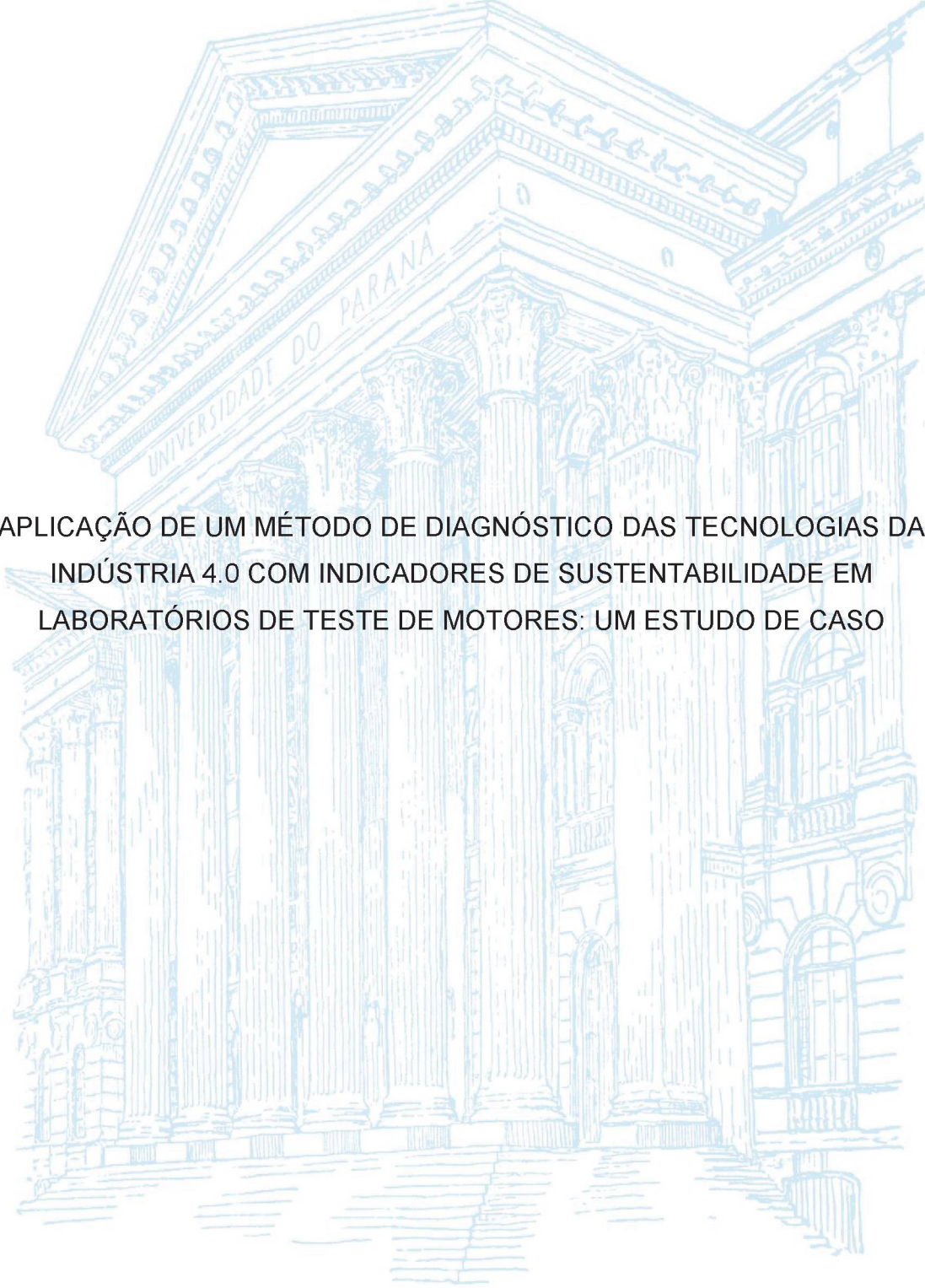


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

THIAGO HENRIQUE DE LISBOA E SILVA



APLICAÇÃO DE UM MÉTODO DE DIAGNÓSTICO DAS TECNOLOGIAS DA
INDÚSTRIA 4.0 COM INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE EM
LABORATÓRIOS DE TESTE DE MOTORES: UM ESTUDO DE CASO

CURITIBA

2019

THIAGO HENRIQUE DE LISBOA E SILVA

APLICAÇÃO DE UM MÉTODO DE DIAGNÓSTICO DAS TECNOLOGIAS DA
INDÚSTRIA 4.0 COM INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE EM
LABORATÓRIOS DE TESTE DE MOTORES: UM ESTUDO DE CASO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, na área de Tecnologia e Inovação, na Linha de Inovação em Projetos, Produtos e Processos. Aplicados à Engenharia de Produção, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Gechele Cleto

CURITIBA

2019

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

S586a Silva, Thiago Henrique de Lisboa
Aplicação de um método de diagnóstico das tecnologias da indústria 4.0 com indicadores de sustentabilidade em laboratórios de teste de motores: um estudo de caso [recurso eletrônico] / Thiago Henrique de Lisboa e Silva - Curitiba, 2019.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção
Orientador: Marcelo Gechele Cleto

1. Motores - teste. 2. Motores - sustentabilidade. 3. Indústria automotiva. I. Universidade Federal do Paraná. II. Cleto, Marcelo Gechele. III. Título.

CDD: 629.28

Bibliotecária: Roseny Rivelini Morciani CRB-9/1585



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR SETOR DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO - 40001016070P1

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA DE PRODUÇÃO da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de THIAGO HENRIQUE DE LISBOA E SILVA intitulada: **APLICAÇÃO DE UM MÉTODO DE DIAGNÓSTICO DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 COM INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE EM LABORATÓRIOS DE TESTE DE MOTORES: UM ESTUDO DE CASO**, após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 26 de Fevereiro de 2019.

MARCELO GEHELE CLETO

Presidente da Banca Examinadora (UFPR)

FERNANDO DESCHAMPS

Avaliador Externo (PUC/PR)

GUSTAVO VALENTIM LOCH

Avaliador Interno (UFPR)

MARCELL MARIANO CORRÊA MACENO

Avaliador Interno (UFPR)

AGRADECIMENTOS

Essa dissertação de mestrado não poderia chegar à sua conclusão sem o precioso apoio de várias pessoas. Em primeiro lugar, não posso deixar de agradecer a Deus e a Nossa Senhora Aparecida por iluminar meu caminho sempre. Ao meu orientador, Professor Doutor Marcelo Gechele Cleto e Marcos Schules por todos seus conhecimentos compartilhados. Desejo igualmente agradecer a minha família e amigos pelo apoio incondicional que me deram durante todo o mestrado, especialmente aos meus pais e minha futura esposa. Agradeço também a todos os professores, colegas e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Paraná, que sempre me ajudaram e me suportaram durante essa caminhada.

Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá.

(Ayrton Senna, 1994)

RESUMO

Durante o desenvolvimento de novos motores ou componentes de motores, bem como auditorias de motores de uma linha de produção, uma das atividades chave é o teste em laboratório ou em bancada. Seja qual for o tipo de teste, de desempenho, durabilidade, ruído ou emissões, as atividades de teste utilizam várias horas para ajustes de calibração e verificação dos requisitos de engenharia. Tais horas compreendem um custo elevado dentro de um projeto ou processo produtivo e também utilizam continuamente recursos naturais, tais como água, ar, energia, entre outros, além dos impactos econômicos e sociais dentro da organização. Um melhor uso desses recursos é importante para que empresas desenvolvam motores e veículos automotivos de uma maneira mais sustentável, garantindo competitividade no mercado. As tecnologias da Indústria 4.0 utilizadas com foco em indicadores de sustentabilidade podem desempenhar um papel importante em melhorias no processo de teste de motores, entretanto, ainda existe pouco material acadêmico publicado vinculando todos esses assuntos. Esse trabalho tem como objetivo aplicar e adaptar um método de diagnóstico disponível na literatura para laboratórios de teste de motores, identificando quais tecnologias da Indústria 4.0 podem ser utilizadas para melhorar indicadores de sustentabilidade. Dessa maneira é possível mapear o processo do caso estudado, identificar as aplicações da Indústria 4.0 e potenciais de melhoria, além de propor ações, visando melhorar indicadores de sustentabilidade em pilares econômicos, sociais e ambientais como, por exemplo, tempos de ciclo, produtividade, utilização dos recursos naturais, energia, entre outros. O uso de um modelo de diagnóstico auxiliou em identificar as tecnologias da indústria 4.0 com indicadores de sustentabilidade em um processo produtivo e ajudou a identificar oportunidades em um laboratório de teste de motores. Antes da aplicação do modelo de diagnóstico não era possível vincular as tecnologias normalmente direcionadas ao termo Indústria 4.0 com um laboratório de teste de motores e ainda apresentar como os indicadores de sustentabilidade podem ser afetados. Ao observar o estudo de caso foi verificado que soluções como o uso de sistemas integrados com ferramentas de sistemas supervisórios (SCADA), Realidade Aumentada e Big Data, são as tecnologias com maior potencial de aplicação no laboratório, com impactos diretos nos indicadores ambientais, sociais e econômicos.

Palavras-chave: Indústria 4.0, Teste de Motores, Motor, Teste, Emissões, Sustentabilidade.

ABSTRACT

During the development of new engines or engine components, as well as engine audits of a production line, one of the key activities is laboratory or bench testing. Regardless of the type of test, performance, durability, noise or emissions, the test activities use several hours for calibration adjustments and verification of engineering requirements. These hours comprise a high cost within a project or process, as well as the continuous use of natural resources, such as water, air, energy, among others, in addition to the economic and social impacts within the organization. Optimizing the use of these resources is of the most importance for companies to develop engines and automotive vehicles in a sustainable way and be compatible in the market. Industry 4.0 technologies with sustainability indicators can be used to focus on improvements in the engine test process, however, there is little published academic material linking all of these issues. This work has the objective to apply and adapt a diagnose method, in order to identify which technologies of Industry 4.0 can be used in an engine test laboratory based on sustainability indicators. Thus, it is possible to map the process of the case study, identify Industry 4.0 applications and improvements potential, as well as propose actions for improvement of sustainability indicators in economic, social and environmental pillars, such as cycle times, productivity, use of natural resources, energy, among others. The use of a diagnostic method helped identify the industry's 4.0 technologies with sustainability indicators in a productive process and helped identify opportunities in an engine test laboratory. Prior to the application of the diagnostic model it was not possible to link the technologies normally linked to the term Industry 4.0 with an engine test laboratory and to show how the sustainability indicators can be affected. Observing the case study, it was verified that solutions such as the use of integrated systems with tools of supervisory systems (SCADA), Augmented Reality and Big Data, are the technologies with the greatest potential of application in the laboratory, with direct impacts on the environmental, social indicators and economic.

Key-words: Industry 4.0. Engine Testing. Bench Testing. Emissions Testing, Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – PILARES DA SUSTENTABILIDADE	17
FIGURA 2 – ESTRATÉGIA DA BUSCA DA REVISÃO SISTEMÁTICA	21
FIGURA 3 – RESULTADO DA PESQUISA SISTEMÁTICA.....	27
FIGURA 4 – EVOLUÇÃO DA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL	30
FIGURA 5 – SISTEMAS CYBER-FÍSICOS	32
FIGURA 6 – EXEMPLO DE MOTOR CICLO DIESEL GERADOR (TAD1342GE)	39
FIGURA 7 – EXEMPLO DE MOTOR DIESEL CAMINHÃO (D13C).....	39
FIGURA 8 – COMPOSIÇÃO DO GÁS DE ESCAPE DE UM MOTOR DIESEL	40
FIGURA 9 – LABORATÓRIO DE TESTE DE MOTORES.....	44
FIGURA 10 – SISTEMA TERMODINÂMICO ABERTO.....	45
FIGURA 11 – ESQUEMA DE CÉLULA DE TESTE COM DINAMÔMETRO	46
FIGURA 12 – MÉTODO PROPOSTO POR SCHULES	48
FIGURA 13 – NÍVEIS ANSI/ISA 95	58
FIGURA 14 – SUSTENTABILIDADE DO ESTUDO DE CASO	58
FIGURA 15 – DIVISÃO DO LABORATÓRIO DE TESTE DE MOTORES.....	61
FIGURA 16 – EXEMPLO DE MFV APLICADO AO CASO.....	65
FIGURA 17 – EXEMPLO DE SVSM APLICADO AO CASO	65
FIGURA 18 – EXEMPLO DE VSM 4.0 APLICADO AO CASO.....	66
FIGURA 19 – EXEMPLO DE TELAS – SCADA.....	70
FIGURA 20 – EXEMPLO DE REALIDADE AUMENTADA.....	72
FIGURA 21 – EXEMPLO DE DIGITALIZAÇÃO DO LABORATÓRIO	73
FIGURA 22 – DIGITALIZAÇÃO AUXILIANDO A MANUTENÇÃO	74
FIGURA 23 – EXEMPLO DE TELA POWER BI.....	77
FIGURA 24 – SIMULAÇÃO DE ESCOAMENTO DE LINHA DE ESCAPAMENTO...	78
FIGURA 25 – SIMULAÇÃO DE ESCOAMENTO DE SCR.....	78

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – INDUSTRY 4.0 AND ENGINE / ENGINE TESTING	26
GRÁFICO 2 – INDUSTRY 4.0 AND TESTING / EMISSIONS	26
GRÁFICO 3 – ENGINE TESTING / INDUSTRY 4.0 AND SUSTAINABILITY	26

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – COMPARAÇÃO DE FÁBRICAS AUTOMATIZADAS E 4.0	18
QUADRO 2 – IMPACTOS DA INDÚSTRIA 4.0 EM SUSTENTABILIDADE	28
QUADRO 3 – EVOLUÇÃO DE 1.0 A 4.0	29
QUADRO 4 – INICIATIVAS RELACIONADAS A INDÚSTRIA 4.0	31
QUADRO 5 – EVOLUÇÃO DA NORMA EURO DE EMISSÕES.....	41
QUADRO 6 – LABORATÓRIOS DE TESTE DE MOTORES NO BRASIL.....	47
QUADRO 7 – MODELOS DE MAPA DE FLUXO DE VALOR.....	49
QUADRO 8 – CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	51
QUADRO 9 – CONSUMO DE ENERGIA DA EMPRESA	59
QUADRO 10 – EMISSÕES.....	59

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – INDUSTRY 4.0 AND ENGINE TESTING.....	22
TABELA 2 – INDUSTRY 4.0 AND ENGINE	23
TABELA 3 – INDUSTRY 4.0 AND TESTING	23
TABELA 4 – INDUSTRY 4.0 AND EMISSIONS	24
TABELA 5 – ENGINE TESTING AND SUSTAINABILITY	24
TABELA 6 – INDUSTRY 4.0 AND SUSTAINABILITY	25
TABELA 7 – TECNOLOGIAS ASSOCIADAS À INDÚSTRIA 4.0.....	35
TABELA 8 – FONTE DE EVIDÊNCIAS.....	56
TABELA 9 – MÉTODOS DE COLETA	57
TABELA 10 – INDICADORES SOCIAIS, ECONÔMICOS E ESTRATÉGICOS	60
TABELA 11 – APLICAÇÕES DAS TECNOLOGIAS.....	67
TABELA 12 – VARIÁVEIS DE TESTE	74
TABELA 13 – OPORTUNIDADES E INDICADORES	80

LISTA DE SIGLAS

AGCO	- Allis-Gleaner Corporation
AGVP	- Automated Guided Vehicle
CAD	- Computer Aided Design
CAM	- Computer Aided Manufacturing
CAN	- Controller Area Network
CETESB	- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo
CONAMA	- Conselho Nacional do Meio Ambiente
CO	- Monóxido de Carbono
CO ₂	- Dióxido de Carbono
CLP	- Controlador Lógico Programável
CNH	- Case New Holland
HC	- Hidrocarbonetos
HCFC (R22)	- Clorodifluorometano
H ₂	- Hidrogênio
H ₂ O	- Água
IAV	- Ingenieurgesellschaft Auto und Verkehr
IP	- Internet Protocol
IPT	- Instituto de Pesquisas Tecnológicas
MES	- Manufacturing Execution Systems
MFV	- Mapeamento de Fluxo de Valor
NO _x	- Óxidos de Nitrogênio
OECD	- Organization for Economic Co-operation and Development
OEE	- Overall Equipment Effectiveness
OHSAS	- Occupational Health and Safety Assessment Series
PM	- Material Particulado
PROCONVE	- Programa de Controle de Emissões Veiculares
SCADA	- Supervisory Control And Data Acquisition
SCR	- Selective Catalytic Reduction
SO ₂	- Dióxido de Enxofre
TBL	- Triple Bottom Line
XML	- Extensible Markup Language

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA.....	17
1.2	JUSTIFICATIVA.....	18
1.3	OBJETIVOS	20
1.3.1	Objetivo Geral.....	20
1.3.2	Objetivos Específicos	20
1.4	DELIMITAÇÃO DO TRABALHO.....	20
2	REVISÃO DA LITERATURA	21
2.1	REVISÃO SISTEMÁTICA.....	21
2.1.1	Indústria 4.0, Laboratório de Teste de Motores e Sustentabilidade.....	22
2.2	INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE	27
2.3	INDÚSTRIA 4.0	29
2.4	LABORATÓRIO DE TESTE DE MOTORES	37
2.4.1	Motores de Combustão Interna	37
2.4.2	Emissões	40
2.4.3	Laboratório de Teste de Motores de Combustão Interna	43
2.5	O MÉTODO DE DIAGNÓSTICO PROPOSTO POR SCHULES	47
2.5.1	ETAPA 1	49
2.5.2	ETAPA 2.....	49
2.5.3	ETAPA 3.....	50
2.5.4	ETAPA 4.....	50
3	METODOLOGIA.....	51
3.1	CLASSIFICAÇÃO	51
3.1.1	Classificação quanto à natureza.....	51
3.1.2	Classificação quanto aos objetivos.....	52
3.1.3	Classificação quanto à abordagem.....	52
3.1.4	Classificação quanto aos procedimentos	53
3.2	PROCEDIMENTOS	54
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
4.1	SUSTENTABILIDADE NA EMPRESA DO ESTUDO DE CASO	58
4.2	APLICAÇÃO DO MÉTODO DE DIAGNÓSTICO – ETAPA 1	61
4.3	APLICAÇÃO DO MÉTODO DE DIAGNÓSTICO – ETAPA 2	66

4.4	APLICAÇÃO DO MÉTODO DE DIAGNÓSTICO – ETAPA 3 E ETAPA 4	68
4.4.1	OPORTUNIDADE 1 – SISTEMA INTEGRADOS.....	69
4.4.2	OPORTUNIDADE 2 – REALIDADE AUMENTADA PARA MANUTENÇÃO .	71
4.4.3	OPORTUNIDADE 3 – BIG DATA INTEGRADO	74
4.4.4	OPORTUNIDADE 4 – SIMULAÇÃO.....	77
4.4.5	OUTRAS OPORTUNIDADES	78
4.5	COMPILAÇÃO DAS OPORTUNIDADES	79
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	81
5.1	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	82
	REFERÊNCIAS.....	84
	ANEXO A – CRONOGRAMA	90

1 INTRODUÇÃO

O termo Indústria 4.0 vem sendo bastante abordado no meio acadêmico e industrial, desde que o governo alemão passou a adotá-lo em 2011 como uma iniciativa estratégica, sendo considerada como a quarta revolução industrial, integrando tecnologias como internet das coisas, big data, com mecanização, eletrificação e tecnologia da informação, transformando-as em sistemas Cyber-Físicos ou fábricas inteligentes. Tal estratégia visa o aumento de produtividade e flexibilidade de processos produtivos, levando ao aumento de ganhos econômicos (FRANK *et al.*, 2013). KAGERMANN *et al.* (2013), como precursores dos estudos envolvendo a Indústria 4.0, definem que a integração de sistemas cyber-físicos e internet das coisas, na manufatura, processos produtivos e logísticos terão uma relevância alta para tomadas de decisões estratégicas importantes e rápidas das empresas. A maioria das empresas está determinada a desenvolver produtos e introduzir inovação tecnológica e organizacional, de modo a criar um maior valor agregado para os clientes, os quais estão se tornando cada vez mais conscientes e exigentes em termos de prazo de entrega, disponibilidade e confiabilidade, de modo que as tecnologias mais recentes da Indústria 4.0 como, criam oportunidades para atender às necessidades dos clientes, com tomadas de decisões mais rápidas (WITKOWSKI, 2017).

Laboratórios de teste de motores de combustão interna são instalações complexas onde os motores são testados e calibrados de acordo com diversas legislações de emissões de poluentes e requisitos de engenharia, como desempenho, potência, torque e consumo de combustível (ATKINS, 2009). Tais instalações possuem a integração de vários sistemas mecânicos, eletrônicos e químicos, monitorados e controlados por equipamentos e um sistema de automação dedicado. Alguns desses sistemas integrados poderiam já estar alinhados com as tecnologias da Indústria 4.0 devido ao alto nível de automação e sensorização, entretanto, em alguns casos ainda não são identificados com o termo (ATKINS, 2009).

Com a crescente complexidade do desenvolvimento de motores e seus sistemas de gerenciamento eletrônicos, bem como com legislações cada vez mais rigorosas em termos de emissões de poluentes, ciclos de desenvolvimento mais curtos, menor custo de desenvolvimento, é exigido constantemente uma maior

eficiência em tempo e precisão no processo de calibração e desempenho do motor (KINOO *et al.*, 2002). Uma aplicação orientada para a qualidade de indicadores de sustentabilidade com eficiência em tempo só é possível usando ferramentas que possibilitem testes mais eficientes (HAFNER, 2002).

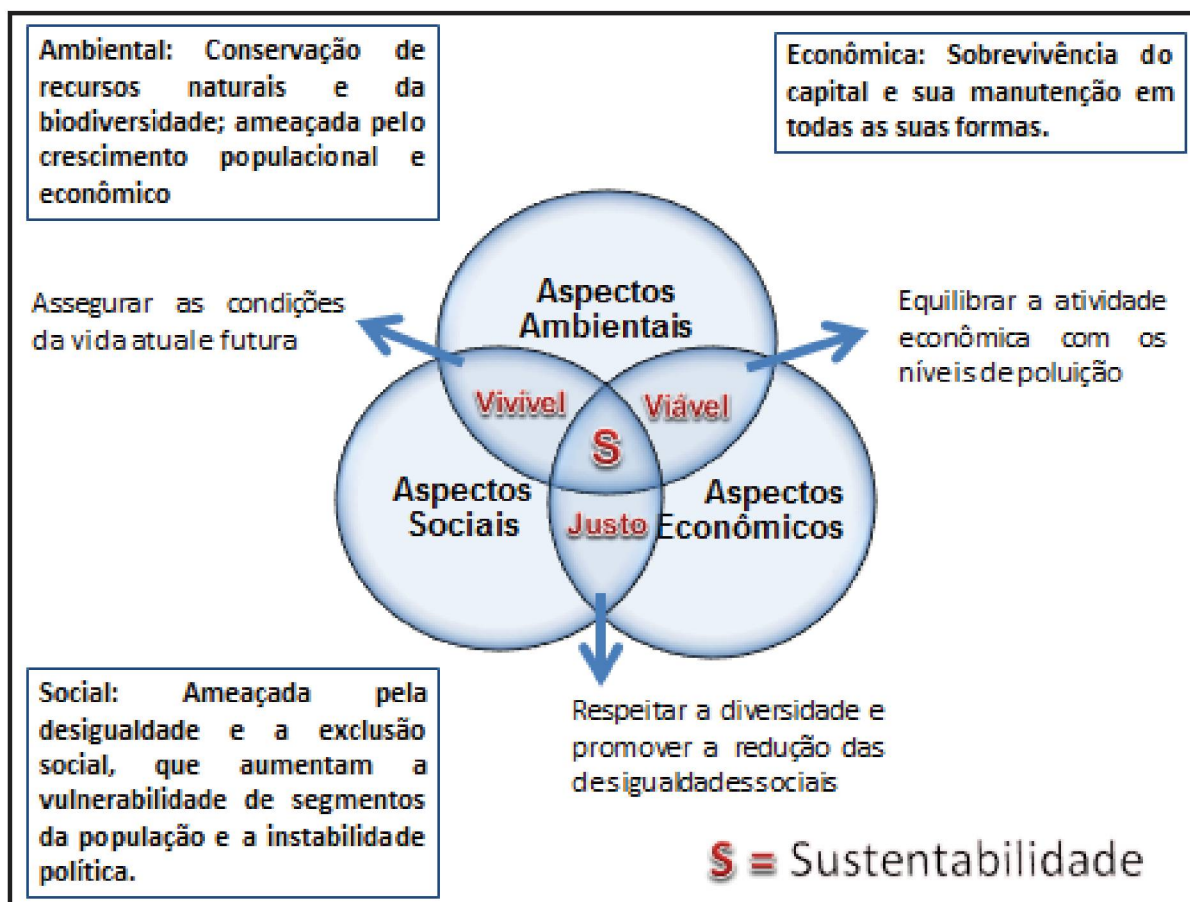
GARETTI e TAISCH (2012), afirmam que a sustentabilidade é uma das respostas para garantir o futuro de nossas gerações, onde os recursos naturais não são infinitos e a capacidade de regeneração do meio ambiente necessita ser valorizada. A produção industrial ainda é uma das forças motrizes mais importantes da nossa economia, mas, por outro lado, é uma das principais causas de consumo de recursos naturais e emissão de poluentes, sendo que diante disso há uma necessidade bem reconhecida de cada vez mais aplicar conceitos de sustentabilidade dentro das organizações (JAYAL *et al.*, 2010). Não diferente de um laboratório de teste de motores onde as saídas do processo são principalmente os gases provenientes da queima de combustível.

A sociedade global passou por uma mudança de paradigma da proteção ambiental para a sustentabilidade desde os anos 80, considerando que a sustentabilidade não pode se concentrar apenas no impacto ambiental, mas sim consistir em três dimensões, ambiental, econômica, e de bem-estar social, para as quais a sociedade precisa encontrar equilíbrio (FINKBEINER, 2009).

ELKINGTON (1999) já apresentava o conceito Triple Bottom Line (TBL), termo utilizado mundialmente, também conhecido como os três pilares de sustentabilidade, mostrando a importância de as empresas incorporarem três pilares à sua estratégia de negócio, prosperidade econômica, justiça social e proteção ao meio ambiente. Todos se tornam parte do desenvolvimento dos processos e produtos e ao gerar valores econômicos, sociais e ambientais, as companhias podem valorizar sua marca e fortalecer sua participação no mercado.

Os três pilares de sustentabilidade podem ser descritos como: a) Ambiental, onde a conservação de recursos naturais é ameaçada pelo crescimento populacional e o uso de recursos naturais, b) Econômica, onde foca na sobrevivência do capital é soberana e c) Social, onde o bem estar social é ameaçado pela desigualdade e condições de trabalho (NICHIOKA, 2018). A figura 1 representa os três pilares de sustentabilidade.

FIGURA 1 – PILARES DA SUSTENTABILIDADE



FONTE: Adaptado de NICHIOKA (2018).

Com o uso de tecnologias da Indústria 4.0, os novos modelos de negócios são direcionados a utilizar um alto nível de automação e dados inteligentes para oferecer novos serviços mais sustentáveis, baseados nos três pilares da sustentabilidade (STOCK, 2016).

1.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

A questão da pesquisa a ser respondida é descrita em **como** identificar oportunidades de melhorias em indicadores de sustentabilidade, aplicando um método de diagnóstico das tecnologias da Indústria 4.0 em um laboratório de teste de motores.

As abordagens surgidas recentemente sobre a Indústria 4.0 sugerem que para sistemas que estão interconectados como, por exemplo, sistemas cyber-físicos, devem acompanhar os dados de processo e realizar a sincronização entre o sistema físico e o espaço computacional cibernético, fazendo com que uma rede de

máquinas passe a funcionar de forma mais eficiente, colaborativa e resiliente BAGHERI *et al.* (2015).

A lacuna de conhecimento no meio acadêmico se encontra na falta de publicações que liguem diretamente os termos da Indústria 4.0 com os termos teste e laboratórios de motores e ainda com indicadores de sustentabilidade. O alto nível de automação encontrado em laboratórios de motores não necessariamente está vinculado às ferramentas da Indústria 4.0. BAGHERI *et al.* (2015) compara fábricas e processos automatizados com os que utilizam ferramentas da Indústria 4.0 no quadro 1. Em relação a laboratório de teste de motores, estes podem ser considerados como processos produtivos.

QUADRO 1 – COMPARAÇÃO DE FÁBRICAS AUTOMATIZADAS E 4.0

Sistema	Dados	Fábricas/processos Automatizadas		Fábricas/processos da Indústria 4.0	
		Atributos	Tecnologia	Atributos	Tecnologia
Componente	Sensores	Precisão	Sensores Inteligentes Detecção de falha	Autoconsciente Preditivo	Monitoramento do desgaste
Máquina	Controlador	Produtividade e Desempenho	Monitoramento e Diagnóstico	Autoconsciente Preditivo Auto comparativo	Monitoramento Preditivo
Sistema de Produção	Sistema em rede	Produtividade e OEE	Operação LEAN e redução de desperdício	Autoconfigurável Manutenção autônoma Auto-organização	Produtividade independente

FONTE: Adaptado de BAGHERI (2015).

Assim, ainda existe uma lacuna de como identificar quais ferramentas seriam importantes para o uso em laboratórios de teste de motores, visando aumento de produtividade, melhoria nos índices de sustentabilidade e consequentemente ganhos econômicos, sociais, ambientais, entre outros, para uma organização em um nível de fábrica inteligente.

1.2 JUSTIFICATIVA

Algumas das tecnologias, ferramentas e métodos da Indústria 4.0 podem ser identificadas em processos industriais atuais, principalmente em processos onde existe um nível de automação elevado, entretanto, em alguns casos não são feitas relações diretas com os termos e estratégias da Indústria 4.0, por ser um termo relativamente novo para indústria no Brasil.

As inovações tecnológicas que modelam a indústria avançada atualmente têm na sua base novos processos digitais, altamente integrados e intensivos em automação. Diferentes tecnologias com origens e funções diversas interagem e se agregam em blocos que podem ser classificados de acordo com suas relações funcionais entre tecnologias de engenharia de desenvolvimento de produto, tecnologias de processo e tecnologias de gestão, que permitem acelerar a comunicação dentro das organizações e ao longo das cadeias de valor (ARBIX *et al.*, 2017).

Laboratórios de teste de emissões e desempenho de motores de combustão interna representam um custo bastante alto em horas de desenvolvimento de um novo produto, ou em melhorias contínuas de produtos correntes. Devido às legislações exigirem motores e sistemas automotivos cada vez mais complexos para diminuir o impacto ambiental e humano, proveniente de emissões de poluentes, sem perder a eficiência e mantendo um balanço de consumo de combustível aceitável, as horas de um projeto tornam-se cada vez maiores. Além do que, os controles e auditorias dos motores produzidos em série ocorrem com uma frequência ainda maiores relacionados às emissões de poluentes (ATKINS, 2009).

A Indústria 4.0 atua como catalisadora e facilitadora de novas tecnologias que irão auxiliar as empresas em suas estratégias. A integração da Indústria 4.0 é uma realidade cada vez mais acentuada na atualidade que irá trazer benefícios não apenas em sua eficiência no processo de produção, como também benefícios econômicos e impactos sociais positivos, onde tais aspectos estão ligados diretamente com sustentabilidade e com impactos econômicos, sociais e ambientais. (CESAR *et al.*, 2016).

Esse trabalho visa identificar como essas tecnologias, ferramentas e métodos da Indústria 4.0 estão presentes em um laboratório de teste de motores, exemplificando a identificação dos indicadores de sustentabilidade e produtividade quando presentes. A partir da aplicação de um método de diagnóstico é possível propor tecnologias da Indústria 4.0, a fim de obter cada vez mais eficiência em sustentabilidade e produtividade dentro do processo produtivo de teste de motores.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral e principal deste trabalho é aplicar e adaptar o método de diagnóstico das tecnologias da Indústria 4.0 com indicadores de sustentabilidade, proposto por SCHULES (2018), em laboratórios de teste de motores, gerando discussões sobre a aplicação do método. Através desse diagnóstico espera-se identificar as principais características de laboratório de teste de motores, tecnologias da indústria 4.0 e indicadores de sustentabilidade para se propor oportunidades com foco em melhorias nos indicadores de sustentabilidade.

1.3.2 Objetivos Específicos

Para atingir o Objetivo Geral, objetivos específicos para o trabalho foram elaborados:

- a) Mapear o processo de um laboratório de teste de motores;
- b) Identificar as principais características das tecnologias da Indústria 4.0 e as principais características de um laboratório de teste de motores;
- c) Identificar os principais indicadores de sustentabilidade presentes em um laboratório de teste de motores;
- d) Identificar oportunidades de melhorias em indicadores de sustentabilidade, utilizando tecnologias da Indústria 4.0.

1.4 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

Esse trabalho limita-se ao estudo das tecnologias, ferramentas e métodos da Indústria 4.0 com indicadores de sustentabilidade que podem ser encontrados em um laboratório de teste de motores de combustão interna, presente na indústria automotiva. Tal laboratório limita-se a testes de motores de combustão interna, ciclo DIESEL, de médio e grande porte, podendo operar 24 horas por dia. Outros laboratórios podem utilizar diversas outras tecnologias dependendo das normas e legislações vigentes aplicadas para a certificação e homologação de diferentes motores e testes específicos de desempenho, durabilidade, ruído, emissões de poluentes frente às normas vigentes.

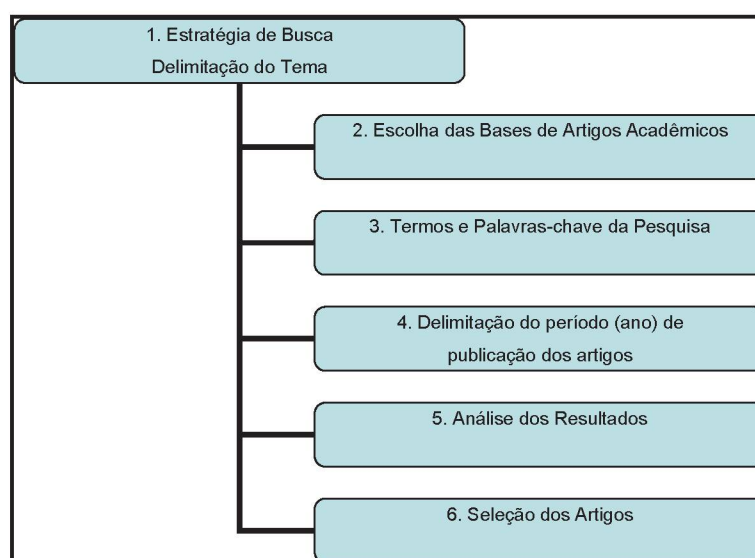
2 REVISÃO DA LITERATURA

O presente capítulo apresenta uma revisão da literatura de modo a encontrar os principais artigos relacionados com as palavras-chave da pesquisa e descrever o que de mais relevante a literatura acadêmica veem tratando sobre os tópicos. De modo a restringir a busca e realizar um filtro nas bases de artigos acadêmicos, optou-se por uma revisão sistemática da literatura.

2.1 REVISÃO SISTEMÁTICA

Uma revisão sistemática, assim como outros tipos de estudo de revisão, é uma forma de pesquisa que utiliza como fonte de dados a literatura sobre um determinado tema (SAMPAIO e MANCINI, 2007). Esse tipo de investigação pode disponibilizar um resumo das evidências relacionadas a uma estratégia de intervenção específica, mediante a aplicação de métodos explícitos e sistematizados de busca, apreciação crítica e síntese das informações selecionadas. A ideia de realizar uma revisão sistemática é encontrar o que já foi publicado sobre a relação entre Indústria 4.0 e laboratório de teste de motores com indicadores de sustentabilidade. Para guiar a pesquisa, foi criada uma estratégia de busca, para determinar a seleção de artigos conforme figura 2.

FIGURA 2 – ESTRATÉGIA DA BUSCA DA REVISÃO SISTEMÁTICA



FONTE: o autor (2018).

As revisões sistemáticas são úteis para integrar as informações de um conjunto de estudos realizados separadamente sobre um determinado tema que

podem apresentar resultados conflitantes ou similares, bem como identificar temas que necessitam de evidência, auxiliando na orientação para investigações futuras (LINDE e WILLICH, 2003).

2.1.1 Indústria 4.0, Laboratório de Teste de Motores e Sustentabilidade

A questão formulada para a pesquisa sistemática levou em consideração a relevância do termo Indústria 4.0 e termos relacionados a teste de motores (definição da pergunta científica). O procedimento utilizado para a elaboração da pesquisa sistemática levou em questão o ano da publicação dos artigos pesquisados, considerando como ponto de partida o ano de 2012, onde o termo Indústria 4.0 passou a ser relevante (KAGERMANN *et al.*, 2013). As bases utilizadas foram duas das bases mais utilizadas no meio acadêmico, ScienceDirect e Scopus, onde o idioma utilizado foi o inglês de modo a obter uma maior relevância nos resultados da pesquisa. As palavras-chave dos temas Indústria 4.0 e teste de motores foram divididas em: Industry 4.0, Engine Testing, Engine, Testing, Emissions e Sustainability. O operador booleano “AND” foi incluído na busca das bases para se encontrar referências cruzadas entre os termos. Além disso, os termos foram pesquisados na base, tanto no texto completo dos artigos, ScienceDirect, *Full Text* e para Scopus, *All Fields*, quanto somente no título, abstract ou palavras-chave. Os resultados com as quantidades de artigos encontrados foram compilados nas tabelas 2, 3, 4, 5, 6 e 7.

TABELA 1 – INDUSTRY 4.0 AND ENGINE TESTING

Palavras-Chave	Ano	Busca: Title, Abstract, Key Words		Busca: Full Text (Science Direct) All Fields (Scopus)	
		Science Direct	Scopus	Science Direct	Scopus
"Industry 4.0" AND "Engine Testing"	2012	0	0	0	0
	2013	0	0	0	0
	2014	0	0	0	0
	2015	0	0	0	0
	2016	0	0	0	0
	2017	0	0	0	0
	2018	0	0	2	1
Total		0	0	2	1

FONTE: o autor (2018).

TABELA 2 – INDUSTRY 4.0 AND ENGINE

Palavras-Chave	Ano	Busca: Title, Abstract, Key Words		Busca: Full Text (Science Direct) All Fields (Scopus)	
		Science Direct	Scopus	Science Direct	Scopus
"Industry 4.0" AND "Engine"	2012	0	0	0	0
	2013	0	1	1	1
	2014	0	1	8	4
	2015	0	2	20	12
	2016	0	8	55	44
	2017	1	10	135	83
	2018	4	29	379	231
Total		5	51	598	375

FONTE: o autor (2018).

TABELA 3 – INDUSTRY 4.0 AND TESTING

Palavras-Chave	Ano	Busca: Title, Abstract, Key Words		Busca: Full Text (Science Direct) All Fields (Scopus)	
		Science Direct	Scopus	Science Direct	Scopus
"Industry 4.0" AND "Testing"	2012	0	0	0	0
	2013	0	1	2	1
	2014	0	1	8	8
	2015	0	1	47	18
	2016	0	12	141	72
	2017	16	35	436	200
	2018	47	56	1411	378
Total		63	106	2045	677

FONTE: o autor (2018).

TABELA 4 – INDUSTRY 4.0 AND EMISSIONS

Palavras-Chave	Ano	Busca: Title, Abstract, Key Words		Busca: Full Text (Science Direct) All Fields (Scopus)	
		Science Direct	Scopus	Science Direct	Scopus
"Industry 4.0" AND "Emissions"	2012	0	0	0	0
	2013	0	0	0	0
	2014	0	0	1	0
	2015	0	1	10	8
	2016	0	0	26	22
	2017	1	4	100	48
	2018	8	19	314	156
Total		9	24	451	234

FONTE: o autor (2018).

TABELA 5 – ENGINE TESTING AND SUSTAINABILITY

Palavras-Chave	Ano	Busca: Title, Abstract, Key Words		Busca: Full Text (Science Direct) All Fields (Scopus)	
		Science Direct	Scopus	Science Direct	Scopus
"Engine Testing" AND "Sustainability"	2012	0	0	81	5
	2013	2	0	95	4
	2014	1	0	102	4
	2015	3	1	125	6
	2016	4	0	126	7
	2017	3	0	155	1
	2018	1	1	151	9
Total		14	2	835	36

FONTE: o autor (2018).

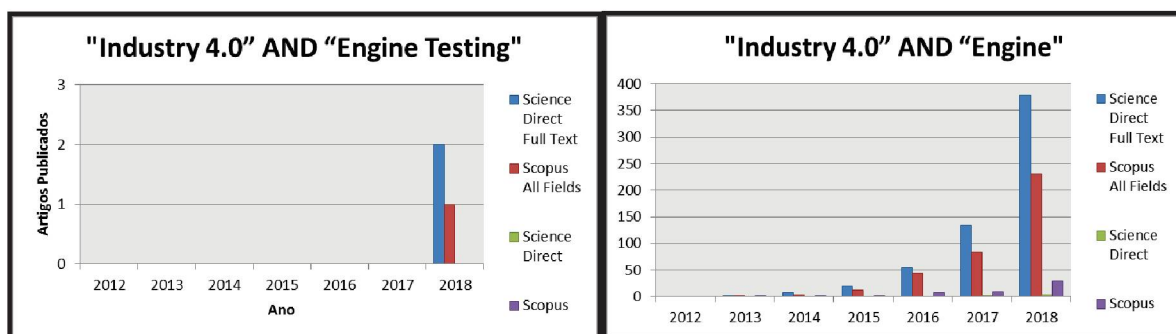
TABELA 6 – INDUSTRY 4.0 AND SUSTAINABILITY

Palavras-Chave	Ano	Busca: Title, Abstract, Key Words		Busca: Full Text (Science Direct) All Fields (Scopus)	
		Science Direct	Scopus	Science Direct	Scopus
"Industry 4.0" AND "Sustainability"	2012	0	0	0	0
	2013	0	0	0	0
	2014	2	3	16	6
	2015	3	2	40	26
	2016	3	6	93	73
	2017	14	33	228	222
	2018	43	64	719	503
	Total	65	108	1096	830

FONTE: o autor (2018).

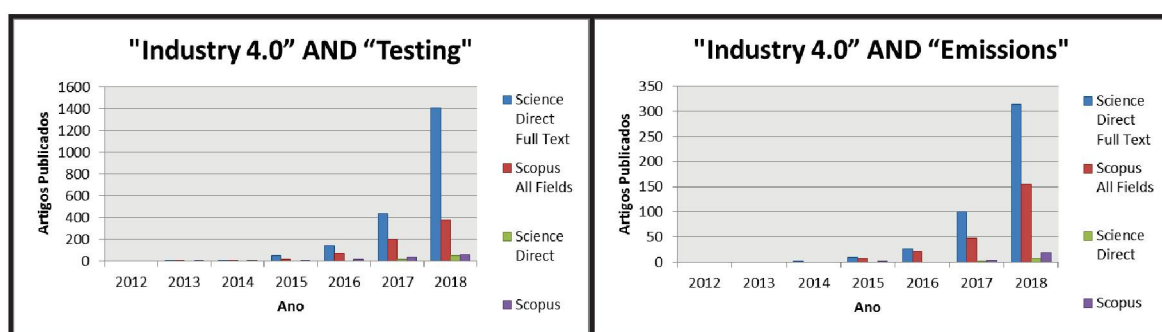
Os resultados das buscas mostraram que ainda não existe uma relação tão direta entre os termos Industry 4.0 e termos referentes a teste de motores. O maior número de resultados de artigos encontrados foi quando a busca pesquisou palavras-chave no texto dos artigos, entretanto acabou com resultados muito amplos e na maioria das vezes sem ligação direta aos termos da pesquisa. Já aplicando um filtro maior, apenas buscando os termos no título, abstract e palavras-chave, o resultado foi bem mais restrito, com uma quantidade de artigos menores. Ainda assim, dentro dos resultados mais restritos, a quantidade de artigos encontrados que são diretamente referentes à Indústria 4.0, Laboratório de Teste de Motores e Sustentabilidade foi pequena. Como o termo Indústria 4.0 é uma tendência em publicações, muitos trabalhos nas áreas de eletrônica e computação possuem o termo em seu título de modo a se enquadrar no fluxo de pesquisa. Tal prática acaba colocando em risco o uso do termo Indústria 4.0 como palavra-chave de busca, pois o processo de filtros se transforma em uma tarefa mais difícil. Por outro lado, é possível existir trabalhos publicados que estejam relacionados à Indústria 4.0, entretanto não utilizam a palavra-chave no título, não se identificando diretamente como parte do movimento da Indústria 4.0 (SANTOS *et al.*, 2018).

GRÁFICO 1 – INDUSTRY 4.0 AND ENGINE / ENGINE TESTING



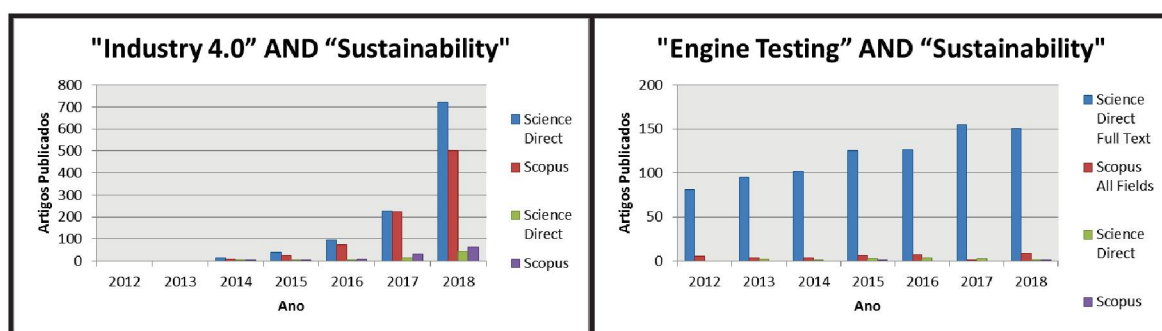
FONTE: o autor (2018).

GRÁFICO 2 – INDUSTRY 4.0 AND TESTING / EMISSIONS



FONTE: o autor (2018).

GRÁFICO 3 – ENGINE TESTING / INDUSTRY 4.0 AND SUSTAINABILITY



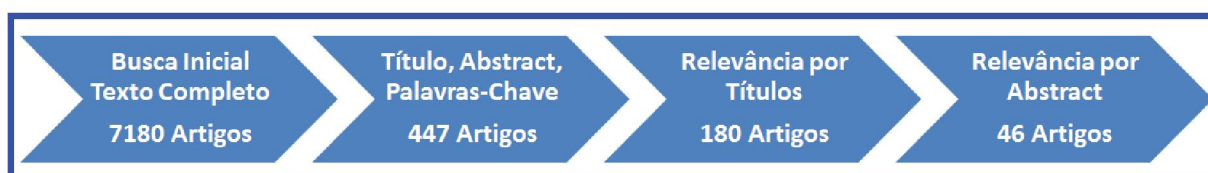
FONTE: o autor (2018).

Quando os termos Industry 4.0 e Testing foram utilizados houve como resultado um maior número de artigos encontrados, entretanto o termo Testing pode ser considerado como qualquer tipo de teste em qualquer área de conhecimento e na sua maioria não estará vinculado exclusivamente com teste de motores. O resultado de artigos encontrados, utilizando os termos Industry 4.0 e Engine Testing foi praticamente nulo. Quando os termos Industry 4.0 e Engine Testing foram cruzados com o termo Sustainability, um número relativamente grande de artigos também foi encontrado. Pesquisas com o termo Industry 4.0 passaram a ser cada

vez mais relevantes desde 2012, mostrando picos de publicações nos anos de 2017 e 2018, de acordo com os gráficos 1, 2 e 3.

Com a dificuldade de encontrar artigos diretamente ligados à Indústria 4.0 e teste de motores, foi realizado um filtro ainda maior, considerando os resultados de todos os cruzamentos das palavras-chave. Primeiramente restringiu-se a pesquisa com os termos apenas no título, abstract e palavras-chave, depois foi avaliada a relevância do título desses artigos e posteriormente o conteúdo do abstract. A figura 3 mostra o resultado da pesquisa sistemática, onde 46 artigos foram escolhidos, contendo temas relevantes para a pesquisa sobre indústria 4.0, laboratório de motores e indicadores de sustentabilidade, ainda que não possuam conexão direta entre os termos. Artigos sobre mapas de fluxo de valor (Faulkner & Badurdeen, Meudt e Haschemi & Roessler), artigos mais recentes sobre a Indústria 4.0, além do trabalho de SCHULES (2018) foram inclusos, pelo tema fazer parte do método de diagnóstico.

FIGURA 3 – RESULTADO DA PESQUISA SISTEMÁTICA



FONTE: o autor (2018).

2.2 INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE

Segundo SINGH (2014), grandes empresas globais têm desenvolvido a capacidade necessária para alcançar uma produção sustentável. Em 2005, a General Electric anunciou o “*Ecoimagination*” para aumentar os negócios da empresa, considerando o aspecto ambiental. Retornando de quase falência em 2008, a General Motors adotou a sustentabilidade como um princípio importante em seus negócios e práticas. O conceito de desenvolvimento sustentável tornou-se familiar para o público através do relatório “*Our Common Future*”, que foi publicado em 1987 pelo “*World Commission on Environment and Development*”. O desenvolvimento sustentável foi definido como desenvolvimento que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras (WCED, 1987). ELKINGTON (1993) integra três aspectos (pilares) de sustentabilidade, ambiental, social e econômico onde é inserido um processo de

mudança, em que as sociedades melhoram sua qualidade de vida, atingindo equilíbrio dinâmico entre os aspectos econômicos e sociais, protegendo e melhorando o ambiente natural.

Através do trabalho de SCHULES (2018) foram compilados os possíveis impactos da Indústria 4.0 nos três pilares de sustentabilidade. Tais impactos são uma imagem dos possíveis indicadores os quais podem ser muitos, dependendo de empresa para empresa. O quadro 2 apresenta a compilação desses impactos.

QUADRO 2 – IMPACTOS DA INDÚSTRIA 4.0 EM SUSTENTABILIDADE

Pilar da Sustentabilidade	Impactos da Indústria 4.0 nos Pilares da Sustentabilidade
Social	Maior número de empregados na área de serviços e pesquisa e desenvolvimento
	Trabalhadores mais qualificados e novas profissões
	Condições de trabalho melhores, com satisfação e menos estresse
	Diminuição dos manuais e repetitivos
	Maior autonomia e flexibilidade
	Amenizar a falta de trabalhadores qualificados
	Vida profissional prolongada
	Colaboração entre pessoas e máquinas
	Ambiente de trabalho móvel
	Maior desenvolvimento da criatividade
	Aumento no desempenho dos trabalhadores
	Processo de tomada de decisões otimizado
	Condições de trabalho menos exigentes fisicamente
	Melhores oportunidades profissionais para pessoas especiais
	Maior proporção de idosos e mulheres na indústria
Menor número de acidentes de trabalho	
Ambiental	Redução no consumo de recursos / matéria-prima
	Melhor eficiência no uso de energia
	Melhores índices de poluição
	Menor degradação ao meio ambiente
	Redução nas taxas de retrabalho
	Redução de set-up
	Minimização de defeitos de qualidade
	Custo de produção independente do tamanho dos lotes
	Respostas mais rápidas às demandas de mercado
	Menores prazos de entrega
Econômico	Maior investimento em pesquisa e desenvolvimento
	Aumento na produtividade
	Aumento da competitividade e valor adicionado
	Aumento nas receitas da empresa
	Aumento na flexibilidade dos negócios
	Novas oportunidades para pequenas, médias empresas e startups
	Abertura de novos segmentos de clientes
	Lançamento de novos produtos e aumento de portfólio
	Pequenos lotes de produção (lote unitário)
	Cadeia de valor mais colaborativa
	Produção de acordo com os requisitos individuais dos clientes
	Aumento na satisfação dos clientes
Maior integração do cliente na cadeia de valor	

FONTE: Adaptado de SCHULES (2018).

2.3 INDÚSTRIA 4.0

O meio acadêmico nos últimos tempos vem definindo a indústria 4.0 como sendo a quarta revolução industrial. Diversos artigos acadêmicos trazem essa definição, desde que a estratégia Indústria 4.0 foi apresentada na Alemanha em 2011 como uma estratégia e um projeto futuro durante a Feira de Hannover (Hannover Messe), uma das maiores feiras de tecnologia e automação do mundo e, em 2012, com o apoio do governo alemão, foi aceita a recomendação do relatório apresentado na feira, para desenvolvimento das tecnologias da indústria 4.0 até 2020, com o objetivo de manter a competitividade e liderança da Alemanha no campo industrial, LU (2017).

Dentro desse conceito de quarta revolução industrial é possível separar a evolução da tecnologia fabril em passado, indústria 1.0, 2.0, 3.0, presente e futuro com indústria 4.0. No passado, durante a primeira e segunda revolução industrial, entre os anos de 1784 e 1870 para a indústria 1.0 e entre 1870 e 1969 para a indústria 2.0, os sistemas produtivos se concentravam em sistemas do tipo mecânico ou mecanizados com auxílio de energia elétrica, sistemas analógicos, produção em massa com foco em estoque de produção e mercado local (KAGERMANN *et al.*, 2013). VAIDYA *et al.* (2018) sugerem que durante a transição para indústria 3.0, durante a terceira revolução industrial, entre os anos de 1969 e 2011, ou seja, recentemente no presente, os sistemas produtivos passaram a olhar para o mercado global utilizando conceitos de *lean manufacturing* orientada a processos, com o auxílio de ferramentas como internet, intranet (rede local), manufatura enxuta, sistemas CAD/CAM, ERP, entre outros. Tal revolução ficou conhecida como a era da automação industrial. Já, durante a fase da indústria 4.0, presente e futuro, são apresentados novos conceitos como internet das coisas, fábricas inteligentes ou *smart factories*, criando um novo termo para os sistemas produtivos, os sistemas produtivos cyber-físicos. O quadro 3 apresenta a evolução da indústria.

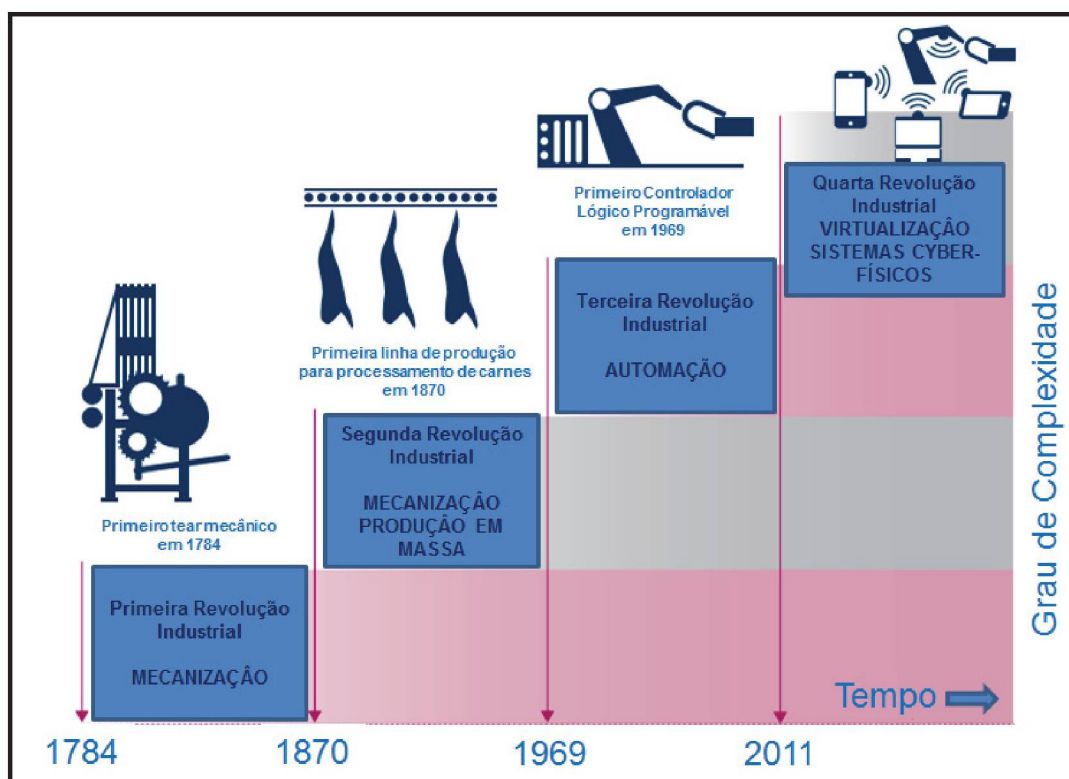
QUADRO 3 – EVOLUÇÃO DE 1.0 A 4.0

Tipo de Indústria	Era
Indústria 1.0 & 2.0	Mecanização
Indústria 3.0	Automação
Indústria 4.0	Virtualização

FONTE: VAYDIA *et al.* (2018)

A quarta revolução industrial passa a ficar conhecida como a era da virtualização. Portanto, é possível enquadrar as revoluções industriais conforme o quadro 3. A figura 4 demonstra a evolução das tecnologias ao longo das revoluções industriais.

FIGURA 4 – EVOLUÇÃO DA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL



FONTE: Adaptado de KAGERMANN *et al.* (2013).

Diversos autores e estudos apresentam definições da indústria 4.0 em vários aspectos. SHAFIQ *et al.* (2015) listam três diferentes definições sobre a indústria 4.0, sendo que a primeira considera a iniciativa como sendo uma integração de sistemas complexos de máquinas e dispositivos conectados através de sensores e softwares, usados para prever, controlar e planejar melhores decisões do negócio, levando o aspecto do negócio como sendo um novo patamar da cadeia de valor organizacional através do ciclo de vida de um produto. A segunda considera que a Indústria 4.0 é um novo nível de organização e gestão da cadeia de valor em todo o ciclo de vida dos produtos. A terceira trata a indústria 4.0 como sendo uma coleção de tecnologias e conceitos da cadeia de valor de uma organização. Dentro dessas tecnologias e conceitos destacam-se sistemas cyber-físicos, fábricas inteligentes, internet das coisas, simulação, big data, realidade aumentada, manufatura aditiva, AGV (Automated Guided Vehicle), armazenamento na nuvem, robôs e automação.

ZHOU *et al.* (2015) definem a indústria 4.0 como dependente de sistemas cyber-físicos de modo a introduzir as fábricas inteligentes com a integração de tecnologias de informação e comunicação, transformando as indústrias cada vez mais digitais. Assim, o propósito da indústria 4.0 seria criar uma indústria com um modelo de produção flexível, personalizado, integrando em tempo real a produção, as máquinas e as pessoas. KAGERMANN *et al.* (2013), como precursores dos estudos envolvendo a indústria 4.0, definem que a integração de sistemas cyber-físicos e internet das coisas, na manufatura, processos produtivos e logísticos terão uma relevância alta para tomadas de decisões estratégicas importantes e rápidas. KHAN e TUROWSKI (2016) definem a indústria 4.0 como sendo uma revolução possível através da introdução e aplicação de tecnologias avançadas no nível de produção, capaz de trazer novos valores e serviços para as pessoas e para as organizações, além de trazer uma maior flexibilidade e qualidade nos sistemas produtivos para que as empresas atendam as demandas de uma forma cada vez mais inovadora e rápida.

Outros países também mostram iniciativas relacionadas ao termo Indústria 4.0 desde 2011. Governos e indústrias em todo o mundo, conscientes dessa tendência, têm tomado ações para se beneficiar do que esse conjunto de avanços pode proporcionar (LIAO *et al.*, 2017). O quadro 4 mostra a tendência e iniciativa de alguns países ao longo dos anos.

QUADRO 4 – INICIATIVAS RELACIONADAS A INDÚSTRIA 4.0

Ano	País	Iniciativa
2011	Estados Unidos	<i>Advanced Manufacturing Partnership</i>
2012	Alemanha	<i>High Tech Strategy 2020</i>
2013	França	<i>La Nouvelle France Industrielle</i>
2013	Reino Unido	<i>Future of Manufacturing</i>
2014	União Europeia	<i>Factories of the Future</i>
2014	Coréia do Sul	<i>Innovation in Manufacturing 3.0</i>
2015	China	<i>Made in China 2025</i>
2015	Japão	<i>The 5th Science and Technology Basic Plan</i>
2016	Singapura	<i>RIE 2020 Plan</i>

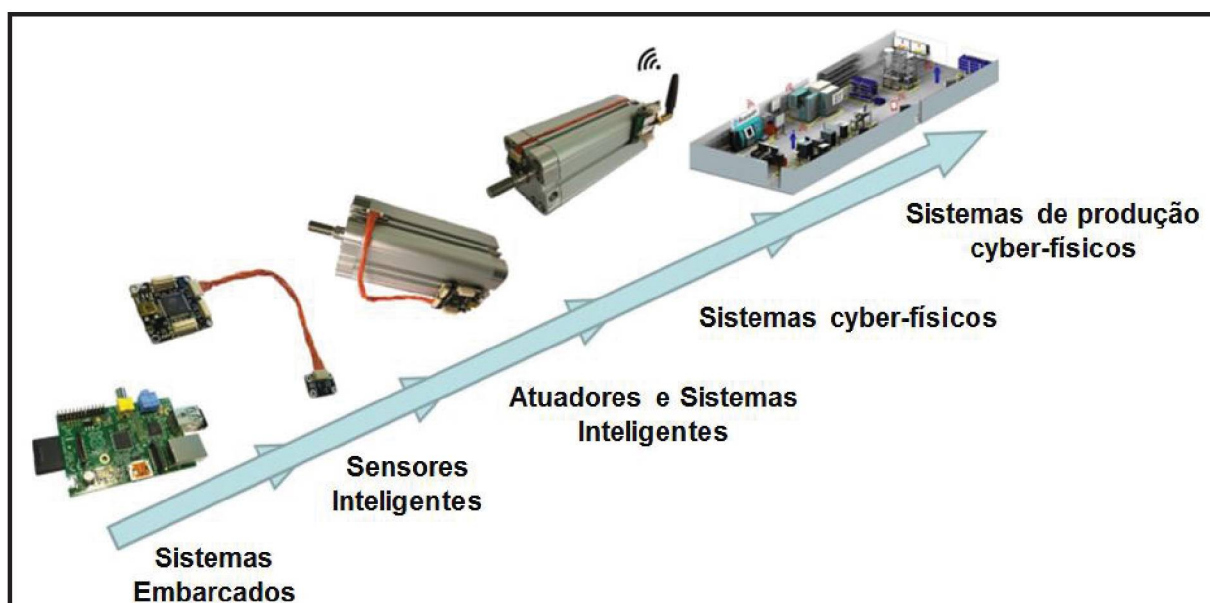
FONTE: Adaptado de LIAO *et al.* (2017).

Considerando as várias definições de Indústria 4.0 de diversos autores, é possível convergir para os principais benefícios que essa iniciativa pode trazer como, por exemplo, maior flexibilidade nos processos produtivos, redução de custos e prazos de entrega no lançamento de novos produtos, melhoria de qualidade e desempenho de produtos correntes, uma customização em massa, gerando uma

maior eficiência nos processos, uso dos recursos de maneira mais eficiente, evitando perdas, entre vários outros (STOCK, 2016). KANG *et al.* (2016) tomam o movimento da Indústria 4.0 como uma revolução e resumem como uma coleção e um paradigma de várias tecnologias que pode promover a inovação estratégica da convergência existente entre seres humanos e indústria da manufatura, através da tecnologia e informação.

Com relação aos sistemas cyber-físicos, que estão diretamente ligados ao termo indústria 4.0, ROBLEK *et al.* (2016) definem que os sistemas irão integrar as tecnologias de informação, redes de informação e sistemas físicos. Tais tecnologias irão monitorar e controlar os sistemas físicos, enviando respostas em tempo real para tomadas de decisões. Assim, as fábricas inteligentes serão mais flexíveis e mais dinâmicas e a manufatura estará integrada com diversos sensores e atuadores em sistemas autônomos. As próprias máquinas terão autonomia e habilidade para tomar decisões de melhoria dos processos. ANDERL (2014) define que sistemas cyber-físicos são consequência de uma configuração de sistemas embarcados, sensores, atuadores e rede de computadores integrada, além de tais componentes poderem estar conectados à internet, ilustrado na figura 5.

FIGURA 5 – SISTEMAS CYBER-FÍSICOS



FONTE: ANDERL (2014).

Uma dimensão comum é que a automação e a manufatura integrada por computador são as principais direções para a tecnologia de manufatura. A tecnologia digital e a indústria 4.0 representam conceitos semelhantes sobre o futuro

da manufatura. Eficiência de recursos, flexibilidade e personalização são todos os aspectos da sociedade e dos mercados que impulsionam a adoção dos conceitos da Indústria 4.0 (LIAO *et al.*, 2017).

O uso de controladores industriais, em particular, CLPs, forma uma importante base tecnológica para automação de processos industriais e continuarão existindo no meio industrial. No entanto, os controladores devem preencher uma série de requisitos resultantes das novas condições de produção com a Indústria 4.0 e a alta complexidade de sistemas de produção em rede baseados em sistemas cyber-físicos. Tais requisitos incluem autonomia, agilidade na configuração e programação dos CLPs, encapsulamento das informações, *networking* em redes locais e globais, tempo de execução, além de possuírem conexão via IP ethernet e internet com outros sistemas (LANGMANN & ROJAS-PEÑA, 2016).

Nove principais tecnologias da Indústria 4.0 podem ser classificadas e descritas, segundo GERBERT *et al.* (2015), em:

- Big Data
 - A coleta e interpretação de dados de diferentes fontes de equipamentos e sistemas de produção em tempo real, bem como sistemas de gerenciamento de clientes, se tornarão padrão para suportar a decisões gerenciais, com foco no negócio.

- Robôs Autônomos
 - Robôs estão se tornando cada vez mais autônomos, flexíveis e cooperativos no dia-a-dia e a tendência é um trabalho conjunto com humanos visando à otimização de atividades, com maior precisão e trabalho em áreas de restrição às pessoas.

- Simulação
 - As simulações serão usadas mais extensivamente nas operações da planta para aproveitar dados em tempo real, traduzindo o mundo físico em um mundo virtual, incluindo máquinas, sistemas, produtos e pessoas, diminuindo assim tempos de preparação e testes.

- Integração Horizontal e Vertical de Sistemas
 - Integração horizontal se dá através de toda a rede de criação de valor, enquanto a integração vertical cuida dos sistemas de fabricação de ponta a ponta desde a engenharia e durante todo o ciclo de vida do produto.

- Internet das Coisas
 - A Internet de Coisas significa uma rede de objetos direcionados interconectados que consiste em um sistema integrado de tecnologia da informação e comunicação. Possibilita a interação de objeto com um ambiente existente de modo a obter uma resposta imediata se alguma coisa mudar. Fornece informações de localização, condições físicas de um objeto ou processo, possibilitando sua otimização e tomada de decisão.

- Sistemas Cyber-Físicos
 - A forte conexão do mundo físico com o mundo digital pode melhorar a qualidade de informação necessária para planejamento, otimização e melhorias na operação de sistemas de fabricação. A descentralização e o comportamento autônomo do processo de produção são características principais dessa ferramenta.

- A Nuvem
 - Com a Indústria 4.0 a organização precisa de um maior compartilhamento de dados em todos os sites da empresa, bem como alcançar os tempos de reação bastante rápidos. Conexões de diferentes dispositivos para a mesma nuvem para compartilhar informações a outro setor, ou a troca de informações de máquinas e processos, bem como a planta inteira.

- Manufatura Aditiva
 - Com a Industry 4.0 os métodos de fabricação com tecnologia aditiva serão amplamente utilizados para produzir pequenos lotes

de produtos personalizados que ofereçam vantagens de construção, como projetos complexos e leves. Sistemas de fabricação com tecnologia aditiva possuirão alto desempenho, serão descentralizados e poderão reduzir as distâncias de transporte e o estoque.

- Realidade Aumentada
 - Os sistemas baseados na realidade aumentada suportam uma variedade de serviços, por exemplo, como selecionar peças em do estoque ou enviando instruções de reparo sobre dispositivos móveis. A indústria pode usar a realidade aumentada para oferecer informações aos trabalhadores em tempo real para melhorar a tomada de decisões. Os trabalhadores podem receber os procedimentos de trabalho ou instruções de reparo durante operação ou atividades de manutenção.

DELENOGARE (2018), em seu trabalho, apresenta uma lista de dez tipos de tecnologias frequentemente associadas à Indústria 4.0, desde o desenvolvimento da manufatura digital, a partir dos anos 80, que foram e são aplicadas em sistemas de produção nos dias de hoje.

TABELA 7 – TECNOLOGIAS ASSOCIADAS À INDÚSTRIA 4.0

Tecnologias	Definições
Computer-Aided Design and Manufacturing (CAD/CAM);	Desenvolvimento de projetos e planos de trabalho para produtos e manufatura baseados em sistemas computadorizados;
Sistemas de Engenharia Integrados;	Integração de sistemas de suporte de TI para troca de informações no desenvolvimento de produtos e processos;
Automação e Sensores;	Sistemas de automação com tecnologia de sensores incorporados para monitoramento através da coleta de dados;
Linhas de manufatura flexíveis;	Automação digital com tecnologia de sensores em processos de fabricação, por exemplo, radiofrequência (RFID) permitindo a integração e o rearranjo do produto com o ambiente industrial de uma forma rentável;
Manufacturing Execution Systems (MES) e Supervisory control and data acquisition (SCADA);	Monitoramento de chão-de-fábrica com coleta de dados em tempo real usando SCADA e controle remoto de produção, transformando o agendamento de longo prazo em pedidos de curto prazo com o uso do MES;

Simulação;	Análise de Elementos Finitos, Dinâmica dos Fluidos, etc. Para desenvolvimento de projetos de engenharia e comissionamento, baseado em modelo de sistemas, onde modelos sintetizados simulam propriedades do sistema;
Big Data;	Correlação de grandes quantidades de dados para aplicações preditivas, mineração de dados, estatística, tomada de decisão, entre outros;
Sistemas digitais de produtos e serviços;	Incorporação de serviços digitais em produtos baseados em plataformas de "Internet of Things" ou "Internet das Coisas", sensores embutidos, processadores e software;
Manufatura aditiva;	Máquinas de fabricação versáteis para sistemas de manufatura flexíveis, transformando um modelo 3D digital em produtos físicos; Impressão 3D;
Computação na Nuvem;	Aplicação de computação em nuvem, ampliando suas capacidades e serviços relacionados;

FONTE: Adaptado de DELENOGARE (2018).

LIAO *et al.* (2018) observaram que no aspecto tecnológico uma maior priorização das tecnologias se concentra na análise de dados Big Data, impressão 3D, robótica avançada e internet das coisas. Um balanceamento das necessidades de força de trabalho mais especializada, tecnologias avançadas, maior produtividade, maior integração com os clientes, maior qualidade do produto com menor tempo de lançamento, exige uma necessidade de avançar nas práticas gerenciais relacionadas a esses elementos.

É possível verificar que essas tecnologias podem ser aplicadas de formas diferentes, pois cada uma delas apresenta características próprias, seja para um processo produtivo em um laboratório de teste de motores da indústria automotiva, ou de um processo de uma indústria química, por exemplo. Além disso, as características de países mais avançados tecnologicamente, que desde os anos 80 possuem uma forte indústria automatizada, podem acelerar o uso das tecnologias da Indústria 4.0 em seus processos produtivos. Já em países onde a mão-de-obra ainda é barata e a automação ainda não é fortemente utilizada, a introdução dessas tecnologias pode demorar em se tornar realidade. Todas essas tecnologias possuem em comum o alto tráfego de dados e comunicação entre sistemas ou máquinas, considerados sistemas cyber-físicos e o desafio ainda pode estar em como todo esse volume de informações será tratado, assegurado e cuidado, DELENOGARE (2018).

Pode-se dizer que sob o nome de Indústria 4.0, principalmente mudanças orientadas pela tecnologia da informação nos sistemas de produção são realizadas.

No entanto, esses desenvolvimentos possuem não somente implicações organizacionais técnicas, mas também múltiplas implicações em diversas hierarquias. Por meio disso, mudanças são esperadas, que levam a uma mudança nas estratégias de produto e processo (LASI *et al.*, 2014).

LEE *et al.* (2015) afirmam que com o advento da Indústria 4.0 e fábricas inteligentes, grandes e diversos impactos são esperados, principalmente em quatro grandes áreas:

- Previsão de integridade de máquinas e de processos reduz o tempo de inatividade. Informações de prognóstico apoiarão sistemas de planejamento, otimizando a gestão da manufatura e paradas programadas;
- O fluxo de informações entre a linha de produção, nível de gestão, e gerenciamento da cadeia de suprimentos da gestão industrial são mais transparentes e organizados;
- A nova tendência da indústria reduzirá os custos de mão-de-obra e proporcionarão um melhor ambiente de trabalho com foco em ergonomia;
- Eventualmente serão reduzidos os custos operacionais com economia de energia, programação otimizada de manutenção e da cadeia de suprimentos.

2.4 LABORATÓRIO DE TESTE DE MOTORES

O presente capítulo apresenta um breve histórico sobre motores de combustão interna, os laboratórios de teste de motores, além dos conceitos de emissões de poluentes gerados por esses motores.

2.4.1 Motores de Combustão Interna

BRUNETTI (2012) define motores de combustão interna como sendo máquinas térmicas, dispositivos que permitem transformar calor em trabalho e tal calor é obtido pela queima de um combustível, isto é, transformação de energia química em trabalho mecânico, onde a obtenção de trabalho é ocasionada por uma sequência de processos realizadas em uma substância, denominada fluido ativo. Para o caso desse trabalho, o foco está em motores de combustão interna onde o fluido ativo é formado pela mistura de óleo DIESEL (combustível) e ar.

FEIDT (2017) apresenta em sua revisão que o motor de combustão interna está de alguma maneira diretamente presente na vida diária de todas as pessoas, está presente fortemente no transporte rodoviário, marítimo e aéreo, na indústria de agricultura e construção civil, bem como pode ser utilizado para a geração de energia elétrica para a indústria ou para setores críticos onde não seja possível utilizar energia elétrica da rede, ou não é possível de maneira alguma ficar sem energia, por exemplo, hospitais. Portanto está presente na indústria automotiva e na geração de energia elétrica. Historicamente sua invenção ocorreu na sequência da invenção da máquina a vapor. A primeira tentativa foi conduzida em 1860 por Étienne Lenoir em Paris, usando a combustão de uma mistura de combustível de carvão e ar, sendo invenção decisiva durante a primeira revolução industrial (Indústria 1.0) e, em 1862, Beau de Rochas formalizou o princípio de motor com ignição controlada. No entanto, foi apenas em 1876 que o ciclo de quatro tempos foi introduzido por Nikolaus August Otto, aperfeiçoando a aplicação desse motor e, desde então, como é conhecido hoje sob a forma do motor ciclo OTTO (BRUNETTI, 2012).

O motor ciclo DIESEL tem sua patente datada de 1893 e foi o resultado de 15 anos de trabalho, creditados à Rudolf Christian Karl Diesel. Foi necessário muito progresso para que este mecanismo fosse desenvolvido, a maioria em relação à injeção. Enquanto no momento é bem conhecido por seu sucesso no setor automotivo, as primeiras realizações foram dedicadas ao transporte marítimo, transporte ferroviário, e também para motores industriais, antes de chegar a conquistar os mercados de caminhões e automóveis (BOSCH Automotive Handbook, 2011).

Em sua revisão, TAYLOR (2008) já apresentava que em 2000 o motor de combustão interna representava 85% da produção mundial total de motores alternativos, onde o trabalho é obtido pelo movimento vaivém de um pistão, transformando em rotação contínua através de um sistema biela-manivela. Estes são, na maioria das vezes, motores a gasolina, mas também podem operar com gás natural, DIESEL, álcool combustível (etanol) ou hidrogênio (H₂). As figuras 6 e 7 ilustram dois exemplos de motores de combustão interna, ciclo DIESEL.

O exemplo da figura 6, o motor TAD1342GE é um motor ciclo DIESEL para geradores de energia elétrica. Possui uma cilindrada de 12,8 litros com seis cilindros em linha utilizando injeção eletrônica de alta pressão de combustível. Sua função

principal com geradores é o fornecimento de energia principal e de emergência, com uma potência nominal aparente de 401 kVA.

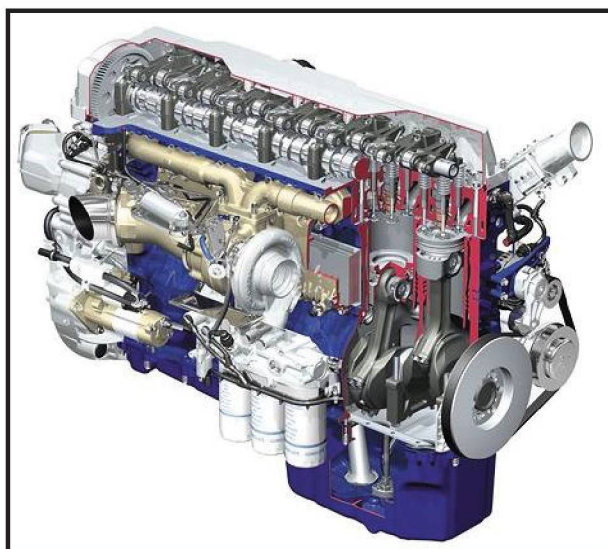
FIGURA 6 – EXEMPLO DE MOTOR CICLO DIESEL GERADOR (TAD1342GE)



FONTE: VOLVO Penta (2018).

O exemplo da figura 7, o motor D13C é um motor ciclo DIESEL para veículos pesados. Possui uma cilindrada de 12,8 litros com seis cilindros em linha utilizando injeção eletrônica de alta pressão de combustível. Sua função principal é equipar caminhões, com uma potência de 540 hp.

FIGURA 7 – EXEMPLO DE MOTOR DIESEL CAMINHÃO (D13C)



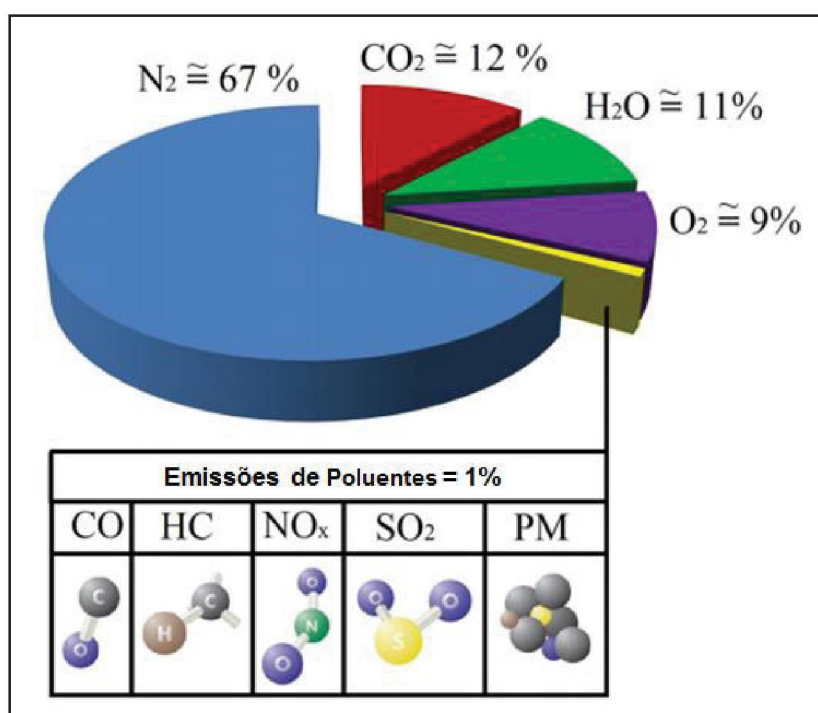
FONTE: VOLVO Trucks (2018).

2.4.2 Emissões

Emissões provenientes de motores de ciclo DIESEL são misturas altamente complexas e exige preocupação com a saúde pública devido às partículas serem muito pequenas (90% são menores de $1\mu\text{m}$ em massa), tornando-as facilmente respiráveis. Essas partículas possuem centenas de produtos químicos adsorvidos em suas superfícies, incluindo muitos conhecidos, mutagênicos e cancerígenos. A fase gasosa contém muitas substâncias irritantes e tóxicas. Óxidos de nitrogênio (NO_x), por exemplo, que são precursores de ozônio, estão entre os produtos de combustão na fase gasosa (SAWYER e JOHNSON, 1995).

Motores de ciclo DIESEL, como outros motores de combustão interna, convertem energia química contida no combustível em potência mecânica. O combustível diesel é uma mistura de hidrocarbonetos que, durante um processo de combustão ideal, produziria apenas dióxido de carbono (CO_2) e vapor de água (H_2O). Assim, os gases de escape do diesel são compostos principalmente de CO_2 , H_2O e a porção não utilizada do ar da carga do motor. As concentrações volumétricas destes gases no escape de diesel podem ser representadas pela figura 8 (KHAIR e MAJEWSKI, 2006).

FIGURA 8 – COMPOSIÇÃO DO GÁS DE ESCAPE DE UM MOTOR DIESEL



FONTE: KHAIR e MAJEWSKI (2006).

CALDER *et al.* (2018) sugerem que as concentrações dependem da carga do motor, com o teor de CO₂ e H₂O aumentando e o de O₂ diminuindo com o aumento da carga do motor. As emissões N₂ e O₂ do diesel não possuem efeitos adversos para a saúde ou o meio ambiente, enquanto H₂O pode ter impacto no efeito estufa. Já o CO₂ tem participação do efeito estufa por suas propriedades. As emissões de motores de ciclo diesel também incluem poluentes que podem ter efeitos adversos para a saúde e para o meio ambiente. A maioria desses poluentes é originária de vários processos não ideais durante a combustão, como combustão incompleta de combustível, reações entre componentes de mistura em alta temperatura e pressão, combustão de óleo lubrificante, aditivos, entre outros. Os poluentes comuns incluem hidrocarbonetos não queimados (HC), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x) ou material particulado (PM). A concentração total de poluentes em gases de escape diesel geralmente equivale a alguns décimos de um por cento (KHAIR e MAJEWSKI, 2006). Motores DIESEL modernos são equipados com dispositivos de pós-tratamento de emissões, como catalisadores para redução de NO_x e filtro de material particulado. Além disso, as emissões de poluentes incluem um mínimo de SO₂ dependendo das especificações e a qualidade do combustível, e é produzido por sulfatos contidos nele.

Com o avanço da proteção ambiental como um tema de maior relevância e preocupação, muitas agências e organizações tentam evitar o dano no meio ambiente e saúde humana causada por gases de efeito estufa e emissões poluentes. Devido aos efeitos adversos das emissões de poluentes de motores de ciclo diesel, governos colocam antecipadamente os requisitos para emissões de gases de escape, especificadas em normas. Por exemplo, na Europa foram desenvolvidas as normas EURO que baixaram continuamente as emissões desde 1993, até chegarem à fase EURO VI em 2014 (HOSEINI *et al.*, 2017). O quadro 5 apresenta a evolução da norma EURO.

QUADRO 5 – EVOLUÇÃO DA NORMA EURO DE EMISSÕES

	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	NO _x (g/kWh)	PM (g/kWh)
Euro I	4.5	1.1	8.0	0.61
Euro II	4	1.1	7.0	0.15
Euro III	2.1	0.66	5.0	0.13
Euro IV	1.5	0.46	3.5	0.02
Euro V	1.5	0.46	2.0	0.02
Euro VI	1.5	0.13	0.4	0.01

FONTE: KHAIR e MAJEWSKI (2006).

No Brasil, assim como Europa, Estados Unidos e outros países, os órgãos regulamentadores para motores diesel pesados, no caso CONAMA, adotou uma série de níveis cada vez mais rigorosos, designados como PROCONVE P-1, P-2, P-3, até o atual P-7. As normas PROCONVE P-1 entraram em vigor em 1990, seguidas por P-2 em 1993, P-3 em 1994 e P-4 em 1998. Essas normas também eram aplicáveis aos motores de caminhões leves. As normas PROCONVE P-5, com base na norma EURO III, incluindo testes transitórios, entraram em vigor gradualmente em 2004, até 2006. As normas PROCONVE P-6, com base no Euro IV, estavam programados para entrar em vigor a partir de 2009. No entanto, como o combustível diesel com baixo teor de enxofre não estava disponível pelas refinarias, o estágio P-5 permaneceu em vigor até o final de 2011. A norma mais atual e vigente hoje PROCONVE P-7, resolução Conama 403/2008, foi aprovada em 2008, entrando em vigor a partir de 2012. A norma é baseada na norma europeia EURO V (DRUMM *et al.*, 2014).

Para se calibrar e certificar motores de combustão interna frente às normas vigentes seja europeia, brasileiras ou de algum outro país, é necessário mandatoriamente à utilização de um laboratório de teste de motores que atenda todas essas normas e seja possível confrontar os requisitos de emissões estabelecidos. Testes estáticos e dinâmicos são aplicados aos motores.

Recentemente, foi publicado em 21/11/2018, edição 223, seção 1, página 153, pelo Ministério do Meio Ambiente/Conselho Nacional do Meio Ambiente, a resolução Conama 490/2018 que estabeleceu restrições às emissões de gases poluentes e ruídos por veículos pesados, fase P8 do PROCONVE. Até 2023, todos os modelos de ônibus e caminhões novos deverão possuir tecnologia de última geração para controle da poluição causada por gases de escapamento. Com os limites de emissões estabelecidos, o país poderá reduzir em até 99% o despejo de poluentes como partículas finas no ambiente, reduzindo o risco de doença cardíaca isquêmica, câncer de pulmão, acidente vascular cerebral e asma. Para realizar a certificação de motores frente à norma CONAMA P8, fabricantes deverão utilizar como base ciclos específicos de testes de emissões e apresentar, durante a certificação do motor, análise dos efeitos em longo prazo e diagnose no sistema de controle de emissões. Tais atividades são realizadas, mandatoriamente, em laboratórios de teste de motores.

Veículos com motor elétrico estão se tornando uma alternativa cada vez mais atraente a veículos com motor a combustão interna, considerando os efeitos sobre o meio ambiente, bem como fatores econômicos, como o aumento gradual do preço dos combustíveis fósseis, fluidos entre outros. Países mais desenvolvidos como os da União Europeia, Estados Unidos e Japão já realizam um esforço para reduzir o impacto do transporte rodoviário dos motores a combustão interna e a tendência atual é a promoção de carros elétricos e a substituição gradual desses veículos, (RAJNOHA, 2013). Ainda assim, a aplicação de motores de combustão interna continuará por alguns anos, continuando a ter sua relevância e impactos nas indústrias e na sociedade.

2.4.3 Laboratório de Teste de Motores de Combustão Interna

Segundo MARTYR e PLINT (2012), uma instalação de teste de motores é um complexo de máquinas, equipamentos, instrumentação, sensores, atuadores, sistemas automatizados, com suporte e serviços, alojados em um prédio adaptado ou construído para esse propósito. Para o laboratório funcionar corretamente, de forma econômica e eficiente, suas muitas partes e equipamentos devem atender aos requisitos operacionais do usuário, sendo compatíveis com vários regulamentos e normas de emissões e requisitos de engenharia de produtos vigentes.

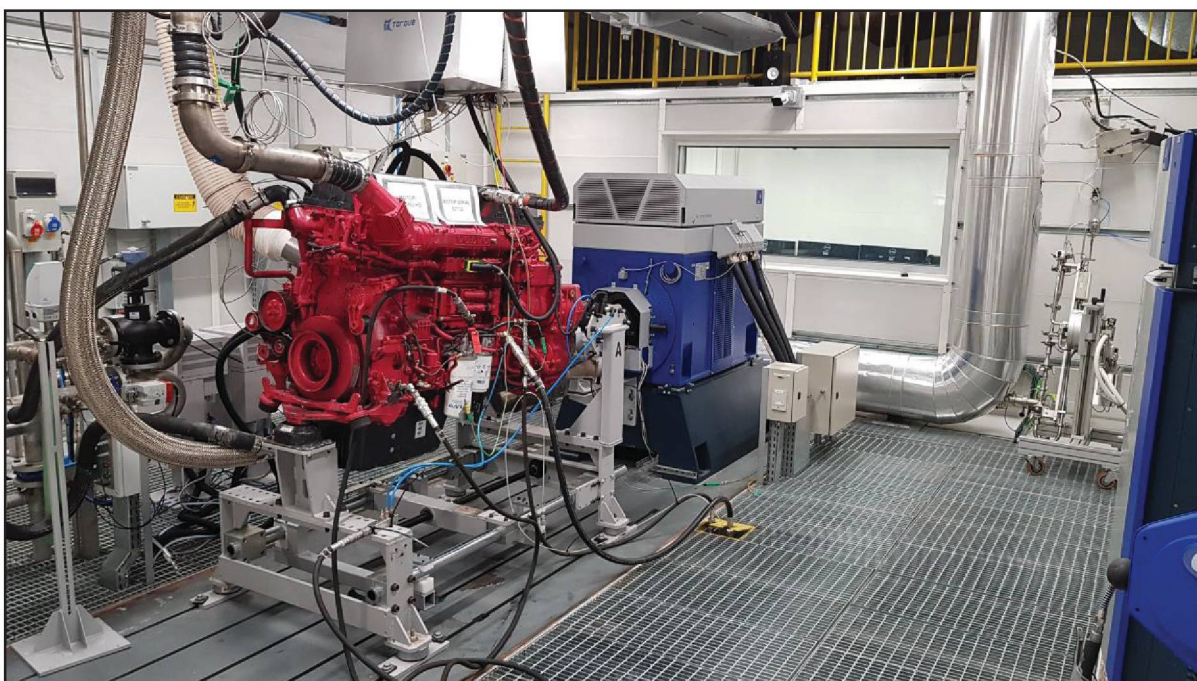
Os desenvolvedores de motores e veículos precisam sempre realizar melhorias no desempenho do motor, encontrando um balanço entre eficiência, durabilidade, consumo de combustível, emissões de poluentes, entre outros. Para se encontrar o balanço ideal de uma calibração de motor, as exigências por células ou laboratórios de teste estão cada vez mais complexas e demandam uma medição e automação cada vez mais precisas. Existem diversas células projetadas para diversas aplicações, como teste de conformidade de produção, estudo do ruído do motor, óleos de lubrificação, combustíveis, emissões de gases de escape, desempenho entre outros. A entrega ou o resultado comum entre esses laboratórios podem ser considerados como dados que serão usados para identificar, modificar, melhorar, certificar ou desenvolver critérios de desempenho de todo ou parte do motor testado (MARTYR e PLINT, 2012).

Normalmente as horas despendidas com teste em bancada ou laboratório de motores constituem um custo relativamente alto em horas de engenharia. Tais

custos podem inviabilizar novos desenvolvimentos ou novas melhorias contínuas de produtos.

Um componente fundamental de um laboratório de teste de motores é o dinamômetro, no caso de emissões em especial um dinamômetro ativo (dinâmico), o qual utiliza como elemento trativo, um motor de corrente alternada para a realização de testes dinâmicos, onde condições reais e dinâmicas são necessárias para os testes de emissões. Neste tipo de equipamento a carga é aplicada por um motor elétrico controlado por um sistema de automação. Além da medição de torque e potência, resistência à rodagem, resistência do ar, aceleração, são simuladas. São empregados em ensaios de análise de gases, de certificação de motores diesel, de otimização de sistemas de injeção de combustível, de desenvolvimento de sistemas eletrônicos de controle de motor, de testes acústicos de motor e escapamento, de teste de motores turbinados e diversos outros testes (GERMANO, 2013). A principal vantagem de um banco de ensaios dinâmicos é a possibilidade de transferir testes de estrada para o banco de teste de motores com menor custo de desenvolvimento. A figura 9 ilustra uma sala de um laboratório de teste de motores de combustão interna, presente na indústria automotiva.

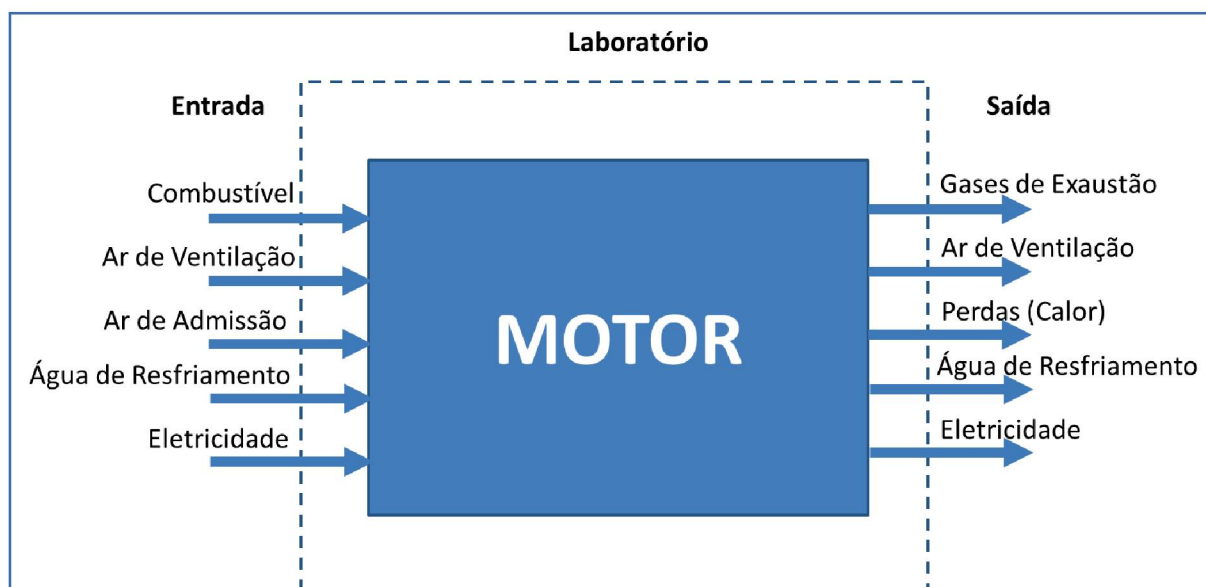
FIGURA 9 – LABORATÓRIO DE TESTE DE MOTORES



FONTE: Laboratório de Teste de Motores do Estudo de Caso (2018).

MARTYR e PLINT (2012) consideram que um laboratório de teste de motores de combustão interna é um conjunto de sistemas integrados onde constantemente é realizado um balanço de massa e energia durante os testes. Tal conceito pode ser considerado como um sistema termodinâmico aberto. Dentro desse conceito os sistemas e variáveis de entrada do motor em um laboratório podem ser considerados como o combustível, o ar de ventilação da célula de teste, o ar de admissão do motor, a água de resfriamento do motor e a eletricidade para alimentar os sistemas. Enquanto as variáveis de saída do motor podem ser consideradas como o ar de ventilação, os gases de exaustão, a água de resfriamento do motor, a água de resfriamento do dinamômetro, eletricidade, e outras perdas, por exemplo, calor. A figura 10 representa um sistema termodinâmico aberto.

FIGURA 10 – SISTEMA TERMODINÂMICO ABERTO



FONTE: adaptado de MARTYR e PLINT (2012).

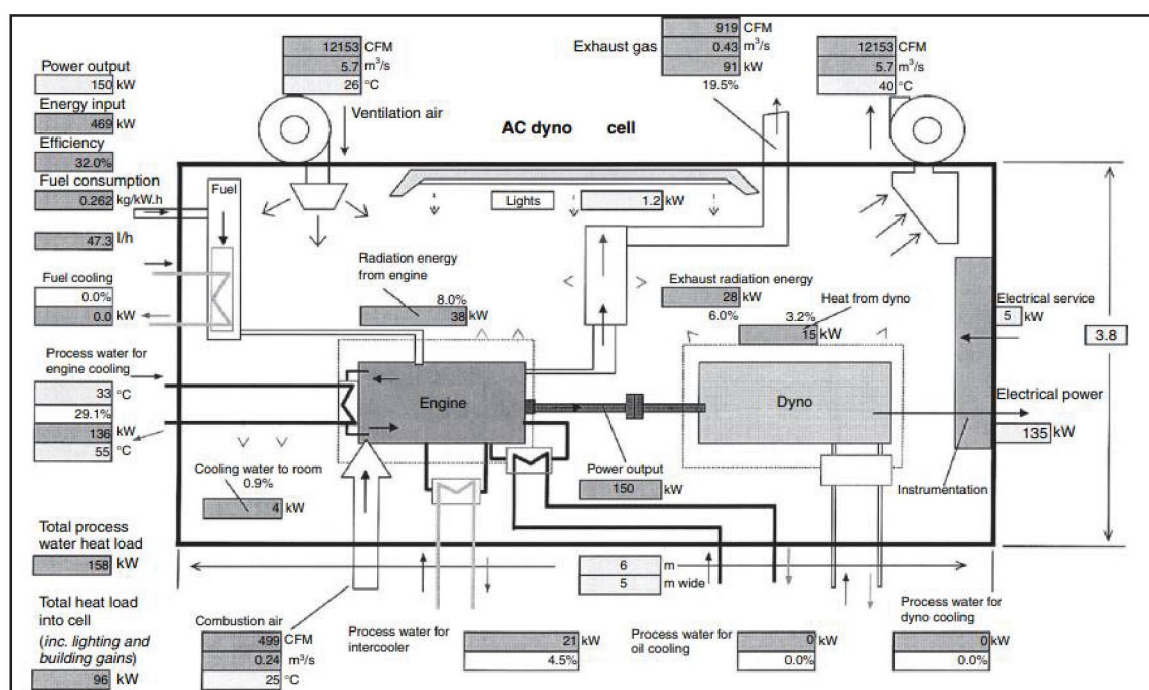
Um esquema mais detalhado de um laboratório de teste de motores pode ser representado pela figura 11. Tal esquema divide um laboratório de teste de motores de combustão interna em diversos subsistemas, onde cada um deles possui seu próprio sistema de controle, integrado com um sistema geral do laboratório. Destacam-se os sistemas de controle do dinamômetro onde tanto a energia consumida quanto a energia gerada pelo laboratório são controladas, sistema de condicionamento de ventilação de ar da sala e o ar de admissão do motor, além dos sistemas de controle de consumo e temperatura do combustível e fluido de

arrefecimento do motor, bem com os analisadores dos gases dos motores (MARTYR e PLINT, 2012).

Outros equipamentos também fazem parte da instrumentação do laboratório como, por exemplo, sensores de temperatura e transdutores de pressão, fazendo parte da automação do laboratório. Sistemas de combate a incêndio também estão amarrados na automação de modo a dar segurança aos usuários em caso de emergência.

A configuração de um banco de ensaios com dinamômetros pode ser realizada de uma forma bastante variada. Isto se dá devido às várias possibilidades que existem de realização de testes e para o que se destinam. Outro exemplo de aplicação seria uma avaliação de potência em função de um reparo realizado no motor pode não requerer uma configuração mais complexa. No entanto, existem ensaios nos quais a avaliação ou comportamento de todas as grandezas do motor, do combustível, dos fluidos de refrigeração e de lubrificação, assim como as grandezas ambientais, deverão ser monitorados. Neste caso, periféricos como condicionadores de óleo de lubrificação e do fluido de refrigeração, analisador de gases, dinamômetro ativo, sensores de temperatura, de pressão, vazão, de velocidade de giro, atuadores de aceleração e software de controle e aquisição de dados elaborados, por exemplo, são de grande importância (GERMANO, 2013).

FIGURA 11 – ESQUEMA DE CÉLULA DE TESTE COM DINAMÔMETRO



FONTE: MARTYR e PLINT (2012).

Um laboratório de teste de motores pode possuir características de desempenho ou emissões ou ambos. Equipamentos como um dinamômetro elétrico ativo, sala com controle de pressão, humidade e temperatura, equipamentos de medição de emissões, amostradores e analisadores de gases, (CO, CO₂, NO_x, etc.), são características de um laboratório de desempenho e emissões. A velocidade de um veículo é o resultado do torque do motor e a carga é a consequência direta da estrada e condições do veículo, essa condição é simulada em um laboratório. O motor em um veículo é simulado em um banco de teste sem veículo (MARTYR e PLINT, 2012).

No Brasil, algumas empresas se destacam por possuírem Laboratórios de Teste de Motores de combustão interna, ciclo DIESEL capazes de certificar os motores frente a diversas normas de emissões, bem como realizar o desenvolvimento de componentes, ajustes de calibração, etc. (Protocolo de CI Dimci/GT-PEP nº002/2017 – Revisão nº 02, INMETRO, 2017). O quadro 6 apresenta os principais laboratórios de ciclo DIESEL.

QUADRO 6 – LABORATÓRIOS DE TESTE DE MOTORES NO BRASIL

Empresa	Site
AGCO	https://www.agco.com.br/
AVL	https://www.avl.com/
BOSCH	https://www.bosch.com.br/
CAOA	https://caoa.com.br/
CETESB	https://cetesb.sp.gov.br/
CNH	http://www.newholland.com.br/
CUMMINS	https://www.cummins.com.br/
IAV	https://www.iav.com.br/
IPT	https://www.ipt.br/
LACTEC	http://www.lactec.org.br/
MERCEDES	https://www.mercedes-benz.com.br/
MWM	http://www.mwm.com.br/
PETROBRAS	http://www.petrobras.com.br/pt/
SCANIA	https://www.scania.com/br/pt/home.html
UMICORE	http://www.umicore.com.br/
VOLVO	https://www.volvogroup.com.br/pt-br/home.html

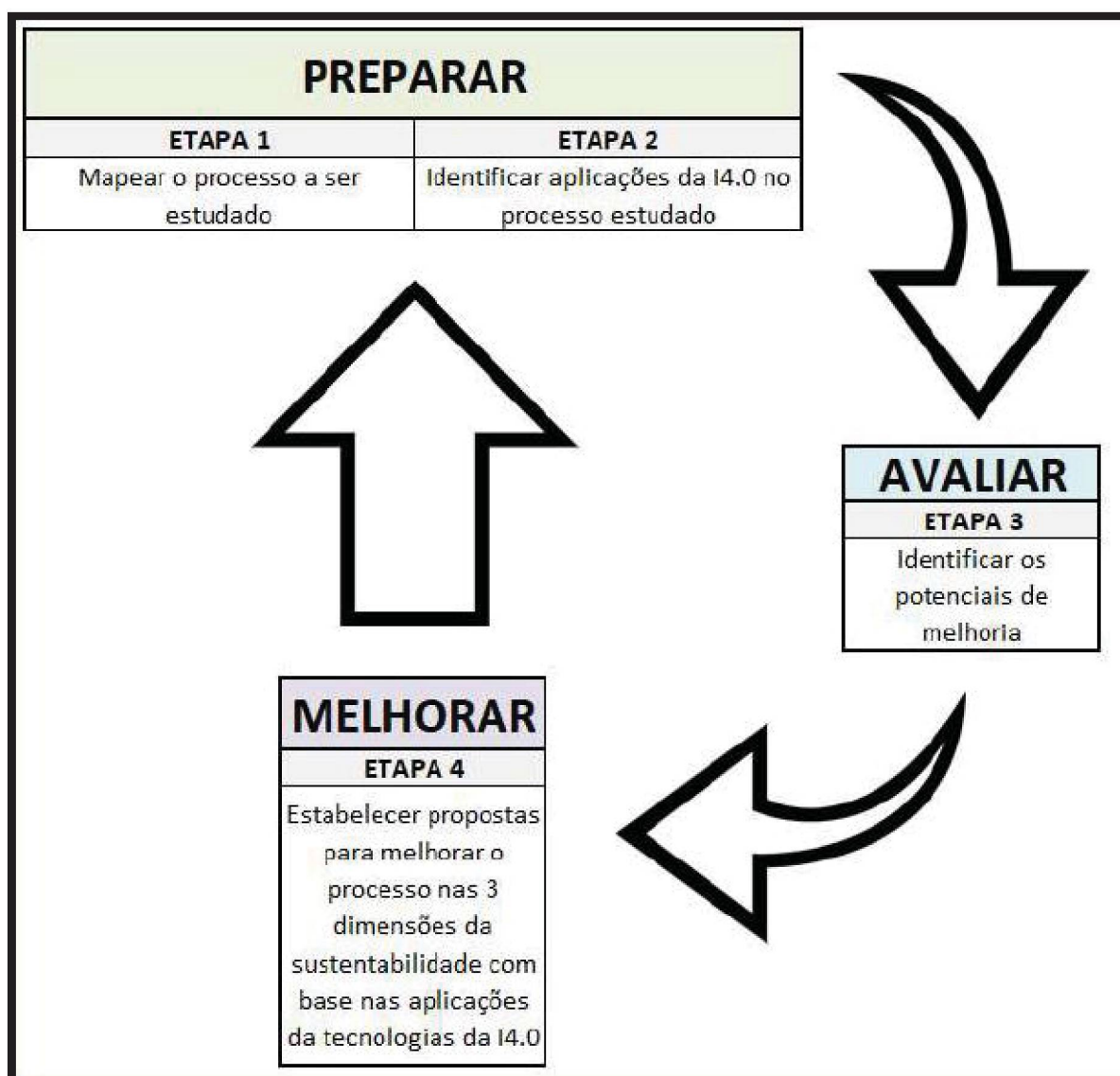
FONTE: INMETRO (2018).

2.5 O MÉTODO DE DIAGNÓSTICO PROPOSTO POR SCHULES

SCHULES (2018) em seu trabalho propôs um método de diagnóstico baseado no modelo da OECD (The Organization for Economic Co-operation and

Development), uma organização reconhecida mundialmente por promover políticas com o objetivo de melhorar o bem-estar econômico e social das pessoas, além de apresentar baixa complexidade para aplicá-lo na avaliação dos indicadores de sustentabilidade dentro de um processo. Os conceitos de melhoria contínua, com as fases Preparar, Medir e Melhorar, estão contidos nesse modelo. Nas modificações contidas entre o modelo da OECD para o método de diagnóstico de SCHULES (2018) estão a inclusão dos indicadores sociais e econômicos, fechando o *Triple Bottom Line*, a inclusão das tecnologias da Indústria 4.0 com foco em melhorias nos indicadores de sustentabilidade além de algumas ferramentas para auxiliar a identificação de oportunidades de melhorias dos indicadores dentro dos processos. A figura 12 apresenta o método de diagnóstico proposto por SCHULES (2018).

FIGURA 12 – MÉTODO PROPOSTO POR SCHULES



FONTE: SCHULES (2018).

O método de diagnóstico proposto por SCHULES (2018) apresenta quatro etapas a serem seguidas.

2.5.1 ETAPA 1

Esta etapa consiste em conhecer o processo e identificar as oportunidades de melhoria. O uso de ferramentas de mapeamento de fluxo de valor auxilia para conhecer detalhes do processo, além de auxiliar na identificação de possíveis gargalos do processo. Três modelos que a literatura apresenta de VSM (Value Stream Mapping) podem ser utilizados nessa etapa. Estes modelos têm como diferencial incluir questões de sustentabilidade e Indústria 4.0 ao modelo de VSM padrão. SCHULES (2018) sugere os modelos de acordo com o quadro 7.

QUADRO 7 – MODELOS DE MAPA DE FLUXO DE VALOR

Modelo de Mapa de Fluxo de Valor	Descrição
Value Stream Mapping (Sus-VSM), proposto por Faulkner & Badurdeen (2014).	Neste modelo são incluídas métricas sociais e ambientais ao modelo tradicional do mapeamento de fluxo de valor, sendo possível identificar potenciais pontos de melhorias em questões como consumo de energia, água e matéria-prima; melhorias no bem-estar dos trabalhadores como nível de ruído, exposição a riscos ou excesso de movimentos repetitivos;
Value Stream Mapping 4.0: neste modelo proposto por Meudt <i>et al.</i> (2017)	É possível identificar oportunidades de digitalização no processo produtivo para então propor melhorias com a aplicação das tecnologias da Indústria 4.0;
Smart Value Stream Mapping (SVSM): proposto por Haschemi & Roessler (2017).	Este modelo tem por objetivo integrar a chamada Manufatura Digital ou Indústria 4.0 ao modelo tradicional do VSM. O SVSM permite identificar três principais características da Indústria 4.0: nível de digitalização, integração e automação das informações e fluxos de materiais, incluindo fornecedores e clientes.

FONTE: Adaptado de SCHULES (2018).

2.5.2 ETAPA 2

A etapa 2 tem por objetivo realizar um benchmarking das tecnologias da Indústria 4.0, identificar empresas que trabalham com estas tecnologias e quais são as mais adequadas para cada processo. Enquanto na revisão da literatura são identificadas as tecnologias da Indústria 4.0 de forma mais generalizada, nesta etapa são identificadas as aplicações práticas e comerciais para estas tecnologias.

2.5.3 ETAPA 3

Essa etapa visa identificar os potenciais de melhoria, ou seja, identificar onde aplicar e qual tecnologia aplicar. Para isso, questões de quais tecnologias são mais aplicadas em laboratório de teste de motores precisam ser respondidas para auxiliar na correta identificação das melhorias.

2.5.4 ETAPA 4

Nesta etapa é apresentado o resultado do trabalho. São estabelecidas propostas de quais tecnologias da Indústria 4.0 a aplicar no processo produtivo e como estas podem influenciar nos indicadores de sustentabilidade, de acordo com as estratégias definidas pela organização no início do trabalho.

3 METODOLOGIA

Segundo GIL (2008), para que um conhecimento possa ser considerado científico, torna-se necessário identificar as operações mentais e técnicas que possibilitam a sua verificação. Ou, em outras palavras, determinar o método que possibilitou chegar a esse conhecimento. O presente capítulo trata sobre a classificação da pesquisa e definição do método para se atingir o conhecimento e os objetivos da pesquisa. Existem várias formas de classificação de uma pesquisa, por exemplo, métodos que proporcionam as bases lógicas da investigação científica e os métodos que esclarecem acerca dos procedimentos técnicos, que poderão ser utilizados como, por exemplo, do ponto de vista da sua natureza, abordagem do problema e também do ponto de vista de seus objetivos.

3.1 CLASSIFICAÇÃO

Para se definir o método e o tipo da pesquisa desse trabalho, foi verificado o problema da pesquisa e avaliado as perguntas geradas pelo problema. As características do problema dessa pesquisa levantam questões do tipo *como e por que* é possível aplicar um modelo de diagnóstico das tecnologias da Indústria 4.0, com indicadores de sustentabilidade em um laboratório de teste de motores. O quadro 8 apresenta a classificação dessa pesquisa.

QUADRO 8 – CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Classificação da Pesquisa, quanto à natureza, objetivos, abordagem e procedimentos.	
➤	QUALITATIVA
➤	APLICADA
➤	EXPLORATÓRIA
➤	BIBLIOGRÁFICA & ESTUDO DE CASO

FONTE: o autor (2018).

3.1.1 Classificação quanto à natureza

PRODANOV e FREITAS (2013) definem que uma pesquisa, sob o ponto de vista de sua natureza, pode ser definida como básica ou aplicada. Onde a pesquisa básica objetiva gerar conhecimentos novos úteis para o avanço da ciência sem aplicação prática prevista. Envolve interesses e verdades universais. Já a pesquisa aplicada objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática dirigida à solução de

problemas específicos, envolvendo verdade e interesses locais. Para esse trabalho foi considerada uma pesquisa **APLICADA**.

3.1.2 Classificação quanto aos objetivos

Existem três tipos de pesquisas quanto aos objetivos, explicativas, descritivas ou exploratórias. Sendo que a pesquisa exploratória se encontra numa fase preliminar, tendo como finalidade proporcionar mais informações sobre o assunto investigado, possibilitando sua definição e seu delineamento, isto é, facilitar a delimitação do tema da pesquisa; orientar a fixação dos objetivos e a formulação das hipóteses ou descobrir um novo tipo de enfoque para o assunto (PRODANOV e FREITAS, 2013). Essa pesquisa foi considerada como sendo **EXPLORATÓRIA**, pois visa uma investigação inicial relacionando a Indústria 4.0 com um laboratório de teste de motores e indicadores de sustentabilidade. Levantamento bibliográfico, entrevistas com especialistas e análise de exemplos serão ferramentas para auxiliar a compreensão do tema.

3.1.3 Classificação quanto à abordagem

Segundo POLIT e HUNGLER (1995), uma pesquisa pode ter uma abordagem quantitativa e qualitativa, onde na abordagem quantitativa espera-se do pesquisador a coleta sistemática de informações que podem ser quantificadas em condições de controle, além da análise dessas informações por meio de procedimentos estatísticos, ou seja, população e amostra. Já na abordagem qualitativa, existe a coleta e análise sistemática de materiais narrativos, com caráter mais subjetivo. PRODANOV e FREITAS (2013) definem que quando o objetivo de um trabalho de pesquisa possa gerar entendimento, descrição, descoberta, generalização ou hipóteses sobre um determinado tema, a abordagem qualitativa é aplicada. Para esse trabalho não serão utilizadas população nem amostra, e o trabalho de pesquisa foi classificado como uma abordagem **QUALITATIVA**, coletando e analisando materiais narrativos de um laboratório de teste de motores e cruzando esses materiais com as tecnologias da indústria 4.0 e indicadores de sustentabilidade.

3.1.4 Classificação quanto aos procedimentos

A pesquisa bibliográfica, segundo LAKATOS e MARCONI (2001), é considerada uma fonte de coleta de dados secundária, pode ser definida como contribuições culturais ou científicas realizadas no passado sobre um determinado assunto, tema ou problema que possa ser estudado. A pesquisa abrange toda bibliografia já tornada pública em relação ao tema estudado, desde publicações avulsas, boletins, jornais, revistas, livros, pesquisas, monografias, teses, materiais cartográficos, entre outros. Sua finalidade é colocar o pesquisador em contato direto com tudo o que foi escrito, dito ou filmado sobre determinado assunto. Em suma, todo trabalho científico, toda pesquisa, deve ter o apoio e o embasamento na pesquisa bibliográfica, para que não se desperdice tempo com um problema que já foi solucionado e possa chegar a conclusões inovadoras.

De acordo com ROBSON (1993), características de um estudo de caso abordam questões do tipo *como* e *por que*, aprofundando o objeto de análise, no caso Indústria 4.0 e indicadores de sustentabilidade, inseridos em um laboratório de teste de motores, permitindo um amplo conhecimento. Um estudo de caso descreve um conjunto de informações que descrevem uma etapa ou totalidade de um processo. Para o estudo em questão, a pesquisa irá descrever características do processo produtivo de um laboratório de teste de motores em uma empresa, ou seja, um estudo profundo no objeto de análise.

Com base na pesquisa sistemática, é possível verificar que existe muito pouco material publicado, vinculando a Indústria 4.0 com teste de motores e indicadores de sustentabilidade e é possível considerar o caso desse estudo como um estudo de caso do tipo projeto único. Segundo YIN (2005), para projetos de caso único ou holístico, o caso é considerado raro ou extremo, além disso, o pesquisador pode analisar o fenômeno, previamente inacessível à investigação científica. O exemplo nesse trabalho é a falta de dados no meio científico, quando cruzamos os termos de pesquisa.

Estudos de caso podem ser considerados explanatórios, descritivos ou exploratórios. Se o estudo descreve testes de hipóteses formuladas, o contexto é de justificativa e o estudo é explanatório. Quando o objetivo é gerar hipóteses para serem testadas futuramente, o contexto do estudo é exploratório. (YIN, 2005). De forma semelhante, GIL (2008) considera que a pesquisa exploratória desenvolve,

esclarece ou modifica conceitos e ideias, tendo em vista a formulação de problemas mais detalhados ou possíveis hipóteses de pesquisa para estudos futuros. Essa pesquisa foi considerada quanto aos procedimentos como uma **PESQUISA BIBLIOGRÁFICA** e um **ESTUDO DE CASO**, pois foca na análise de um caso real, sendo possível observar o fenômeno raro no meio científico.

3.2 PROCEDIMENTOS

PRODANOV e FREITAS (2013) definem que para a elaboração de uma pesquisa científica, é imprescindível conhecer os procedimentos e percursos a serem realizados, desde o início até sua finalização, além da divulgação dos novos conhecimentos desenvolvidos. Assim, entendemos que pesquisa pode ser dividida em quatro grandes fases, uma que antecede a realização da pesquisa, denominada fase da formulação e do planejamento da pesquisa. Outra da realização propriamente dita da pesquisa, com a coleta de dados e a busca de informações sobre o tema escolhido, chamado de fase de desenvolvimento e execução da pesquisa. Uma formulação da redação do texto final da pesquisa é identificada como fase de redação do texto final do estudo e a divulgação dos resultados conseguidos com o estudo praticado para a comunidade científica e aos profissionais de sua área de atuação.

A pesquisa é um procedimento reflexivo e crítico de busca de respostas para problemas ainda não solucionados. O planejamento e a execução de uma pesquisa fazem parte de um processo sistematizado que compreende etapas (SILVA e MENEZES, 2005).

Tais etapas compreendem:

- 1) Escolha do tema;
- 2) Revisão de literatura;
- 3) Justificativa;
- 4) Formulação do problema;
- 5) Determinação de objetivos (geral e específico);
- 6) Metodologia;
- 7) Coleta de dados;
- 8) Tabulação de dados;
- 9) Análise e discussão dos resultados;

- 10) Conclusão da análise dos resultados;
- 11) Redação e apresentação do trabalho científico.

PRODANOV e FREITAS (2013) definem que pesquisa é a construção de conhecimento original de acordo com certas exigências científicas. Para que um estudo seja considerado científico devem ser observados critérios de coerência, consistência, originalidade e objetivação. É desejável que uma pesquisa científica preencha os requisitos de existência de uma pergunta a que desejamos responder; a elaboração de um conjunto de passos que permitam chegar à resposta; a indicação do grau de confiabilidade na resposta obtida.

GIL (2008) afirma que pesquisas de estudo de caso estão voltadas mais para a aplicação imediata de conhecimentos em uma realidade circunstancial, relevando o desenvolvimento de teorias. O estudo de caso consiste em coletar e analisar informações sobre determinado indivíduo, uma família, um grupo ou uma comunidade, a fim de estudar aspectos variados de sua vida, de acordo com o assunto da pesquisa. O estudo de caso consiste no estudo profundo e exaustivo de um ou mais objetos, de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento. Segundo YIN (2005) é provável que as informações documentais sejam relevantes a todos os tópicos do estudo de caso. Esse tipo de informação pode assumir muitas formas e deve ser o objeto de planos explícitos da coleta de dados. São considerados os seguintes documentos: cartas, memorandos e outros tipos de correspondências (e-mail), agendas, avisos e minutas de reuniões, e outros relatórios escritos de eventos em geral, documentos administrativos, relatórios outros documentos internos, estudos ou avaliações formais do local em estudo e ainda recortes de jornais e outros artigos publicados na mídia. Já as entrevistas constituem uma fonte essencial de evidências para os estudos de caso, já que a maioria delas trata de questões humanas. Essas questões deveriam ser registradas e interpretadas através dos olhos de entrevistadores específicos, e respondentes bem-informados podem dar interpretações importantes para uma determinada situação. A tabela 10 apresenta os pontos fortes e fracos das fontes de evidências determinados por YIN (2005).

TABELA 8 – FONTE DE EVIDÊNCIAS

FONTE DE EVIDÊNCIAS	PONTOS FORTES	PONTOS FRACOS
Documentação	<p>Estável, podem ser revisadas inúmeras vezes;</p> <p>Discreta, não foi criada como resultado do estudo de caso;</p> <p>Exata, contém nomes, referências e detalhes exatos de um evento;</p> <p>Ampla cobertura, longo espaço de tempo, muitos eventos e ambientes distintos;</p>	<p>Capacidade de recuperação pode ser baixa;</p> <p>Seletividade tendenciosa, se a coleta não estiver completa;</p> <p>Relato de visões tendenciosas reflete as ideias preconcebidas do autor;</p> <p>Acesso pode ser deliberadamente negado;</p>
Registros em Arquivos	Precisos e quantitativos;	Acessibilidade aos locais graças a razões particulares
Entrevistas	<p>Direcionadas, enfocam diretamente o tópico do estudo de caso;</p> <p>Perceptivas, fornecem inferências causais percebidas;</p>	<p>Visão tendenciosa devido às questões mal elaboradas;</p> <p>Respostas tendenciosas;</p> <p>Ocorrem imprecisões devido à memória fraca do entrevistado;</p> <p>Reflexibilidade, o entrevistado dá ao entrevistador o que ele quer ouvir;</p>
Observações Diretas	<p>Realidade trata de acontecimentos em tempo real;</p> <p>Contextuais, tratam do contexto do evento;</p>	<p>Consumem muito tempo;</p> <p>Seletividade;</p> <p>Reflexibilidade, o acontecimento pode ocorrer de forma diferenciada porque está sendo observado;</p> <p>Custo e horas necessárias pelos observadores humanos;</p>
Observação participante	Perceptiva em relação a comportamentos e razões interpessoais;	Visão tendenciosa devido à manipulação dos eventos por parte do pesquisador;
Artefatos Físicos	<p>Capacidade de percepção em relação a aspectos culturais</p> <p>Capacidade de percepção em relação às operações técnicas;</p>	<p>Seletividade;</p> <p>Disponibilidade;</p>

FONTE: adaptado de YIN (2005).

Para este trabalho foram escolhidos os seguintes métodos, devido ao grau de acesso à empresa do estudo de caso, de acordo com a tabela 11.

TABELA 9 – MÉTODOS DE COLETA

Documentação e Registros em Arquivos	Análise de documentos e indicadores disponíveis no laboratório de teste de motores, bem como relatórios que possam ser disponibilizados.
Observações Diretas	Acompanhamento do dia-a-dia das atividades do laboratório, com foco em mapear o processo de teste de motores, identificando os indicadores de sustentabilidade, as tecnologias da Indústria 4.0.
Entrevistas	Entrevista com o time que trabalha e atua no laboratório de teste de motores, bem como entrevista com o time de meio ambiente da empresa, a fim de discutir sobre os indicadores ambientais e de sustentabilidade.

FONTE: o autor (2018).

Para a análise dos dados coletados no estudo de caso, PRODANOV e FREITAS (2013) sugerem que a análise qualitativa depende de muitos fatores, como a natureza dos dados coletados, a extensão da amostra, os instrumentos de pesquisa e os pressupostos teóricos que nortearam a investigação. Esse processo é definido como uma sequência de atividades, que envolve a redução dos dados, a sua categorização, sua interpretação e a redação do relatório.

Para a *seleção*, de posse dos dados coletados, é necessário fazer uma análise crítica, para identificar questões falsas, confusas ou distorcidas. É interessante verificar se os dados coletados estão completos ou se é preciso retornar ao campo para nova coleta. Já a *redução* dos dados consiste em processo de seleção, simplificação, abstração e transformação dos dados originais provenientes das observações de campo. Enquanto a *codificação* é utilizada para caracterizar os dados que se relacionam, conforme uma sequência de classificação dos dados, agrupados em categorias. A codificação possibilita a transformação do que é qualitativo em quantitativo (PRODANOV e FREITAS, 2013).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

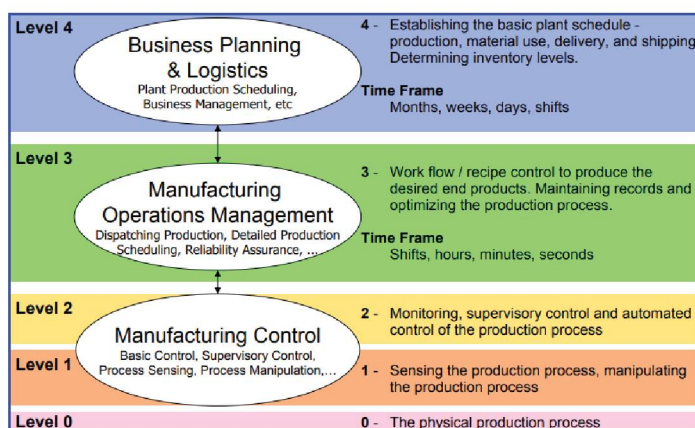
Para o início do estudo de caso dessa pesquisa, foi definido um laboratório de teste de motores de combustão interna, dentro de uma empresa multinacional no ramo automotivo, que tivesse a possibilidade e capacidade de realizar teste de emissões de poluentes. Tal laboratório possui um alto nível de automação, característica básica da Indústria 4.0. Outras características desses laboratórios são de que várias ferramentas utilizadas se enquadram bastante com a filosofia da Indústria 4.0, com sistemas integrados, controladores lógicos programáveis, sensores, atuadores, podendo trabalhar em alguns casos sem a necessidade de operador todo o tempo dos testes. Alguns pontos observados para a escolha do laboratório foram:

- Alto nível de automação, com sensores, atuadores e CLPs;
- Sala de controle com operador dedicado;
- Software de controle do laboratório de teste;
- Software de controle do motor;
- Manutenção preventiva;
- Check-lists de manutenção autônoma;
- Sistema automático de segurança e combate a incêndio;
- Logística integrada com o sistema de produção de motores;
- Sistema de controle de ar da sala;
- Sistema de controle de ar de admissão do motor;
- Sistema de controle de combustível (DIESEL);
- Sistema de controle de fluido de arrefecimento;
- Sistema de controle de água;
- Sistema de exaustão dos gases de escape;
- Sistema de controle de óleo hidráulico;
- Sala de preparação e montagem de motores.

O alto nível de automação do laboratório pode ser verificado baseado na norma ANSI/ISA 95, de 2013. Tal norma apresenta uma arquitetura consolidada que define cinco níveis de processos de manufatura. Um laboratório de teste de motores

pode se enquadrar até o nível “2”, onde atuadores e sensores monitoram os elementos do nível “1” e “0”. A figura 13 representa todos os níveis da norma.

FIGURA 13 – NÍVEIS ANSI/ISA 95



FONTE: ISA 95 (2013).

A integração dos sistemas de automação do laboratório na maioria das vezes se dá por redes industriais com protocolos de ethernet para os controladores lógicos programáveis e rede CAN (Controller Area Network), rede comumente utilizada para produtos veiculares.

4.1 SUSTENTABILIDADE NA EMPRESA DO ESTUDO DE CASO

O mais recente relatório de sustentabilidade da empresa apresenta o Triple Bottom Line de sustentabilidade, conforme a figura 14, como entrada para sua definição de sustentabilidade em produtos automotivos e de transporte.

FIGURA 14 – SUSTENTABILIDADE DO ESTUDO DE CASO



FONTE: Relatório de Sustentabilidade da Empresa do Estudo de Caso (2017).

Com relação a indicadores de sustentabilidade no pilar ambiental, o consumo de energia elétrica, GLP, Gás Natural e DIESEL, é apresentado pela empresa em seu relatório, conforme o quadro 9, com os valores de consumo de energia ao longo dos últimos anos. Ainda não está disponível o relatório 2017/2018 com números mais atualizados.

QUADRO 9 – CONSUMO DE ENERGIA DA EMPRESA

Fonte de energia	Ano	Consumo total (MWh)	Consumo por unidade produzida
ELÉTRICA	2014	44.633,35	0,50
	2015	41.011,02	1,16
	2016	40.810,46	1,54
GLP	2014	4.765,36	0,053
	2015	2.500,00	0,071
	2016	2.478,11	0,093
GÁS NATURAL	2014	20.085,53	0,23
	2015	11.289,20	0,42
	2016	8.487,56	0,32
DIESEL	2014	5.054,80	0,05
	2015	2.999,00	0,08
	2016	2.777,47	0,10

FONTE: Relatório de Sustentabilidade da Empresa do Estudo de Caso (2017).

O laboratório de teste de motores de combustão interna da empresa é um grande consumidor de energia elétrica, gases e combustível (DIESEL). Porém também é um grande contribuidor da geração de energia elétrica para o prédio onde está instalado. Quando o motor de combustão interna consome DIESEL, automaticamente está gerando energia elétrica através do dinamômetro, transformando energia química em energia mecânica e posteriormente em energia elétrica. Com relação às emissões, a empresa apresenta o quadro 10 com a compilação dos principais poluentes.

QUADRO 10 – EMISSÕES

	2014	2015	2016
NOx	18,98 ton	17,38 ton	15,78 ton
CO₂	6407,3 ton	5101,8 ton	5076,8 ton
SO₂	2,73 ton	1,53 ton	1,43 ton
HCFC (R22)	62,2 kg	122,58 kg	93,8 kg

FONTE: Relatório de Sustentabilidade da Empresa do Estudo de Caso (2017).

No quesito social a empresa preza pela segurança em todos os aspectos, todos os setores estão certificados pelo Sistema de Gestão em Saúde e Segurança Ocupacional (OHSAS-18001). A empresa realiza vários programas e ações educativas em segurança, voltados à promoção da saúde, de ambientes de trabalho seguros e focando também a prevenção de doenças ocupacionais e acidentes de trabalho, tais como: proteção respiratória, conservação auditiva, comportamento seguro, ergonomia, integração de novos funcionários, oficinas de segurança, simulados de emergências, treinamentos específicos para áreas como de equipamentos de proteção individual, equipamentos de proteção coletiva, entre outros (Relatório de Sustentabilidade da Empresa, 2017).

No quesito econômico e social é possível mensurar alguns principais indicadores estratégicos do laboratório de teste de motores: quanto o laboratório está rodando das horas disponíveis, sem paradas durante o mês, quanto tempo o laboratório está parado, manutenção, etc.

A tabela 12 apresenta a compilação desses indicadores, considerando um mês com 720 horas de disponibilidade (30 dias vezes 24 horas). Tais dados são dados reais observados no processo, no período de um mês. Nesse exemplo é possível verificar uma alta porcentagem de horas não disponíveis. Tais horas representam a falta de disponibilidade de um terceiro turno e finais de semana. Portanto, existem oportunidades para melhoria de disponibilidade e de eficiência no processo.

TABELA 10 – INDICADORES SOCIAIS, ECONÔMICOS E ESTRATÉGICOS

	Mês (30 dias)
Indicadores Econômicos e Sociais	2x Turnos
Horas Trabalhadas	720 horas
Horas Rodando	35,56%
Horas de Instalação e Análise de Resultados	3,75%
Horas não disponíveis	52,83%
Falta de Recurso	3,96%
Perda de Produção	1,33%
Manutenção Preventiva	2,57%
	100,00%

FONTE: O Autor (2018).

4.2 APLICAÇÃO DO MÉTODO DE DIAGNÓSTICO – ETAPA 1

A primeira etapa do método de SCHULES (2018) sugere a realização do mapeamento do processo com o objetivo de identificar o fluxo das informações, onde se encontram os possíveis gargalos e onde é necessária a aplicação dos recursos. Assim como proposto no método, também foram utilizados conceitos dos três Mapas de Fluxo de Valor (MFV): Value Stream Mapping (Sus-VSM) (Faulkner & Badurdeen, 2014), Value Stream Mapping 4.0 (Meudt *et al.*, 2017), Smart Value Stream Mapping (SVSM) (Haschemi & Roessler, 2017). Tais modelos foram escolhidos por possuírem questões de sustentabilidade e características da Indústria 4.0, as quais fazem parte dos termos dessa pesquisa.

O Laboratório de teste de motores possui três salas de teste, podendo ser testados três motores ao mesmo tempo. Além dessas salas, possui uma oficina e uma sala de preparação para que seja realizada toda a preparação do motor, instrumentação de sensores e atuadores, ajustes, antes do motor ser instalado no dinamômetro e os testes começarem. Para gerenciar toda a infraestrutura de equipamentos dedicados, existe um mezanino técnico contendo todos os equipamentos para o controle e gerenciamento de ventilação, água, energia, combustível, etc. A figura 15 apresenta os detalhes da estrutura do laboratório.

FIGURA 15 – DIVISÃO DO LABORATÓRIO DE TESTE DE MOTORES



FONTE: Laboratório de Teste de Motores do Estudo de Caso (2018).

Os indicadores de sustentabilidade escolhidos para o estudo de caso no laboratório de teste de motores foram definidos baseado na criticidade de cada indicador para o processo observado e no próprio mapeamento do processo. Durante as observações diretas no processo, constatou que esses são os indicadores mais relevantes para o laboratório de teste de motores, além de serem estratégicos para a empresa do estudo de caso.

- Pilar Ambiental: Consumo e geração de energia;
- Pilar Social: Aumento do desempenho dos operadores, diminuindo trabalhos repetitivos, baseado nos números de Horas Trabalhadas, Horas Rodando, Horas de Instalação e Análise de Resultados, Horas não disponíveis, Falta de Recurso, Perda de Produção e Manutenção Preventiva;
- Pilar Econômico: Aumento de produtividade e tomada de decisão, baseado nos números de Horas Trabalhadas, Horas Rodando, Horas de Instalação e Análise de Resultados, Horas não disponíveis, Falta de Recurso, Perda de Produção e Manutenção Preventiva.

Para o pilar ambiental é de suma importância para o processo a identificação de quanto o laboratório gera de energia elétrica e quanto o laboratório consome na planta. Com a instalação atual do laboratório é difícil fechar a conta independentemente de toda a área fabril, pois o laboratório é anexo a uma área fabril de grande porte e a conta final acaba sendo do prédio como um todo, tornando difícil individualizar e separar. Portanto esse indicador se torna crítico, no sentido de individualizar o consumo e geração e propor ações para que o laboratório seja mais eficiente. Já no pilar social, o indicador de desempenho dos operadores é importante de modo a obter o melhor desempenho deles, com o menor impacto em paradas de processo, segurança e ergonomia. Enquanto o pilar econômico, o foco é a melhoria no desempenho do laboratório, ou seja, acelerar o processo de tomada de decisão dos testes e evitar ao máximo a parada de testes. Tanto no pilar social e econômico, esses indicadores terão uma maior relevância e impacto direto com os números do processo: Horas Rodando, Horas de Análise, Horas não disponíveis, Falta de Recurso, Perda de Produção, Manutenção Preventiva.

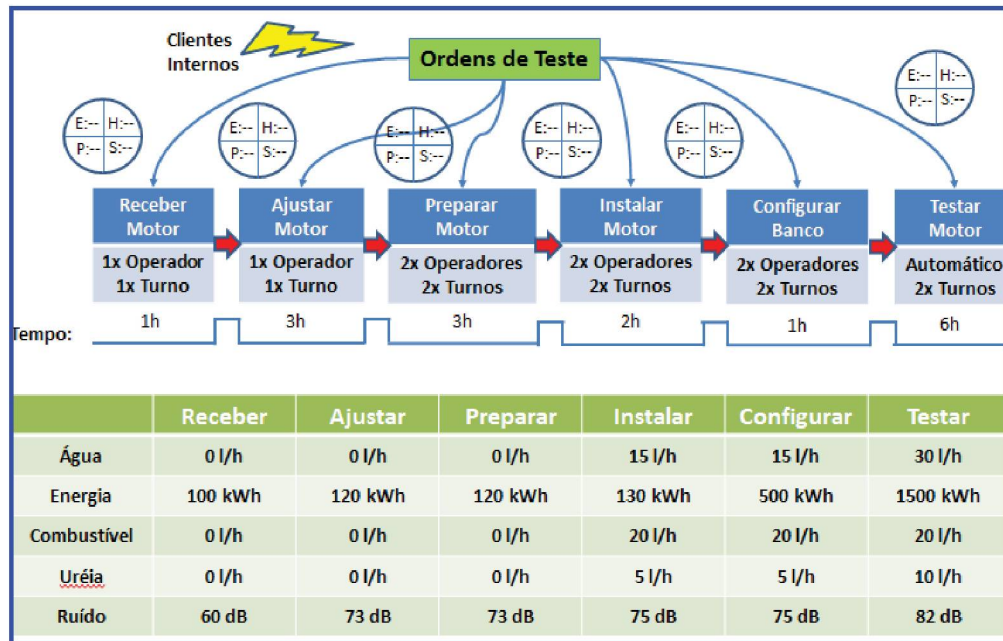
Com base nos modelos de mapeamento do fluxo de valor, observando as etapas do processo, operação e nível de automação do sistema, foi possível verificar que:

- Diferente de um processo produtivo industrial, sequenciado, o teste de motores, depende muito do escopo de teste, tipo de motor e objetivo. Portanto é difícil chegar a um tempo de ciclo padrão. Para um teste de conformidade de produção em emissões, por exemplo, foram consideradas 14 horas desde a chegada do motor na Operação 1; ao todo foram consideradas seis operações até a realização do teste;
- Dependendo do projeto que está em desenvolvimento, motores podem ficar semanas sendo testados e calibrados ou até mesmo meses;
- Todas as operações de manipulação e instalação dos motores são realizadas de forma manual, com operadores; O indicador de horas rodando acaba sendo atingido durante esse tempo de manipulação e instalação e conseqüentemente aumenta os indicadores de Horas de Instalação e Análise de Resultados;
- O ciclo automático de teste começa a partir do momento que o teste é iniciado. O operador passa então a realizar o monitoramento e análise dos resultados dos testes e dos equipamentos do laboratório;
- Os indicadores são monitorados realizando a média das três salas de testes. Cada vez que o laboratório para em alguma sala, o indicador de horas rodando diminui enquanto o de perda de produção aumenta, por exemplo;
- Em alguns momentos de perda de produção é realizada manutenção corretiva e preventiva, também afetando os indicadores de manutenção e parada;

- O indicador no pilar ambiental de consumo e geração de energia elétrica não é monitorado em tempo real. Ao final do mês é realizada uma compilação dos indicadores de todo o prédio fabril e então realizado a divisão de custos;
- Para realizar a marcação das atividades e horas que estão rodando, o laboratório se utiliza uma planilha, onde o próprio operador monitora individualmente a cada 15 minutos o que acontece nas salas;
- As instruções de trabalho são disponibilizadas de forma eletrônica em um banco de dados, alterações necessitam de processo de atualização;
- Antes de iniciar o turno, os operadores realizam atividades de manutenção autônomas simples diárias em todos os equipamentos com a ajuda de um check-list;
- Quando o motor está instalado na sala existe um grande nível de automação, onde todas as variáveis do motor são monitoradas, bem como todos os resultados são extraídos automaticamente para um servidor. Entretanto a análise desses resultados fica na mão dos operadores e engenheiros, dependendo dessa avaliação para seguir com outros testes e outras estratégias de calibração do motor;
- Todo o manuseio do motor desde a operação 1 (Receber Motor), operação 2 (Ajustar Motor), operação 3 (Preparar Motor) e operação 4 (instalar motor), são realizadas com o uso de uma paleteira elétrica manualmente.

A figura 16 demonstra o MFV aplicado ao estudo de caso segundo o Value Stream Mapping (Sus-VSM) (Faulkner & Badurdeen, 2014).

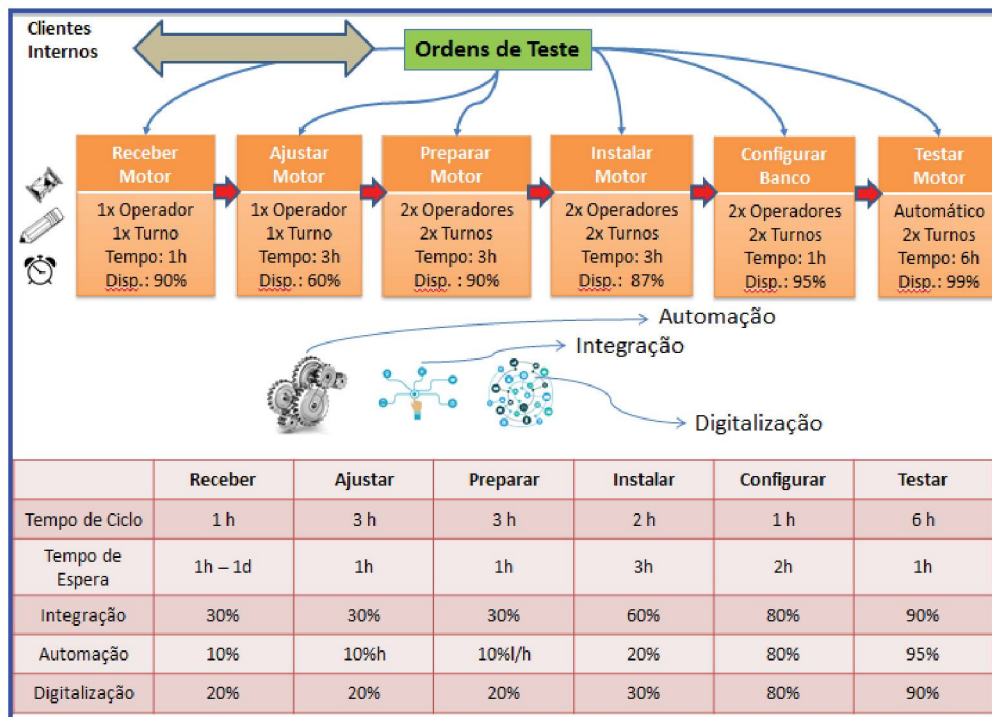
FIGURA 16 – EXEMPLO DE MFV APLICADO AO CASO



FONTE: O autor (2018).

A figura 17 demonstra o MFV aplicado ao estudo de caso, segundo o Smart Value Stream Mapping (SVSM) (Haschemi & Roessler, 2017).

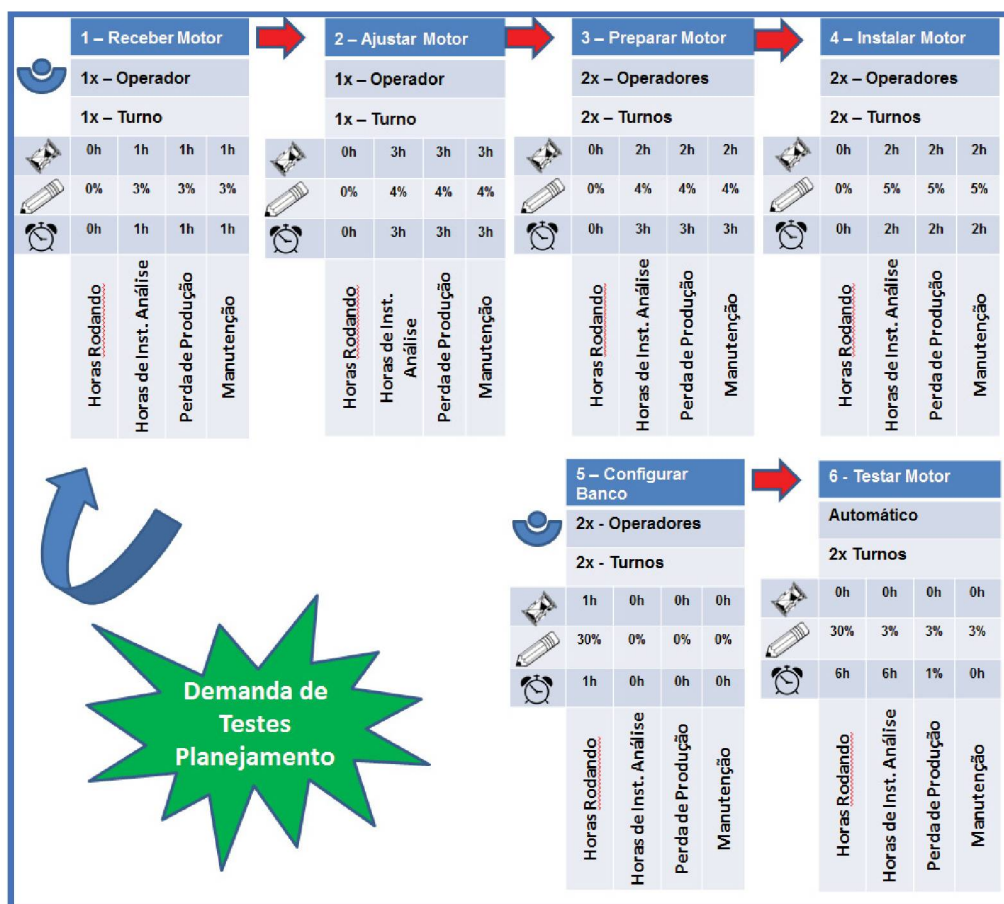
FIGURA 17 – EXEMPLO DE SVSM APLICADO AO CASO



FONTE: o autor (2018).

A figura 18 demonstra o MFV aplicado ao estudo de caso segundo Value Stream Mapping 4.0 (Meudt *et al.*, 2017).

FIGURA 18 – EXEMPLO DE VSM 4.0 APLICADO AO CASO



FONTE: o autor (2018).

4.3 APLICAÇÃO DO MÉTODO DE DIAGNÓSTICO – ETAPA 2

Na etapa 2 foram definidas algumas aplicações das tecnologias da Indústria 4.0, com base no que foi observado do estudo de caso. A tabela 13 apresenta as tecnologias da Indústria 4.0 sugeridas por DENELOGARE (2018) ligadas com possíveis soluções tecnológicas para melhorar indicadores de sustentabilidade, além de possíveis fabricantes dessas soluções. Essas possíveis soluções foram discutidas com os especialistas da empresa, dentro de um contexto de melhoria contínua para o processo de teste de motores. Reuniões de projeto e *brainstorming* com os especialistas foram utilizados para gerar uma lista de possíveis soluções. Os indicadores afetados também foram discutidos com os especialistas do processo.

TABELA 11 – APLICAÇÕES DAS TECNOLOGIAS

Tecnologia da Indústria 4.0	Possível Solução	Possíveis Fabricantes / Fornecedores	Indicador Afetado
Computer-Aided Design and Manufacturing (CAD/CAM);	Utilização de Software para desenvolvimento e usinagem de dispositivos de preparação dos motores para os testes;	PROE CATIA SIEMENS NX CAM CAMWorks	Desempenho, indicadores econômicos e sociais, horas rodando.
Sistemas de Engenharia Integrados;	Integração dos bancos de dados dos resultados dos testes com a própria automação do laboratório, de modo que o a própria automação defina quais seriam os próximos testes. Tomada de decisão autônoma.	SAP Sistema de Banco de dados dedicado e proprietário para o laboratório de teste de motores MICROSOFT	Indicadores econômicos e sociais, horas rodando, horas de análise, horas não disponíveis, falta de recurso, perda de produção, manutenção preventiva.
Automação e Sensores;	Aumentar ainda mais o número de sensores e atuadores, de modo a melhorar a aquisição dos dados e tornar possível uma lógica mais precisa para tomadas de decisões autônomas pelo laboratório.	SIEMENS SCHNEIDER ELETRIC ABB PENTRONIC BOSCH NATIONAL INSTRUMENTS AVL HORIBA	Indicadores econômicos e sociais, horas rodando, horas de análise, horas não disponíveis, falta de recurso, perda de produção, manutenção preventiva.
Manufacturing Execution Systems (MES) e Supervisory control and data acquisition (SCADA);	Utilizar um Sistema SCADA para realizar o monitoramento e supervisão de todos os sistemas presente no laboratório, realizar o gerenciamento do consumo e geração de energia elétrica.	ROCKWELL GE/FANUC SIEMENS ELIPSE	Indicadores econômicos, sociais e ambientais, horas rodando, horas de análise, horas não disponíveis, falta de recurso, perda de produção, manutenção preventiva.
Linhas de manufatura flexíveis;	Utilizar ferramentas de realidade aumentada, de modo a facilitar a manutenção preventiva e calibração de equipamentos de medição. Realizar avaliações e planejamento da manutenção, utilizando a realidade aumentada em um laboratório de teste de motores virtual.	ADVANTECH VR BUSINESS IMERSIO VR SCOPE AR OPS SOLUTIONS	Indicadores econômicos e sociais, horas rodando, horas de análise, horas não disponíveis, falta de recurso, perda de produção, manutenção preventiva.
Computação na Nuvem;	Integrar os sistemas do laboratório em uma nuvem de dados de modo a ter acesso de qualquer lugar, e remotamente ser possível tomar decisões de teste.	MICROSOFT IBM SAP	Indicadores econômicos e sociais, horas rodando, horas de análise, horas não disponíveis, falta de recurso, perda de produção.

Sistemas digitais de produtos e serviços;	Utilização do sistema de banco de dados existente, integrado com a automação, de modo a processar esses dados em tempo real, automaticamente, favorecendo uma tomada de decisão mais rápida.	SAP MICROSOFT	Indicadores econômicos e sociais, horas rodando, horas de análise, horas não disponíveis, falta de recurso, perda de produção, manutenção preventiva.
Simulação;	Utilização de Software para simulação de elementos finitos (FEA) e dinâmica de fluidos de modo a simular o ar de admissão, perdas e contrapressão dos gases de escape dos motores;	ANSYS ANSYS FLUIDS	Desempenho, indicadores econômicos e sociais, horas rodando.
Big Data;	Processamento em tempo real dos resultados de teste e decisão automática da sequência de testes	SAP ORACLE IBM SPSS DELL	Desempenho, indicadores econômicos e sociais, horas rodando.
Manufatura aditiva;	Usinagem de dispositivos de preparação dos motores para os testes;	MakerBot Replicator+ XYZprinting da Vinci Ultimaker 2+	Desempenho, indicadores econômicos e sociais, horas rodando.

FONTE: O Autor (2018).

4.4 APLICAÇÃO DO MÉTODO DE DIAGNÓSTICO – ETAPA 3 E ETAPA 4

Nessas etapas foram identificados os potenciais de melhoria, ou seja, identificar onde aplicar e qual tecnologia aplicar, bem como são estabelecidas propostas de quais tecnologias da Indústria 4.0 e como estas podem influenciar nos indicadores de sustentabilidade. Foram determinadas três possíveis oportunidades de uso das tecnologias da Indústria 4.0 que poderiam ser aplicadas. Todas as oportunidades foram sugeridas através de um projeto de expansão em andamento no laboratório de teste de motores, com o objetivo de prepará-lo para as novas legislações que entrarão em vigor no futuro. Com reuniões com os especialistas, observações diretas no laboratório, além de um de *benchmarking* em laboratórios mais modernos em outras plantas da empresa, foram levantadas as oportunidades que mais possuíam relação e impacto com os indicadores. Reuniões de projeto para definir escopo de tecnologias a serem aplicadas, *brainstorming* e apresentações de fornecedores foram alguns fatores que levaram à escolha das oportunidades.

4.4.1 OPORTUNIDADE 1 – SISTEMA INTEGRADOS

O laboratório de teste de motores já possui vários sistemas automatizados e integrados, o que é a base para a Indústria 4.0. Entretanto esses sistemas ainda não estão integrados em algum sistema mestre, o qual fosse possível verificar a automação do laboratório, funcionamento e sequência dos testes bem como todos os sistemas de suporte, como ventilação, controle de água, controle de combustível, etc. Todos os indicadores econômicos do laboratório como Horas Trabalhadas, Horas Rodando, Horas de Análise, Horas não disponíveis, Falta de Recurso, Perda de Produção e Manutenção Preventiva são gerenciados de maneira manual, ou seja, depende do operador gerenciar como estão os indicadores em tempo real. Todo esse gerenciamento ocorre em planilhas Excel e é necessário um tratamento de dados antes de compilar o indicador. Da mesma maneira com indicadores ambientais, por exemplo, de consumo e geração de energia, é apenas compilado no final do mês com o consumo total do prédio. O consumo de combustível também é estimado apenas no final de cada mês de forma manual, checando os níveis dos tanques. Após discussão com os especialistas considerou-se a oportunidade, então, a integração de todos os sistemas com o auxílio de um sistema SCADA para realizar a supervisão do laboratório para alguns indicadores ambientais, sociais e econômicos. O uso de tal sistema englobaria as tecnologias da Indústria 4.0:

- Sistemas digitais de produtos e serviços;
- Automação e Sensores;
- Big Data;
- Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA).

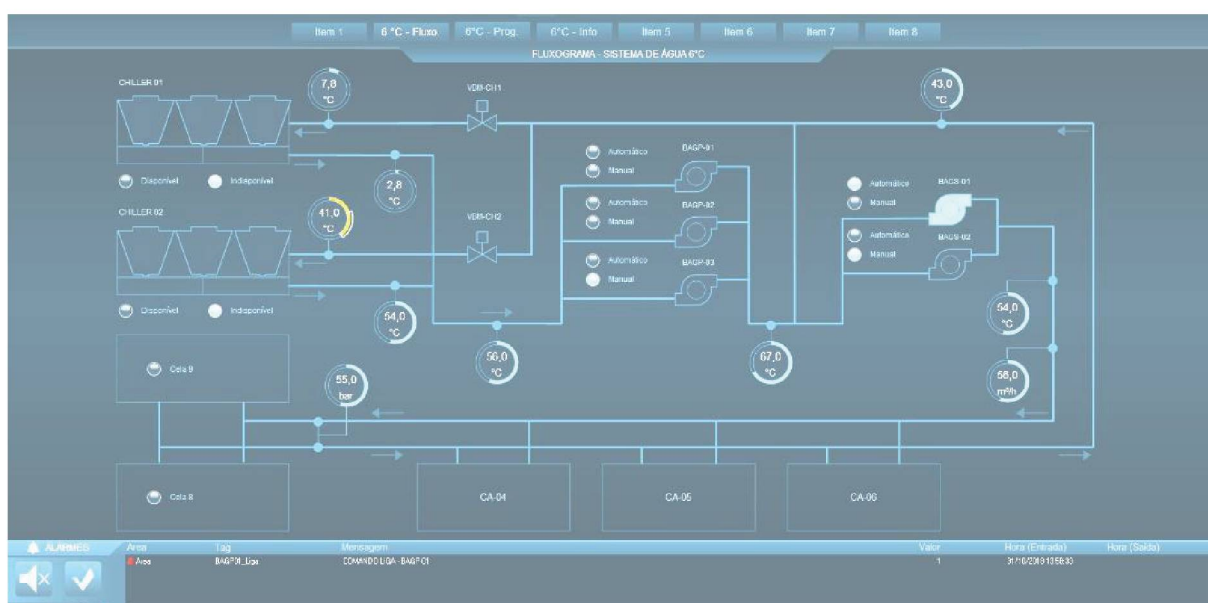
Com a integração de sensores adicionais com os sistemas digitais e o banco de dados do laboratório, seria possível monitorar em tempo real os seguintes indicadores de sustentabilidade no pilar ambiental:

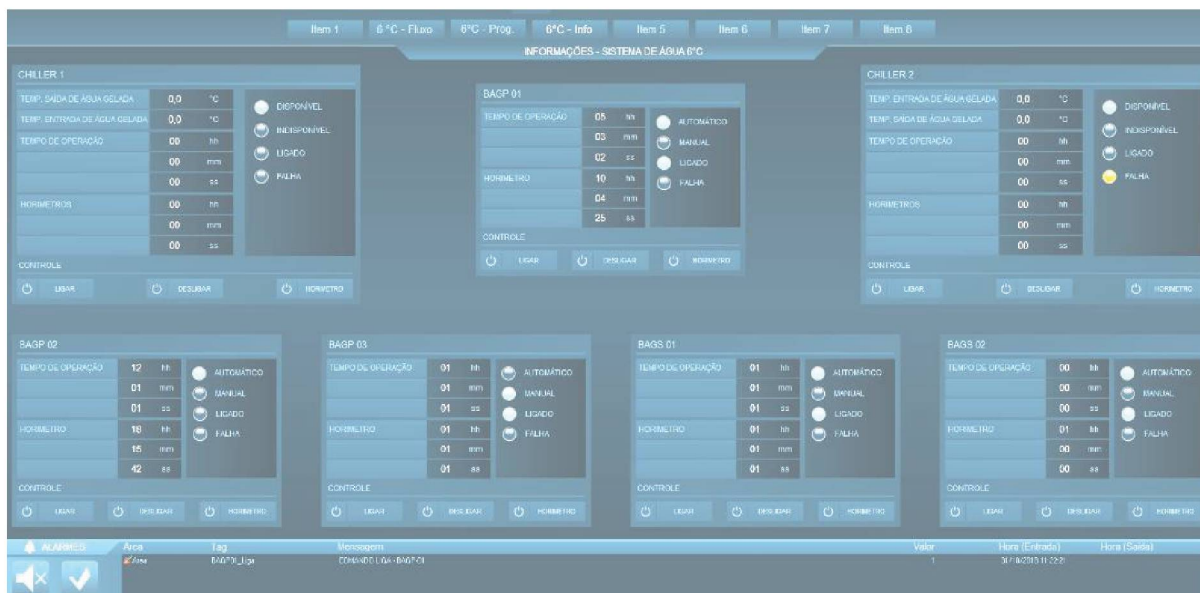
- Consumo de Energia Elétrica;
- Geração de Energia Elétrica;
- Consumo de Combustível;
- Consumo de Água;

Com tal monitoramento seria possível verificar em tempo real tais indicadores, sem necessidade de uso de planilhas Excel e tempo dos operadores para realizar o indicador. Além disso, existe a oportunidade de realizar uma análise mais precisa do impacto do laboratório na planta da empresa, com dados mais precisos para tomadas de decisão e redução de consumíveis. Isso vale também para os indicadores econômicos, podendo ser calculados diretamente com o uso do supervisório e apresentado em tempo real, sem a necessidade de entrada de dados de um operador.

Já no pilar social e econômico, o uso do supervisório para a geração de alarmes preditivos ajuda os operadores de manutenção a prever antecipadamente possíveis falhas em equipamentos, bem como reduzindo o tempo de perda de produção quando o laboratório para, por conta de problemas em equipamentos. Além disso, é possível integrar os check-lists de manutenção autônoma em papel diretamente no supervisório, gerando alarmes caso ações não sejam realizadas. O sistema supervisório ainda poderia evitar que operadores se desloquem até o piso técnico para comandar equipamentos específicos, ganhando tempo, sem necessidade de parar testes para ligar, desligar ou monitorar equipamentos manualmente. A figura 19 apresenta possíveis telas para monitoramento dos processos e sistemas do laboratório de teste de motores.

FIGURA 19 – EXEMPLO DE TELAS – SCADA





FONTE: Laboratório de Teste de Motores do Estudo de Caso (2018).

Considerando todos os alarmes que um sistema supervisorio (SCADA) possibilita, com a ajuda de sensores e atuadores, além da integração com os controladores do laboratório e sistema de combate a incêndio, isso traria uma maior segurança para poder rodar um terceiro turno e finais de semana sem operadores, ou seja, o laboratório operaria em automático, sem o monitoramento de operadores, apenas com o sistema de automação presente. Metade das horas do mês (50% da disponibilidade) vem de horas não utilizadas no terceiro turno e finais de semana, e o impacto em viabilizar o laboratório para estar em funcionamento por si só traria muitos benefícios econômicos e sociais, consequentemente aumentando o número de Horas Rodando. No pilar social, os operadores poderiam concentrar suas atividades em outras funções além de programar a sequência de testes para o laboratório rodar sozinho.

4.4.2 OPORTUNIDADE 2 – REALIDADE AUMENTADA PARA MANUTENÇÃO

Para gerenciar toda a manutenção de todos os sistemas e equipamentos, na maioria das vezes, os técnicos de manutenção necessitam entrar nas salas dos motores para verificar sensores, atuadores, equipamentos de medição de emissões, controladores, etc. Quando existe a necessidade de entrar na sala, necessariamente os testes de motores precisam parar e o motor necessita ser desligado por questões de segurança. A realidade aumentada pode ser um diferencial, pois com base em um modelo 3D, virtual e dinâmico do laboratório, permite aos técnicos de

manutenção a capacidade de verificar o status de algum equipamento simplesmente observando-os através de uma exibição de realidade aumentada.

Além disso, através dessa conectividade, pode ser aplicada uma solução em conjunto com os fabricantes dos equipamentos existentes no laboratório, para criar uma assistência remota de manutenção, sem parar a produção de testes e sem agendamento de visitas de fornecedores.

Outra possível solução seria a inclusão de todos os manuais dos equipamentos do laboratório em um banco de dados, onde através da realidade aumentada fosse possível verificar tais manuais em um *tablet* ou óculos apenas olhando para os equipamentos. A vantagem da realidade aumentada é sua capacidade de sobrepor efeitos invisíveis no ambiente real, facilitando a manutenção.

Os benefícios nos indicadores econômicos e sociais seriam muitos, considerando que seria possível realizar manutenções e verificações sem a parada do laboratório, bem como a ergonomia das atividades seria melhorada para equipamentos que necessitam uso de escadas ou de difícil acesso. A figura 20 ilustra um exemplo de aplicação de realidade aumentada com a utilização de *tablet*.

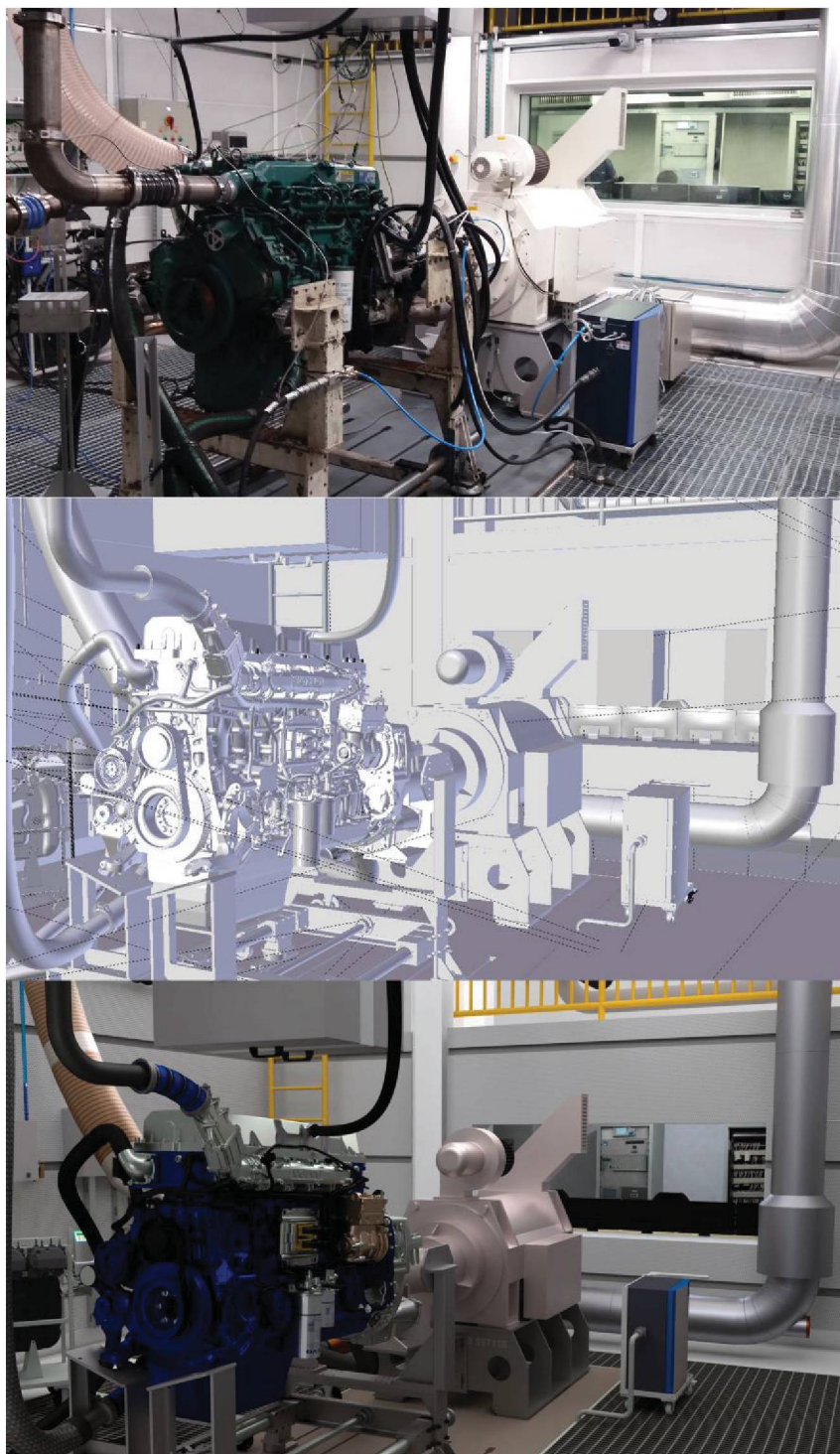
FIGURA 20 – EXEMPLO DE REALIDADE AUMENTADA



FONTE: PORTER & HEPPELMANN (2015).

Uma das iniciativas iniciais do laboratório utilizando realidade aumentada, primeiramente é a transformação das salas e equipamentos físicos em modelos digitais. Isso facilitaria não somente as ferramentas de realidade aumentada, mas também aumenta as possibilidades de simulações. A figura 21 apresenta a transformação do meio físico para o meio virtual.

FIGURA 21 – EXEMPLO DE DIGITALIZAÇÃO DO LABORATÓRIO



FONTE: Laboratório de Teste de Motores do Estudo de Caso (2018).

A figura 22 mostra um exemplo do laboratório com o uso de óculos de realidade virtual auxiliando na instalação e preparação do motor. Tais óculos podem ajudar em atividades de manutenção mesmo que o motor esteja em funcionamento, durante um teste.

FIGURA 22 – DIGITALIZAÇÃO AUXILIANDO A MANUTENÇÃO



FONTE: Laboratório de Teste de Motores do Estudo de Caso (2018).

4.4.3 OPORTUNIDADE 3 – BIG DATA INTEGRADO

Quando os testes são realizados no laboratório de teste de motores, diversas variáveis são monitoradas e gravadas em tempo real. A tabela 14 apresenta algumas das variáveis que são monitoradas durante os testes, entretanto esse número de parâmetros e variáveis, tanto do motor quanto dos equipamentos do laboratório, podem chegar facilmente a mais de 300 parâmetros.

TABELA 12 – VARIÁVEIS DE TESTE

Variável	Descrição	Unidade
P_ Exhaust	Pressão de Saída do Escape	kPA
Spd_PropShaft	Velocidade do eixo cardam	RPM
V_ ThrottlePos	Controle de Tensão do Pedal	V
Conc2_CO	Concentração de CO, após o sistema de pós-tratamento	PPM
Conc2_CO ₂	Concentração de CO ₂ , após o sistema de pós-tratamento	PPM
Conc2_HC	Concentração de HC, após o sistema de pós-tratamento	PPM
Conc2_NH ₃	Concentração de NH ₃ , após o sistema de pós-tratamento	PPM
Conc2_NO _x	Concentração de NO _x , após o	PPM

	sistema de pós-tratamento	
Conc2EGR	Concentração de CO ₂ , que retorna para o motor	PPM
Conc_CO	Concentração de CO, antes do sistema de pós-tratamento	PPM
Conc_CO ₂	Concentração de CO ₂ , após o sistema de pós-tratamento	PPM
Conc_HC	Concentração de HC, após o sistema de pós-tratamento	PPM
Conc_NH ₃	Concentração de NH ₃ , antes do sistema de pós-tratamento	PPM
Conc_NOx	Concentração de NOx, antes do sistema de pós-tratamento	PPM
tm_AdvAng	Ângulo do virabrequim	°
atns_UreaMassFlowDemand	Demanda de vazão de ureia	g/s
pd_PedalPos	Posição do Pedal	%
tc_EngLoadAtCurEspd	Carregamento do Motor	%
scro_UE_MeanUreaEffFilt	Média Ureia	
em_FuelValue	Vazão de Combustível	Mg/str
pd_PedalPerc	Porcentagem de Pedal	%
eb_ActualBrakeState	Estado do Freio Motor	-
em_FuelAngle	Ângulo de Injeção	°
se_BoostPressure_TS	Pressão do ar de Admissão	kPa
se_BoostTemp	Temperatura do ar de Admissão	°C
tc_TorqueValue	Valor do Torque	Nm
tc_IndTrqValue	Valor do Torque Indicado	Nm
eamc_EngineModeNoxInterpol	Interpolação do Modelo de NOx	%
mfv_ExhaustMassFlow	Vazão da massa de escape	kg/s
eb_EbrkTrqDem	Demanda do torque de frenagem	Nm
se_NOxOutLevel	Concentração de NOx	PPM
atr_TmScrTempAvg	Temperatura do sistema de pós tratamento	°C
atts_EngExhTemp	Temperatura de Saída do Motor	°C
se_AmbAirPres	Pressão de Ar Ambiente	kPa
se_CoolantTemp	Temperatura de Coolant do motor	°C
se_OilTemp	Temperatura do óleo do motor	°C
ExhaustManifoldPressure	Pressão do coletor de admissão	kPa
Flw_Fuel	Vazão de Combustível	g/s
Flw_InletAir	Vazão de Ar	kg/s
Flw_Urea	Vazão de Ureia	g/s
Hum_InletAir	Humidade do Ar	kPa
P_ABS_Intake	Pressão do Ar	kPa
P_Coolant	Pressão do Coolant	kPa
P_Oil	Pressão do óleo	kPa
Pwr_Engine	Potência do Motor	kW
Spd_Engine	Velocidade do Motor	RPM

FONTE: Laboratório de Teste de Motores do Estudo de Caso (2018)

Tais variáveis são verificadas posteriormente para cada ciclo de teste e confrontadas com uma demanda de legislação ou uma especificação de engenharia. Esse trabalho é realizado manualmente por um operador do laboratório ou por um engenheiro, de modo a definir a próxima sequência de testes ou verificar o atendimento dos requisitos. A quantidade de dados é bastante grande para a verificação manual, além do tempo necessário para a validação de todos os dados. Todos esses dados são continuamente salvos em servidores em arquivos do tipo *.xml* (linguagem de programação).

A tecnologia de Big Data pode ajudar o próprio laboratório no sentido de coletar e processar todos esses dados automaticamente ao longo do tempo. O impacto desse processamento ao longo do tempo é a rapidez nas tomadas de decisões para a sequência de testes, ou seja, o laboratório não fica parado aguardando a decisão de quais serão os próximos testes. Além disso, fica muito mais preciso o acompanhamento da derivação ou desgaste dos equipamentos de medição, em tempo real, a própria automação, junto com o processamento desses dados, informa os técnicos de manutenção sobre a tendência dos equipamentos.

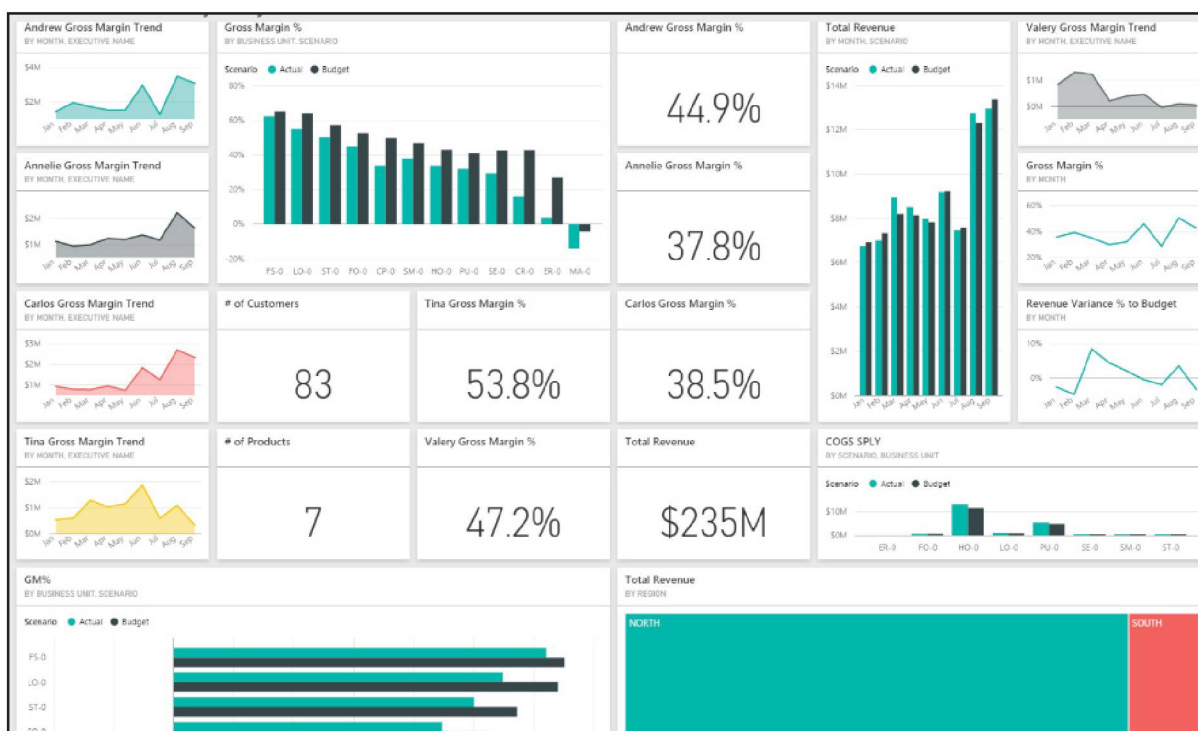
O Big Data das variáveis do laboratório de teste de motores suportaria toda a interpretação do volume dos dados, relativamente grande, com a variedade de variáveis, sensores e atuadores na velocidade em que eles são aquisitados. Espera-se, portanto, que decisões sejam tomadas em menos tempo e que os operadores e engenheiros possam tratar outros assuntos enquanto o próprio laboratório analisa os dados gerados durante os testes, em automático.

Os indicadores que seriam mais afetados no pilar econômico e social seriam as Horas Trabalhadas, Horas Rodando, Horas de Análise, Perda de Produção e Manutenção Preventiva.

Uma ferramenta que está em estudo no laboratório que pode ser utilizada para acompanhar e processar todo esse volume de dados, apresentando relatórios de desempenho e os indicadores de sustentabilidade compilados, é o Microsoft Power BI (Business Intelligence). Tal ferramenta permitiria a visualização processada e conectada dos indicadores de sustentabilidade em tempo real e até mesmo em um nível de negócio. Tais visualizações rápidas e processadas permitiriam uma tomada de decisão mais rápida nas atividades de teste do laboratório. A figura 23 apresenta um exemplo de tela da ferramenta Power BI. Foi verificado que em versões mais

completas do pacote de Softwares Microsoft Office o Power BI já faz parte, assim como os Softwares mais tradicionais.

FIGURA 23 – EXEMPLO DE TELA POWER BI

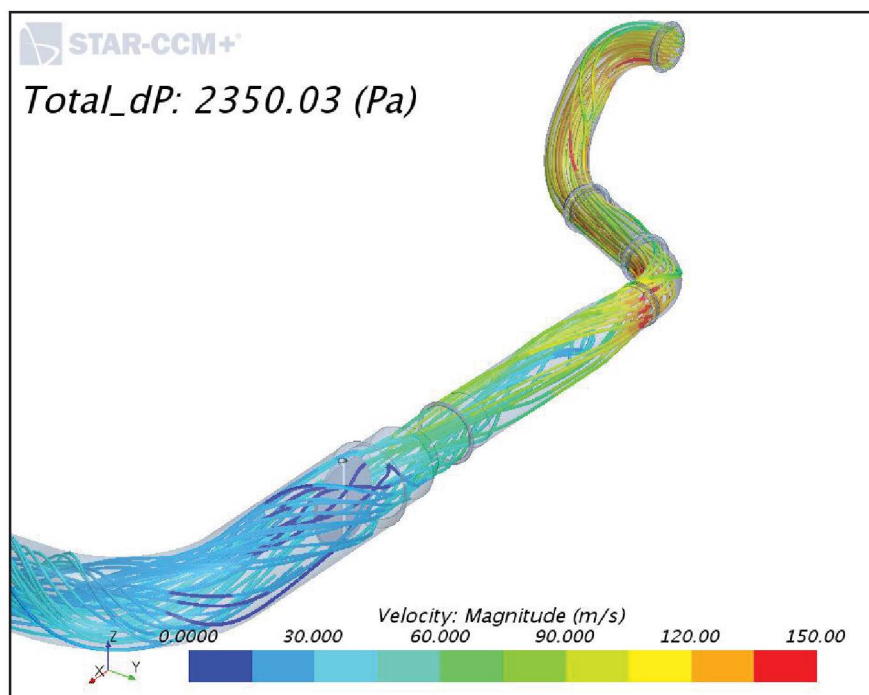


FONTE: MICROSOFT (2018).

4.4.4 OPORTUNIDADE 4 – SIMULAÇÃO

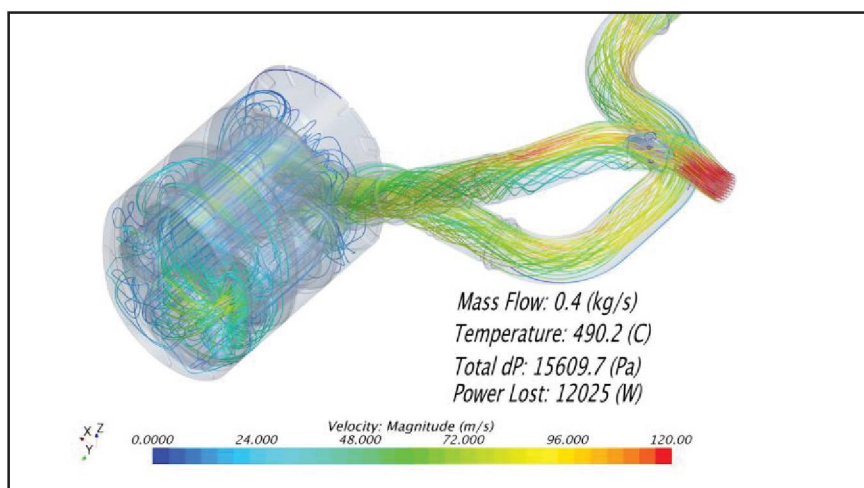
O uso de ferramentas de simulação, já em aplicação no laboratório, facilita a tomada de decisões por designs de linhas de escapamentos dos motores, bem como facilita as estratégias de calibração. Por consequência diminuindo testes físicos do motor, reduzindo custos e prazos de projetos. Tal estratégia impacta diretamente os indicadores econômicos do laboratório por tornar a campanha de testes mais curta e mais eficiente. As figuras 24 e 25 representam a simulação do escoamento de emissões dos gases de escape de uma linha de escapamento de um veículo e a simulação do escoamento dos gases de escape em um catalisador de redução seletiva (SCR). Componentes fundamentais para o controle de emissões de motores de combustão interna que impactam diretamente em sua calibração de desempenho e emissões de poluentes.

FIGURA 24 – SIMULAÇÃO DE ESCOAMENTO DE LINHA DE ESCAPAMENTO



FONTE: Laboratório de Teste de Motores do Estudo de Caso (2018).

FIGURA 25 – SIMULAÇÃO DE ESCOAMENTO DE SCR



FONTE: Laboratório de Teste de Motores do Estudo de Caso (2018).

4.4.5 OUTRAS OPORTUNIDADES

Outras oportunidades relacionadas à Indústria 4.0 não foram consideradas como, por exemplo, a Internet das Coisas, pelo motivo de segurança da informação, onde hoje na empresa existe uma malha de segurança para todas as redes ethernet. Para realizar acessos remotos via internet demandariam estudos e investimentos em segurança da informação que em um primeiro momento não seriam viáveis. Além disso, seria necessária uma modernização de todos os controladores lógicos

programáveis que utilizam ethernet, para internet. Sem dúvida alguns benefícios podem ser identificados como, por exemplo, a manutenção remota e investigação da causa de problemas por fornecedores, sem a necessidade de visitas, entretanto o custo de investimento ainda não pode ser mensurável para a segurança da informação.

Quanto à utilização de nuvem de dados, os especialistas consideram que os servidores existentes hoje, além do servidor para dados do sistema supervisorio, seriam suficientes para diagnósticos e tomadas de decisões com os dados existentes internamente na empresa. Tais servidores possuem acesso interno pelas redes da empresa e já seriam considerados como uma nuvem interna.

Com relação a manufatura aditiva, existem disponíveis na empresa algumas impressoras 3D de pequeno porte. Entretanto, para o laboratório a aplicação identificada mais funcional, seria a demanda por peças protótipos pequenas, para avaliação de montagem nos motores para avaliar instalações diversas.

4.5 COMPILAÇÃO DAS OPORTUNIDADES

Várias tecnologias da Indústria 4.0 podem ajudar e suportar uma melhoria contínua nos indicadores de sustentabilidade de um laboratório de teste de motores. De acordo com o que foi encontrado na literatura, tecnologias como Big Data, Robôs Autônomos, Simulação, Integração Horizontal e Vertical de Sistemas, Internet das Coisas, Nuvem de Dados, Manufatura Aditiva, Realidade Aumentada, entre outros, podem ter aplicações em laboratórios de teste de motores. Também os termos comumente relacionados à indústria 4.0 como Sistemas Integrados e Sistemas Cyber-Físicos também são comumente utilizados na literatura.

A tabela 15 faz um resumo das oportunidades encontradas frente aos indicadores, onde tais oportunidades podem impactar positivamente nos indicadores de sustentabilidade do laboratório de teste de motores do estudo de caso. Destacam-se então as tecnologias presentes na literatura da Oportunidade 1, Sistemas Integrados, Oportunidade 2, Realidade Aumentada e Oportunidade 4, Simulação.

TABELA 13 – OPORTUNIDADES E INDICADORES

Indicadores de Sustentabilidade	Oportunidade 1	Oportunidade 2	Oportunidade 3	Oportunidade 4
Ambiental, Social e Econômico	Sistemas Integrados	Realidade Aumentada	Big Data	Simulação
Consumo e geração de energia	Uso de uma ferramenta SCADA para adquirir o consumo e geração de energia elétrica.		Através de um banco de dados do consumo e geração de energia, é possível elaborar ações com base nesses dados para a melhoria do indicador.	
Horas Rodando	Como os sistemas integrados, seria possível gerar mais disponibilidade para o laboratório rodar em automático.	O uso de ferramentas de realidade aumentada evita a parada do laboratório para se entrar na sala de testes.	Os dados de testes sendo processados e interpretados em tempo real podem levar a decisões autônomas pela automação do laboratório.	Mais simulação com menor tempo de testes
Horas de Instalação e Análise de Resultados		Com o uso de ferramentas de realidade aumentada, os check lists e procedimentos operacionais poderiam estar armazenados em tablets, agilizando o trabalho.		Menos instalações para serem testadas, consumindo horas do laboratório.
Horas não disponíveis	Maior disponibilidade de horas	Utilizar mais tempo de manutenção com realidade aumentada fora da sala de teste.		
Falta de Recurso	Mais recurso autônomo dos sistemas integrados		Decisões autônomas pelo próprio sistema do laboratório.	
Perda de Produção	Menor perda de produção com mais horas rodando		Mais dados sendo avaliados, processados em tempo real.	
Manutenção Preventiva	Facilidade com alarmes e status de equipamentos.	Planejamento de manutenção fora da sala de teste.	Interpretação de dados para manutenção preventiva de equipamentos.	Menos testes de novas instalações e adaptações mecânicas e elétricas.

FONTE: O Autor (2018)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O termo Indústria 4.0, bem como as tecnologias associadas, por exemplo Big Data, Realidade Aumentada e Sistemas integrados cyber-físicos, vêm sendo constantemente utilizados nos últimos anos de modo a ser realizada uma constante transformação das indústrias e seus processos em fábricas inteligentes, para garantir vantagens competitivas no mercado e maior produtividade. Essa busca por uma maior produtividade e eficiência terá suporte de todas as novas tecnologias de virtualização dos processos, deixando-os cada vez mais integrados com as demandas de clientes e o mercado. Ao mesmo tempo, o crescimento da utilização dessas tecnologias deve estar alinhado com os conceitos de sustentabilidade, realizando um desenvolvimento sustentável nos três pilares de sustentabilidade, seja no âmbito ambiental, com o uso consciente dos recursos naturais, no âmbito social, utilizando as tecnologias para melhorar o trabalho das pessoas envolvidas nos processos, e no âmbito econômico, trazendo uma maior produtividade.

O objetivo desse trabalho foi aplicar um método de diagnóstico das tecnologias da Indústria 4.0 com indicadores de sustentabilidade em um laboratório de teste de motores da indústria automotiva. A ideia do uso desse método foi utilizar um modelo prático para identificar potenciais oportunidades para a melhoria dos indicadores de sustentabilidade dentro do processo de teste de motores, podendo identificar soluções em que tomadas de decisões sejam realizadas de forma mais rápida, eficaz, em tempo real, visando aumento de produtividade, reduzindo desperdícios e agregando mais valor aos seus produtos e serviços do laboratório.

Verificou-se que os termos *engine testing*, *industry 4.0* e *sustainability*, quando cruzados, ainda são pequenos no meio acadêmico, tornando difícil encontrar publicações relacionando os termos, ferramentas e métodos com teste de motores e indicadores de sustentabilidade, nas bases tradicionais de pesquisa acadêmica. Isso apresentou uma lacuna no meio acadêmico, bem como uma oportunidade para se aprofundar e vincular esses assuntos.

Durante a aplicação do método houve um pouco de dificuldade para aplicar o mapeamento de fluxo de valor, principalmente devido ao processo de teste motores ser bastante diferente de motor para motor e de projeto para projeto e também sem uma padronização constante das atividades, além de alguns indicadores não serem acompanhados em tempo real.

Ao observar o estudo de caso foi verificado que soluções como o uso de sistema supervisorio (SCADA), Realidade Aumentada e Big Data, são as tecnologias com maior potencial de aplicação no laboratório, com impactos diretos nos indicadores ambientais, sociais e econômicos. Indicadores como as horas em que o laboratório está rodando pode ser elevada significativamente com o uso dessas tecnologias viabilizando, por exemplo, mais turnos em automático. Também seria possível mensurar individualmente o consumo real de energia elétrica, bem como o quanto o laboratório gera de energia para a planta e qual o balanço do uso desse recurso.

O uso desse modelo de diagnóstico auxiliou em identificar as tecnologias da indústria 4.0 com indicadores de sustentabilidade em um processo produtivo e ajudou a identificar oportunidades em um laboratório de teste de motores. Antes da aplicação do modelo de diagnóstico não era possível vincular as tecnologias normalmente direcionadas ao termo Indústria 4.0 com um laboratório de teste de motores e ainda apresentar como os indicadores de sustentabilidade podem ser afetados. Também não era possível identificar diversas ferramentas que podem auxiliar em tomadas de decisões e resolução de problemas dentro do laboratório de teste de motores. Assim, com o auxílio desse método, focando nas tecnologias da indústria 4.0, fica evidente que o uso delas em algum momento vai ser tornar realidade, tornando cada vez mais o modelo físico em um modelo cyber-físico.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

No que se refere a trabalhos futuros seria interessante acompanhar a implementação dessas tecnologias, pois através de entrevistas com os profissionais envolvidos no laboratório foi identificado que um sistema supervisorio está previsto no curto prazo, bem como o uso de Big Data para rodar ainda mais testes em automático. Assim, seria possível medir os valores reais dos indicadores e compará-los antes e depois, apresentando o real impacto do uso de tecnologias da Indústria 4.0 com indicadores de sustentabilidade em um laboratório de teste de motores. Além disso, seria interessante a aplicação de outro modelo de mapeamento de fluxo de valor, de modo a obter uma mais precisa imagem dos processos do laboratório, considerando que cada escopo de teste é diferente e a cadência da produção de testes é diferente. Para a aplicação das tecnologias da indústria 4.0, um estudo de

viabilidade ainda seria necessário, de modo a enfatizar que o uso dessas tecnologias é viável frente ao investimento de suas aplicações.

REFERÊNCIAS

ANDERL, R. Industrie 4.0 - Advanced engineering of smart products and smart production. **19º Seminário Internacional de Alta Tecnologia**, Piracicaba, 2014.

ANSI/ISA-95.00.05-2013. **Enterprise-Control System Integration - Part 5: Business-to-Manufacturing Transactions**, 2013

ARBIX, G.; SALERNO, M.; ZANCUL, E.; AMARAL, G.; LINS, L. O Brasil e a nova onda de manufatura avançada: O que aprender com Alemanha, China e Estados Unidos, **Novos estudos CEBRAP**, 2017.

ATKINS, R. **An Introduction to Engine Testing and Development**, SAE International, 2009.

BAGHERI, B., YANG, S., KAO, H., LEE, J. **Cyber-physical Systems Architecture for Self-Aware Machines in Industry 4.0 Environment**. IFAC-PapersOnLine, 2015.

BERT, K., LÜTKEMEYER, G. WEINOWSKI, R. **Effective strategies for engine management application**. MTZ Worldwide, 2002.

BOSCH, R. **Automotive Handbook**. 8ª Edição, 2011.

BRUNETTI, F. **Motores de Combustão Interna – Volume 1**. Blucher, 2012.

BRUNETTI, F. **Motores de Combustão Interna – Volume 2**. Blucher, 2012.

CALDER, J.; ROY, M. WANG, W. **Performance and emissions of a diesel engine fueled by biodiesel-diesel blends with recycled expanded polystyrene and fuel stabilizing additive**. Energy, 2018.

CONAMA. **Conama reduz limites de emissão de poluentes por veículos novos no país.** Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/noticias/436-2018/1782-conama-reduz-limites-de-emissao-de-poluentes-por-veiculos-novos-no-pais>. Acesso em: 30/11/2018.

CESAR, F.; MACHADO, M.; RODRIGUES, F. MAKIYA, I.; SILVA, A. **INDUSTRY 4.0: A bibliometric analysis and guidelines for future research perspectives.** Unicamp, 2016.

DRUMM, F.; GERHARDT, A.; FERNANDES, G.; CHAGAS, P.; SUCOLOTTI, M.; KEMERICH, P. **Poluição atmosférica proveniente da queima de combustíveis derivados do petróleo em veículos automotores.** REGET, 2014.

FEIDT, M.; **Finite Physical Dimensions Optimal Thermodynamics.** Elsevier, 2017.

FRANK, A. G.; DELENOGARE, L. S.; AYALAC, N. F. **Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies.** International Journal of Production Economics, 2019.

ELKINGTON, J. **Cannibals with Forks - The Tipple Bottom Line of 21st Century Business.** Capstone, 1999.

ELKINGTON, J. **Coming clean: The rise and rise of the corporate environment report.** Business Strategy and the Environment, 1993.

FINKBEINER, M., SCHAU, E. LEHMANN, A., TRAVERSO, M. **Towards Life Cycle Sustainability Assessment.** Sustainability, 2010.

GARETTI, M.; TAISCH, M. **Sustainable manufacturing: trends and research challenges.** Production Planning & Control, v. 23, n. 2-3, p. 83-104, 2012.

GERBERT, P.; LORENZ, M.; RUSSMANN, M.; WALDNER, M. **Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries,** 2015.

GIL, C. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

HAFNER, M. **Modellbasierte stationäre und dynamische Optimierung von Verbrennungsmotoren am Motorenprüfstand unter Verwendung neuronaler Netze.** Automatisierungstechnik, 2002.

HOSEINI, S.; NAJAFI, G. **The effect of combustion management on diesel engine emissions fueled with biodiesel-diesel blends.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017.

INMETRO. **Protocolo de CI Dimci/GT-PEP nº002/2017 – Revisão nº 02,** 2017.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. **Securing the future of German manufacturing industry. Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0. Final report of the Industrie 4.0 Working Group.** ACATECH – National Academy of Science and Engineering. Federal Ministry of Education and Research, 2013.

KANG, H. S.; CHOI, S.; PARK, J.; KIM, B. H.; LEE, J. Y.; KIM, H.; SON, J.; NOH, S. D. **Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions.** International Journal of Precision Engineering and Manufacturing Technology, Vol. 3, No. 1, pp. 111–28, 2016.

KHAN, A.; TUROWSKI, K. **A Survey of Current Challenges in Manufacturing Industry and Preparation for Industry 4.0.** Proceedings of the First International Scientific Conference “Intelligent Information Technologies for Industry” (IITI’16). Springer International Publishing, p. 15-26, 2016.

LASI, H.; KEMPER, H. G.; FETTKE, P.; FELD, T. **Industry 4.0.** Business and Information Systems Engineering, Vol. 6, No. 4, pp. 239–42, 2014.

LIAO, Y.; DESCHAMPS, F.; LOURES, E. R.; RAMOS, L. F. P. **Past Present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal.** International Journal of Production Research, Vol. 55, No. 12, pp. 3609–29, 2017.

LIAO, Y.; LOURES, E. R.; DESCHAMPS, F.; BREZINSKI, G.; VENÂNCIO, A. **The impact of the fourth industrial revolution: a cross-country/region comparison.** Produção, v. 28, p. 1, 2018.

LINDE, K.; WILLICH, N. **How objective are systematic reviews? Differences between reviews on complementary medicine.** J R Soc Med, 2003.

LEE, J.; KAO, H.; YANG, S. **Service innovation and smart analytics for industry 4.0 and big data environment.** Procedia Cirp, 2014.

LU, Y. **Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues.** Journal of Industrial Information Integration, 2017.

MARTYR, A.; PLINT, M. **Engine Testing, Fourth Edition: The Design, Building, Modification and Use of Powertrain Test Facilities.** 4ª Edição, 2012.

MICROSOFT. **Power BI Pro.** Disponível em: <https://powerbi.microsoft.com/pt-br/power-bi-pro/>. Acesso em: 27/10/2018.

MIGUEL, P. A. C. **Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução.** Produção, v. 17, n. 1, p.216-229, 2007.

NICHIOKA, J. **Instrumento para análise da Sustentabilidade Organizacional: O caso da Construção Civil.** Universidade Federal Fluminense, 2018.

POLIT, D. F.; HUNGLER, B. P. **Fundamentos de Pesquisa.** 3. ed., Porto Alegre, Artes, 1995.

PORTER, M., HEPPELMANN, E. **How smart, connected products are transforming competition.** Harvard Business Review, 2015. Disponível em: <https://hbr.org/2014/11/how-smart-connected-products-are-transforming-competition>. Acesso em: 07/07/2018.

PRODANOV, C. C.; DE FREITAS, E. C. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico.** 2ª Edição, Novo Hamburgo, 2013.

REINHARD, L.; ROJAS-PEÑA, L. **PLCs as Industry 4.0 Components in Laboratory Applications.** International Journal of Online and Biomedical Engineering, 2016.

ROBLEK V.; MESKO, M.; KRAPEZ A. **A Complex View of Industry 4.0**. Sage Open, 2016.

ROBSON, C. **Real world research: a resource for social sciences and practitioner-researcher**. Oxford: Blackwell, 1993.

SAMPAIO, R. F.; MANCINI, M. C. **Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica**. Revista Brasileira, v. 11, n. 1, p. 83-89, 2007.

SANTOS, A. P.; CLETO, M. G.; PEREIRA, G. B. **INDUSTRY 4.0: glitter or gold? A systematic review**. Brazilian Journal of Operations & Production Management, v. 15, p. 247-253, 2018.

SAWYER, R.; JOHNSON, R. **Diesel Emissions and Control Technology, Diesel Exhaust: A Critical Analysis of Emissions, Exposure, and Health Effects**. Special Report, Health Effects Institute, 1995.

SHAFIQ, S. I.; SANIN, C.; SZECZEBICKI, E.; TORO, C. **Virtual Engineering Object / Virtual Engineering Process: A specialized form of Cyber Physical System for Industries 4.0**. 19th International Conference on Knowledge Based and Intelligent Information and Engineering Systems. Procedia Computer Science, v. 60, p. 1146-155. 2015.

SCHULES, M. Proposta de Diagnóstico para adoção das tecnologias da Indústria 4.0 em um processo produtivo com base em indicadores de sustentabilidade: Um Estudo de Caso. **Dissertação de Mestrado**. UFPR, 2018.

SILVA, E. L. da; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4ª Edição, Florianópolis, 2005

SINGH, S.; OLUGU, E. U.; FALLAHPOUR, A. **Fuzzy-based sustainable manufacturing assessment model for SMEs**. Clean Technologies and Environmental Policy, v. 16, n. 5, p. 847-860, 2014.

STOCK, T., SELIGER, G. **Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0**. Procedia CIRP, 2016.

TAYLOR, A. **Science review of internal combustion engines**. Energy Policy, 2008.

VAIDYA, S.; AMBAD, P.; BHOSLE, S. **Industry 4.0 – A Glimpse**. Procedia, 2018.

WCDE. **Our Common Future**. World Commission on Environment and Development, 1987.

WITKOWSKI, K. **Internet of Things, Big Data, Industry 4.0 – Innovative Solutions in Logistics and Supply Chains Management**. Procedia Engineering, 2017.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 3ª Edição, Porto Alegre: Bookman, 2005

ZHOU, L.; CHONG, A. Y. L.; NGAI, E. W. T. **Supply chain management in the era of the internet of things**. International Journal of Production Economics, v. 159, p. 1-3, 2015.

ANEXO A – CRONOGRAMA

		2016												2017												2018												19											
		Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro										
1.	Pesquisa - Mestrado	[Barra azul contínua]																																															
1.2	Disciplinas Isoladas	[Barra azul contínua]																																															
1.2.1	TP718 - Gestão de Projetos	[Barra azul]																																															
1.2.2	TP720 - Gestão de Multinacionais	[Barra azul]																																															
1.2.3	TP1709 - Técnicas Estatísticas para Melhoria da Qualidade	[Barra azul]																																															
1.3	Ingresso como aluno regular - Edital	[Barra azul]																																															
1.4	Disciplinas como aluno regular	[Barra azul]																																															
1.4.1	CE705 - Probabilidade e Estatística Aplicada	[Barra azul]																																															
1.4.2	TEP7025 - Projeto e Gestão de Sistemas de Produção	[Barra azul]																																															
1.4.3	TEP7015 - Método de Pesquisa	[Barra azul]																																															
1.4.4	EPRO-7006 - Gestão Ambiental de Unidades Produtivas	[Barra azul]																																															
1.4.5	EPRO-7001 - Análise de Operações Logísticas	[Barra azul]																																															
1.5	Definição de Tema da Dissertação	[Barra azul]																																															
1.5.1	Pesquisar o problema	[Barra azul]																																															
1.5.2	Definir Justificativas	[Barra azul]																																															
1.5.3	Definir objetivo geral	[Barra azul]																																															
1.5.4	Definir objetivo específico	[Barra azul]																																															
1.6	Revisão Bibliográfica	[Barra azul]																																															
1.6.1	Pesquisar e analisar artigos	[Barra azul]																																															
1.7	Introdução	[Barra azul]																																															
1.8	Qualificação	[Barra azul]																																															
1.9	Desenvolvimento	[Barra azul]																																															
1.9.1	Estudar o caso	[Barra azul]																																															
1.9.2	Avaliar Resultados	[Barra azul]																																															
1.9.3	Concluir o tema estudado	[Barra azul]																																															
1.10	Revisão e validação com Orientador	[Barra azul]																																															
1.11	Defesa	[Barra azul]																																															
1.12	Atividades da Disciplina de Seminários	[Barra azul]																																															