inventários e integração de sistemas em toda a indústria.
- *RFID*: Pode ser utilizada para garantir a gestão de ativos, gestão de inventários, prevenção de roubo e fraudes, automatização de processos, sustentabilidade em toda a indústria.
- *Big data Analytics*: Pode ser utilizada para garantir a otimização operacional, análise preditiva, inovação e visualização de dados em toda a indústria.
- Manufatura digital: Poder ser utilizada para garantir a simulação avançada, redução de resíduos, eficiência operacional, gerenciamento de ciclo de vida ao produto e colaboração global em toda a indústria.

5.12 COMUNICAÇÃO E RELATÓRIOS

A comunicação eficaz com todas as partes interessadas, incluindo funcionários, parceiros e reguladores, é fundamental. Relatórios regulares são gerados para documentar o progresso e os resultados alcançados no sentido da eficiência energética.

5.12.1 Informe aos *stakeholders* sobre o progresso e os resultados do *roadmap*

Manter os *stakeholders* informados sobre o progresso do *roadmap* de eficiência energética envolve identificar as partes interessadas, comunicar de forma transparente e regular, fornecer relatórios de desempenho, realizar reuniões e apresentações, encorajar o feedback, alinhar o projeto com os objetivos estratégicos, gerenciar expectativas, celebrar conquistas, ser transparente em caso de problemas e aprender com o feedback dos *stakeholders*. Essa comunicação eficaz é essencial para construir confiança, engajar os envolvidos e garantir o sucesso do projeto.

5.12.2 Preparação de relatórios regulares para documentar os sucessos alcançados e os

desafios enfrentados

Preparar relatórios regulares no *roadmap* de eficiência energética envolve documentar marcos alcançados, metas atingidas, desafios enfrentados, análise de causas, ações corretivas e comparação com o plano original. A transparência na comunicação com as partes interessadas é essencial, e os relatórios são usados para aprender com a experiência e aprimorar o *roadmap*, se necessário.

As tecnologias habilitadoras que podem contribuir nessa etapa são:

- *Cloud Computing*: Facilita a comunicação com stakeholders por meio do compartilhamento de relatórios e atualizações online.
- *Big Data Analytics*: Ajuda na criação de relatórios detalhados sobre os sucessos e desafios enfrentados no projeto.
- *Machine learning* e IA: Podem realizar a geração automatizada de relatórios sobre os desafios e sucessos enfrentados no projeto.

5.13 DISCUSSÕES

Através da realização do *roadmap* foi possível observar que a integração das tecnologias habilitadoras na eficiência energética na indústria não se limita apenas à coleta de dados e geração de relatórios. Ela apresenta uma mudança fundamental na forma como as empresas abordam a gestão de energia, promovendo transparência, a sustentabilidade e a inovação contínua. Com a adoção dessas tecnologias, os benefícios obtidos pelas indústrias não se resumem em redução dos seus custos operacionais, mas também em liderar o caminho em direção a um futuro mais sustentável e eficiente energeticamente.

6 CONCLUSÃO

O objetivo do presente trabalho era realizar um *roadmap* da eficiência energética na indústria 4.0 no contexto das tecnologias habilitadoras, portanto, as análises foram divididas em 4 partes. A primeira parte consiste na contextualização dos casos. A segunda parte é a mineração de dados, onde é feito um levantamento dos benefícios proporcionados pelos produtos aplicados, bem como suas especificações. Na terceira parte é feita uma correlação entre os dados obtidos através do levantamento realizado na segunda parte com as características das tecnologias habilitadoras. Através dessa correlação foi possível observar que as características das tecnologias habilitadoras coincidem com os benefícios dos produtos aplicados, portanto, as tecnologias habilitadoras estavam inseridas nesses produtos.

Com essa afirmação foi possível identificar quais tecnologias habilitadoras estavam inseridas em cada caso, consistindo na quarta parte. Os dados da terceira parte serviram de base para a realização do *roadmap*. Após a realização do *roadmap* foi possível observar que os benefícios que as tecnologias habilitadoras podem ofertar para as indústrias, não se limitam na redução de custos operacionais. Com a adoção delas, é possível monitorar, analisar, otimizar e automatizar processos, prever ineficiências e obter mais segurança.

Os benefícios não se limitam as empresas, pode também proporcionar redução de emissão de carbono, redução de resíduos, redução do consumo de recursos e conscientização ambiental. Portanto, a integração dessas tecnologias não é apenas uma estratégia empresarial; e sim uma resposta proativa às demandas da sociedade por operações mais sustentáveis e eficientes. Ao adotar e aproveitar plenamente essas ferramentas tecnológicas, as indústrias não apenas garantem sua viabilidade a longo prazo, mas também desempenham um papel significativo na construção de um futuro mais sustentável e energeticamente eficiente para todos.

REFERÊNCIAS

ABREU, Y. V. de. **Estudo comparativo da eficiência energética da indústria da cerâmica de restimento via úmida do Brasil e na Espanha.** 2003. 119 p. Tese (Engenharia Mecânica) — Universidade Estadual de Campinas. Disponível em: <https://doi.org/10.47749/T/UNICAMP.2003.293016>. Acesso em: 21 ago. 2023.

AGILEAN. **Entenda como a Tack Incorporadora transformou a gestão de obras com a Agilean.** 2023. Disponível em: <https://agilean.com.br/entenda-como-a-tack-transformou-agestao-de-obras-com-a-agilean/>. Acesso em: 21 ago. 2023.

AIRES, R. W. do A.; FREIRE, P. de S.; SOUZA, J. A. de. Educação corporativa como ferramenta para estimular a inovação nas organizações: uma revisão de literatura. In: AIRES, R. W. do A.; FREIRE, P. de S.; SOUZA, J. A. de (Ed.). EDIUNESC, 2017. cap. 12, p. 253 – 276. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18616/pidi12>. Acesso em: 24 set. 2023.

AZEVEDO, M. T. de. **Transformação Digital na Indústria: Indústria 4.0 e a Rede de Água Inteligente no Brasil.** 2017. 175 p. Tese (Engenharia de Sistemas Eletrônicos) — Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3142/tde-28062017-110639/publico/MarceloTeixeiradeAzevedoCorr17.pdf>. Acesso em: Agosto.

BAHRIN, M. A. K. *et al.* Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic. **Sciences & Engineering**, Jurnal Teknologi, v. 78, p. 137 – 143, agosto 2016. ISSN 2180–3722. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.11113/jt.v78.9285>. Acesso em: 11 set. 2023.

BAO, X.; GANG, W. Random sampling algorithm in RFID indoor location system. IEEE, fev 2006. Acesso em: 16 set. 2023.

CARLI, P. C. de; DELAMARO, M. C. IMPLANTAÇÃO DA MANUFATURA DIGITAL NUMA EMPRESA: IDENTIFICANDO OS FATORES CRÍTICOS DE SUCESSO. **XXVII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**, Mostra Nacional de Robótica (MNR), v. 35, p. 72 – 85, janeiro/março 2000. Acesso em: 1 out. 2023.

CARNEIRO, J. Q.; CARNEIRO, A. Q.; CÂNDIDO, L. F. INDÚSTRIA 4.0 E CONSTRUÇÃO ENXUTA: O CASO DO SISTEMA AGILEAN. **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO**, Campinas, v. 2, p. 1 – 6, Agosto 2019. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/sbtic/article/view/173>. Acesso em: 1 out. 2023.

COELHO, A. Z. **A ciência de dados e a inteligência artificial no Direito em 2018 - Parte II.** 2019. Acesso em: 1 out. 2023.

COELHO, P. M. N. **Rumo à Indústria 4.0.** 2016. 62 p. Dissertação (Engenharia e gestão Industrial) — Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Disponível em: <https://estudogeral.sib.uc.pt/bitstream/10316/36992/1/Tese%20Pedro%20Coelho%20Rumo%20%c3%a0%20Industria%204.0.pdf>. Acesso em: 24 set. 2023.

CROUCHER, M. Potential problems and limitations of energy conservation and energy efficiency. **Energy Policy**, Elsevier, v. 39, n. 10, p. 5795 – 5799, Outubro 2011. ISSN 0301-4215. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.07.011>. Acesso em: 23 ago. 2023.

CUBI ENERGIA. **Eficiência energética em Moinhos: Indústria de Mineração**. 2022. Disponível em: https://conteudo.cubienergia.com/hubfs/Cases/Case_Carbonifera_CUBi%20Energia%20V1_2022.pdf.

CUBI ENERGIA. **Monitoramento de Energia Elétrica inteligente para empresas**. 2023. Disponível em: <https://www.cubienergia.com/monitoramento-de-cargas/>.

DALMARCO, G. *et al.* Providing industry 4.0 technologies: The case of a production technology cluster. **The Journal of High Technology Management Research**, Elsevier, v. 30, n. 2, Novembro 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.hitech.2019.100355>. Acesso em: 11 set. 2023.

DEPARTMENT OF INDUSTRY INNOVATION SCIENCE RESEARCH AND TERTIARY EDUCATION. **Enabling technology futures**: a survey of the Australian technology landscape. [S.l.], 2012.

DINIZ, E. H. **Internet das coisas**. 2006. Acesso em: 23 ago. 2023.

DOCOL. **Docol otimiza a gestão de consumo de energia com soluções WEG**. 2023. Disponível em: <https://www.weg.net/digital/blog/docol-otimiza-a-gestao-de-consumo-deenergia-com-solucoes-weg/>.

DUROC, Y.; KADDOUR, D. RFID Potential Impacts and Future Evolution for Green Projects. **Energy Procedia**, Elsevier, v. 18, p. 91 – 98, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.05.021>. Acesso em: 1 out. 2023.

ELIPSE SOFTWARE. **ELIPSE E3 CONTRIBUI COM A SUSTENTABILIDADE VIA A SUPERVISÃO DOS FORNOS DE CARBONIZAÇÃO DA APERAM BIOENERGIA**. Setembro/2023. Disponível em: <https://www.elipse.com.br/case/elipse-e3-contribui-com-asustentabilidade-via-a-supervisao-dos-fornos-de-carbonizacao-da-aperam-bioenergia/>.

ELIPSE SOFTWARE. **ELIPSE E3 CONTROLA O SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DO FRIGORÍFICO DA FRIATO**. 2015. Disponível em: https://www.elipse.com.br/wpcontent/uploads/2015/08/case_friato_ptb.pdf.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL**. [S.l.], 2023, ano base 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sitespt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-748/topico687/BEN2023.pdf>. Acesso em: 24 set. 2023.

ENERGIA AUTOMACÃO. **Quem somos - Energia Automação**. 2023. Disponível em: <https://energiaautomacao.com.br/sobre-a-energia-automacao>. Acesso em: 23 ago. 2023.

ENERGIA AUTOMACÃO. **Solução da Energia Automação Agiliza em 96% o Controle do Sistema Elétrico da Samarco Mineração**. 2023/nov. Disponível em:

<https://energiaautomacao.com.br/artigo/solucao-da-energia-automacao-agiliza-em-96-ocontrolado-sistema-eletrico-da-samarco-mineracao-#>. Acesso em: 23 ago. 2023.

ERBOZ, G. How to Define Industry 4.0: The Main Pillars Of Industry 4.0. **MANAGERIAL TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF ENTERPRISES IN GLOBALIZATION ERA**, p. 761 – 767, nov. 2017. Acesso em: 18 set. 2023.

FAN, T. *et al.* Impact of RFID technology on supply chain decisions with inventory inaccuracies. **International Journal of Production Economics**, Elsevier, v. 159, p. 117 – 125, jan. 2015. Acesso em: 1 out. 2023.

FARIAS, L. L. D. C. **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS PROGRAMAS**. 2017. 96 p. Monografia (Engenharia Elétrica) — Universidade Federal de Campina Grande. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/18780/1/LISLLEY%20LEITE%20DE%20CARVALHO%20FARIAS%20%20TCC%20ENG:%20EL%3%89TRICA%202017.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2023.

FARRELL, D.; REMES, J. **Promoting energy efficiency in the developing world**: Developing economies have a huge opportunity to strengthen their economic prospects by boosting their energy productivity. [S.l.], 2009. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business%20functions/economic%20studies%20temp/our%20insights/promoting%20energy%20efficiency%20in%20the%20developing%20world/promoting%20energy%20efficiency%20in%20the%20developing%20world.pdf?shouldIndex=false>.

FERREIRA, P.; MARTINHO, R.; DOMINGOS, D. IoT-aware business processes for logistics-limitations of current approaches. **Simpósio de informática**, Universidade de Minho, Portugal, p. 611 – 622, setembro 2010. Acesso em: 23 ago. 2023.

FREIRE, P. de S. *et al.* Universidade Corporativa em Rede: Considerações Iniciais para um Novo Modelo de Educação Corporativa. **Revista Espacios**, v. 37, n. 5, 2016. Acesso em: 24 set. 2023.

GAO, L.; ZHAO, Y. Application on cloud computing in the future library: Conceitos e fundamentos. In: **IEEE International Conference on Cloud Computing and Intelligence Systems**. China: [s.n.], 2011. p. 175 – 177. Disponível em: 10.1109/CCIS.2011.6045055. Acesso em: 11 set. 2023.

GLITHO, R. H. Application architectures for machine to machine communications: Research agenda vs. state-of-the art. **7th International Conference on Broadband Communications and Biomedical Applications**, IEEE, p. 1 – 5, nov. 2011. Disponível em: 10.1109/IB2Com.2011.6217900: Acesso em: 1 out. 2023.

HEERDT, M. L.; LEONEL, V. **Metodologia Científica e da Pesquisa**. 5. ed. [S.l.]: UnisulVirtual, 2007. 266 p. ISBN 978-85-7817-029-5. Acesso em: 21 ago. 2023.

HERMANN, M.; OTTO, B.; PENTEK, T. Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review. Working Paper, janeiro 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.29269.22248>. Acesso em: 11 set. 2023.

IEA. **CO2 Emissions in 2022**. Paris, 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/co2emissions-in-2022>. Acesso em: 21 ago. 2023.

IEA PUBLICATIONS. **CO2 EMISSIONS FROM FUEL COMBUSTION: HIGHLIGHTS**. França: Soregraph, 2013. Acesso em: 21 ago. 2023.

IKEZIRI, L. M.; MELO, J. C.; CAMPOS, R. T.; OKIMURA, L. I.; JUNIOR, J. A. G. A perspectiva da indústria 4.0 sobre a filosofia de gestão Lean Manufacturing/ The industry 4.0 perspective on Lean Manufacturing management philosophy. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 1274–1289, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n1-089. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/5999>. Acesso em: 11 set. 2023.

Kamtsiou, V.; Naeve, A.; Stergioulas, L.K.; Koskinen, T. Roadmapping as a knowledge creation process: The Prolearn roadmap. *J. Univers. Knowl. Manag.* 2006, 1, 163–173.

KANG, H. S. *et al.* Smart Manufacturing: Past Research, Present Findings, and Future Directions. **INTERNATIONAL JOURNAL OF PRECISION ENGINEERING AND MANUFACTURING-GREEN TECHNOLOGY**, v. 3, n. 1, p. 111 – 128, janeiro 2016. Disponível em: 10.1007/s40684-016-0015-5. Acesso em: 11 set. 2023.

Kappel, T. A. (2001). Perspectives on roadmaps: how organizations talk about the future. *Journal of Product Innovation Management* 18.

KHAN, A.; TUROWSKI, K. A Perspective on Industry 4.0: From Challenges to Opportunities in Production Systems. *IoTBD*, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.5220/0005929704410448>. Acesso em: 11 set. 2023

LAFONTAINE, A. *et al.* **Delivering on Energy**: An overview of activities by UN-Energy and its members. New York: United Nations, 2010. Disponível em: https://www.unido.org/sites/default/files/2010-05/Delivering_on_Energy_0.PDF. Acesso em: 24 set. 2023.

LANZILOTTI, C. O. **AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE PRODUTO E SERVIÇO APOIADO POR TECNOLOGIAS HABILITADORAS DE INDÚSTRIA 4.0: ESTUDO DE CASO EM PROCESSO DE USINAGEM**. 2022. 63 p. Dissertação (Engenharia de Produção) — Universidade Nove de Julho - UNINOVE. Acesso em: 21 ago. 2023.

LASI, H. *et al.* Industry 4.0. **BISE – CATCHWORD**, Springer Fachmedien Wiesbaden, v. 6, p. 239 – 242, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>. Acesso em: 11 set. 2023.

LIMA, F. R.; GOMES, R. Conceitos e tecnologias da Indústria 4.0: uma análise bibliométrica. *Revista Brasileira de Inovação*, Campinas, p. 1 – 30, 2020. ISSN 2178-2822. Disponível em: <https://doi.org/10.20396/rbi.v19i0.8658766>. Acesso em: 11 set. 2023.

Lin, Xin. (2019). Research on the Industrial Technology Road-Mapping Based on the SECI Model. *Open Journal of Social Sciences*, Vol. 7, pp 52-62.

LIRA, G. D. L. **Indústria 4.0**: os impactos das tecnologias habilitadoras nas estratégias de operações. 2020. 143 p. Tese (Administração) — Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo. Acesso em: 23 ago. 2023.

MARQUES, M. C.; HADDAD, J.; MARTINS, A. R. S. **Conservação de Energia**: Eficiência Energética de Equipamentos e Instalações. 3. ed. Itajubá: Universidade Federal de Itajubá FUPAI; Eletrobrás / Procel Educação, 2006/janeiro. 597 p. ISBN 8560369007 / 978-8560369003. Acesso em: 21 ago. 2023.

MEISTER, J. C. **Educação corporativa**: A gestão do capital intelectual através das universidades corporativas. São Paulo: Makron Books, 1999. ISBN 8534610746. Acesso em: 24 set. 2023.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, BRASIL. Plano Nacional de Eficiência Energética. **Plano Nacional de Eficiência Energética**, p. 1 – 134, julho 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/publicacoes/plano-nacional-deeficiencia-energetica/documentos>.

MISRA, G. *et al.* Internet of Things (IoT) – A Technological Analysis and Survey on Vision, Concepts, Challenges, Innovation Directions, Technologies, and Applications (An Upcoming or Future Generation Computer Communication System Technology). **Science and Education Publishing**, v. 4, n. 1, p. 23 – 32, fevereiro 2016. Disponível em: <http://pubs.sciepub.com/ajeec/4/1/4>. Acesso em: 11 set. 2023.

NASSAR, V.; VIEIRA, M. L. H. A aplicação de RFID na logística: um estudo de caso do Sistema de Infraestrutura e Monitoramento de Cargas do Estado de Santa Catarina. *Gest. Prod.*, São Carlos, v. 21, n. 3, p. 520 – 531, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0104-530X966>. Acesso em: 1 out. 2023.

OIKONOMOU, V. *et al.* Energy saving and energy efficiency concepts for policy making. **Energy Policy**, Elsevier, v. 37, n. 11, p. 4787 – 4796, Julho 2009. ISSN 0301-4215. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.06.035>. Acesso em: 21 ago. 2023.

PALATTELLA, M. R. *et al.* On Optimal Scheduling in Duty-Cycled Industrial IoT Applications Using IEEE802.15.4e TSCH. **IEEE Sensors Journal**, IEEE, v. 13, n. 10, p. 3655 – 3666, out. 2013. Disponível em: [10.1109/JSEN.2013.2266417](https://doi.org/10.1109/JSEN.2013.2266417). Acesso em: 1 out. 2023.

PATTERSON, M. G. What is energy efficiency?: Concepts, indicators and methodological issues. **Energy Policy**, Elsevier, v. 24, n. 5, p. 377 – 390, Maio 1996. ISSN 0301-4215. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0301-4215\(96\)00017-1](https://doi.org/10.1016/0301-4215(96)00017-1). Acesso em: 21 ago. 2023.

PEREIRA, R. da S.; TERAZZI, L. F. UM ESTUDO SOBRE A INDÚSTRIA 4.0, SUA MATURIDADE E SEUS PRINCIPAIS DESAFIOS. In: FATECLOG (org.). **XI FATECLOG OS DESAFIOS DA LOGÍSTICA REAL NO UNIVERSO VIRTUAL**. Bragança Paulista: [s.n.], 2020. Acesso em: 20 set. 2023.

PORTO, A. J. V. *et al.* Manufatura Virtual: conceituação e desafios. **GESTÃO & PRODUÇÃO**, v. 3, n. 9, p. 297 – 312, dez. 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104530X2002000300007>. Acesso em: 1 out. 2023.

RAUEN, F. J. **Roteiros de Investigação Científica**. [S.l.]: Unisul, 2002. 264 p. ISBN 9788586870156.

RUDIO, F. V. **Introdução ao projeto de pesquisa científica**. 26. ed. Petrópolis: Vozes, 1999.

RÜSSMANN, M. *et al.* **Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries**. [S.l.], 2015. Disponível em: https://www.bcg.com/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_future_productivity_growth_manufacturing_industry Acesso em: 11 set. 2023.

SACOMANO, J. B. *et al.* **Indústria 4.0: conceitos e fundamentos**. Blucher, 01/11/2018. 169 p. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=PNCuDwAAQBAJ>. Acesso em: 24 set. 2023.

SALLES, R. M. **Integração Machine to Machine no contexto da Indústria 4.0**. 2022. Dissertação (Engenharia de Controle e Automação Mecânica) — Escola Politécnica, University of São Paulo. Acesso em: 1 out. 2023.

SANTOS, R. C. **Proposta de modelo de avaliação de maturidade da Indústria 4.0**. 2018. 114 p. Dissertação (Engenharia e Gestão Industrial) — Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. Acesso em: 1 out. 2023.

SCHWAB, K. **A Quarta Revolução Industrial**. [S.l.]: Edipro, 2018. 160 p. ISSN 978-8572839785. ISBN 857283978X. Acesso em: 1 out. 2023.

SCHWARZ, P. M. **Energy Economics**. Abingdon: Routledge, 2018. 432 p. ISBN 978-0-415-67677-9. Acesso em: 21 ago. 2023.

SERAZETDINOVA, L. *et al.* How should we turn data into decisions in AgriFood? **Journal of the Science of Food and Agriculture**, SCI, v. 99, n. 7, p. 3213 – 3219, maio 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jsfa.9545>. Acesso em: 11 set. 2023.

SIEMENS. **Manufatura Digital**. 2022. Site. Disponível em: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/pt/ourstory/glossary/digitalmanufacturing/13157>. Acesso em: 1 out. 2023.

SILVA, M. R. dos Santos da; OLAVE, M. E. L. CONTRIBUIÇÕES DAS TECNOLOGIAS DIGITAIS ASSOCIADAS À INDÚSTRIA 4.0 PARA A FORMAÇÃO PROFISSIONAL. **Gestão e Desenvolvimento**, UNIVERSIDADE FEEVALE, Novo Hamburgo, v. 17, n. 2, p. 82 – 110, maio/agosto 2020. ISSN 2446-6875. Disponível em: <https://doi.org/10.25112/rgd.v17i2.2047>. Acesso em: 25 ago. 2023.

SOLA, A. V. H.; MOTA, C. M. de M. Melhoria da eficiência energética em sistemas motrizes industriais. **Production**, v. 25, n. 3, p. 498 – 509, julho-setembro 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/prod/a/mtq9nFv33DhqbtVPqJ54ttr/>. Acesso em: 21 ago. 2023.

TELES, J. **Indústria 4.0: Tudo que você precisa saber sobre a Quarta Revolução**. 2017. Site. Disponível em: <https://engeteles.com.br/industria-4-0/>. Acesso em: 1 out. 2023.

UN SECRETARY-GENERAL'S ADVISORY GROUP ON ENERGY AND CLIMATE CHANGE (AGECC). **Energy for a Sustainable Future: REPORT AND RECOMMENDATIONS.** New York, 2010. Disponível em: [https://www.un.org/millenniumgoals/pdf/AGECCsummaryreport\[1\].pdf](https://www.un.org/millenniumgoals/pdf/AGECCsummaryreport[1].pdf). Acesso em: 24 set. 2023.

VAIDYAA, S.; AMBAD, P.; BHOSLE, S. Industry 4.0 – A Glimpse. In: SCIENCE DIRECT (Ed.). **2nd International Conference on Materials Manufacturing and Design Engineering.** Elsevier, 2018. v. 20, p. 233 – 23. Disponível em: DOI:10.1016/j.promfg.2018.02.034. Acesso em: 1 out. 2023.

VIEIRA, F. F. da S. *et al.* UNVEILING THE INDUSTRY 4.0 CONCEPT AND THE USE OF ITS TECHNOLOGIES. ITEGAM-JETIA, v. 5, n. 19, p. 21 – 28, Setembro 2019. Acesso em: 11 set. 2023.

WEG. **Com o App 'WEG Digital Notify', a gestão de ativos industriais passa a ser feita também via smartphone.** 2023. Disponível em: https://www.weg.net/institucional/BR/pt/news/produtos-e-solucoes/com-o-app-weg-digital-notify-a-gestao-de-ativos-industriaispassa-a-ser-feita-tambem-via-smartphone?utm_source=E-book&utm_medium=Ebook&utm_campaign=Case+de+sucesso+Redutor+no+Metal+III.

WEG. **Perfil Corporativo.** 2023. Disponível em: <https://ri.weg.net/a-weg/perfil-corporativo/#:~:text=Fundada%20em%201961%2C%20a%20WEG;%20minera%C3%A7%C3%A3o%20entre%20muitos%20outros:>

WEG. **Redutor no Metal III: Case de sucesso do monitoramento on-line de ativos industriais.** Guaramirim: [s.n.], maio/2023. Disponível em: <https://www.weg.net/digital/blog/redutor-nometal-iii-case-de-sucesso-do-monitoramento-on-line-de-ativos-industriais/>. Acesso em: 21 ago. 2023.

WEG. **SENSOR IOT WEGSCAN 100-1-MFM.** 2023a. Disponível em: https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Digital-Solutions/Dispositivos-para-Conectividade-eMonitoramento/Sensores-de-Monitoramento-de-Cond%C3%A7%C3%A3o/WEGscan/WEGscan-100/SENSOR-IOT-WEGSCAN-100-1-MFM/p/16437262?utm_source=Ebook&utm_medium=E-book&utm_campaign=Case+de+sucesso+Redutor+no+Metal+III.

WEG. **WEG Motion Fleet Management.** 2023b. Disponível em: https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Digital-Solutions/Gest%C3%A3o-de-Ativos/WEG-Motion-Fleet-Management/WEG-Motion-Fleet-Management/p/WEG_MOTOR_FLEET_MANAGEMENT?utm_source=E-book&utm_medium=Ebook&utm_campaign=Case+de+sucesso+Redutor+no+Metal+III.

YERGIN, D. **The Quest: Energy, Security, and the Remaking of the Modern World.** [S.l.]: Penguin Books, 2012. 864 p. ISSN 978-0143121947. ISBN 0143121944. Acesso em: 21 ago. 2023.

YIN, R. K.; GRASSI(TRAD.), D. **Estudo de caso: Planejamento e métodos.** 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

YOUNUS, A. M. The Internet of Things - Aware Business Processes for Logistics in Enterprise: IoT Enabled Processes and Current Approach Limitations. *Bulletin of the Eurasian Dry Grassland Group*, v. 1, n. 1, p. 29 – 40, setembro 2021. ISSN 2795-7365. Acesso em: 23 ago. 2023.

ZHU, X.; MUKHOPADHYAY, S. K.; KURATA, H. A review of RFID technology and its managerial applications in different industries. **Journal of Engineering and Technology Management**, Elsevier, v. 29, n. 1, p. 152 – 167, jan-mar 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2011.09.011>. Acesso em: 1 out. 2023.

ZUEHLKE, D. Industry 4.0: More than a Technological Revolution. v. 5, n. 10, p. 9 – 10, julho-dezembro 2019. Acesso em: 24 set. 2023.