

MÁRCIO DE QUEIROZ MURAD

**PROPOSTA DE UMA METODOLOGIA PARA
MENSURAÇÃO DO ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE
PARA PROCESSOS DE FABRICAÇÃO**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
2020**

MÁRCIO DE QUEIROZ MURAD

**PROPOSTA DE UMA METODOLOGIA PARA
MENSURAÇÃO DO ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE
PARA PROCESSOS DE FABRICAÇÃO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de **DOUTOR EM ENGENHARIA MECÂNICA**.

Área de Concentração: Materiais e Processos de Fabricação.

Orientador: Prof. Dr Wisley Falco Sales.
Co-orientador: Prof. Dr. Valtair Antônio Ferraresi.

**UBERLÂNDIA – MG
2020**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

M972p
2020 Murad, Márcio de Queiroz, 1969-
Proposta de uma metodologia para mensuração do índice de sustentabilidade para processos de fabricação [recurso eletrônico] / Márcio de Queiroz Murad. - 2020.

Orientador: Wisley Falco Sales.
Coorientador: Valtair Antônio Ferraresi.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.
Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2020.3012>
Inclui bibliografia.
Inclui ilustrações.

1. Engenharia mecânica. I. Sales, Wisley Falco, 1965-, (Orient.). II. Ferraresi, Valtair Antônio, 1957-, (Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. IV. Título.

CDU: 621

Rejâne Maria da Silva – CRB6/1925



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
 Av. João Naves de Ávila, nº 2121, Bloco 1M, Sala 212 - Bairro Santa Mônica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902
 Telefone: (34) 3239-4282 - www.posgrad.mecanica.ufu.br - secposmec@mecanica.ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Engenharia Mecânica				
Defesa de:	Tese de Doutorado, nº 299, COPEM				
Data:	05/06/2020	Hora de início:	08:00	Hora de encerramento:	13:00
Matrícula do Discente:	11723EMC005				
Nome do Discente:	Márcio de Queiroz Murad				
Título do Trabalho:	Proposta de uma Metodologia para Mensuração do Índice de Sustentabilidade para Processos de Fabricação				
Área de concentração:	Materiais e Processos de Fabricação				
Linha de pesquisa:	Processos de Fabricação (Usinagem e Soldagem)				
Projeto de Pesquisa de vinculação:					

Reuniu-se por meio de videoconferência a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, assim composta: Professores Doutores: Álisson Rocha Machado - FEMEC/UFU; Louriel Oliveira Vilarinho - FEMEC/UFU; Valtair Antonio Ferraresi (coorientador) - FEMEC/UFU; Amauri Hassui - UNICAMP; Fred Lacerda Amorim - PUCPR e Wisley Falco Sales - FEMEC/UFU, orientador do candidato. Ressalta-se que os Prof. Amauri Hassui, Fred Lacerda Amorim, Álisson Rocha Machado, Louriel Oliveira Vilarinho, Valtair Antonio Ferraresi, Wisley Falco Sales e o Discente participaram da defesa por meio de videoconferência desde a cidade de Campinas/SP, Curitiba/PR e Uberlândia/MG, respectivamente, em atendimento a Portaria nº 36, de 19 de março de 2020, da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES.

Iniciando os trabalhos o presidente da mesa, Dr. Wisley Falco Sales, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato, agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Wisley Falco Sales, Professor(a) do Magistério Superior**, em 05/06/2020, às 13:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Valtair Antonio Ferraresi, Professor(a) do Magistério Superior**, em 05/06/2020, às 13:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Amauri Hassui, Usuário Externo**, em 05/06/2020, às 14:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Louriel Oliveira Vilarinho, Professor(a) do Magistério Superior**, em 05/06/2020, às 16:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fred Lacerda Amorim, Usuário Externo**, em 07/06/2020, às 08:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **ALISSON ROCHA MACHADO, Usuário Externo**, em 10/06/2020, às 10:17, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2068639** e o código CRC **7115B2AD**.

À Deus
À minha esposa Carla
Aos meus pais Mounif (em memória) e Maria José
Às minhas filhas Mariana e Carina
Aos meus irmãos Mounif e Marilha

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelas condições de saúde e inteligência, indispensáveis para esta realização.

Aos professores e orientadores Wisley Falco Sales e Valtair Antônio Ferraresi, pelos valiosos ensinamentos, pelo apoio, dedicação, confiança e, acima de tudo, pela valiosa orientação.

À minha esposa Carla, e minhas filhas Mariana e Carina, pela credibilidade, incentivos, apoio e carinho.

Aos meus pais Mounif (em memória) e Maria José, pelos valores ensinados, pela dedicação e pelo amor.

Aos professores do curso de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, pelos preciosos ensinamentos.

Ao programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica da UFU, pelo suporte infra estrutural, a todos do LAPROSOLDA/UFU.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO	1
1.1. Introdução	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Justificativa.....	3
CAPÍTULO II: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1. Introdução	7
2.2. Descrição do Setor de Extração do Caldo	8
2.3. Manufatura	14
2.4. Sustentabilidade	16
2.5. Manufatura Sustentável.....	17
2.6. O Conceito <i>Triple Bottom Line</i> e a Manufatura Sustentável.....	20
2.7. Conceito Economia Circular e a Manufatura Sustentável	23
2.8. Índices de Sustentabilidade	25
2.9. Índices de Sustentabilidade para Etapas de Processo	35
2.10. Considerações Importantes no Desenvolvimento de ÍS.....	38
CAPÍTULO III – METODOLOGIA	39
3.1. Definição dos Pilares e KPIs.....	39
3.2. Descrição e Forma de Mensuração dos KPIs	41
3.2.1.1. KPI Insalubridade	41
3.2.1.2. Risco de Acidentes.....	44
3.2.1.3. KPI Treinamento.....	45
3.2.1.4. KPI Nível de Escolaridade	46
3.2.1.5. KPI Taxa de Gravidade	46
3.2.1.6. KPI Taxa de Frequência de Acidentes.....	47

3.2.1.7	KPI Grau de Satisfação	48
3.2.1.8	KPI Nível Salarial.....	49
3.2.1.9	KPI Periculosidade	49
3.2.1.10	KPI Ergometria	50
3.2.1.11	KPI Nível de Rotatividade	51
3.2.1.12	KPI Nível de Absenteísmo	52
3.2.2.1	KPI Índice de Custo com Acidentes (ICA).....	52
3.2.2.2	KPI Índice de Custo com Absenteísmo (ICA _b)	53
3.2.2.3	KPI Índice de Custo com Rotatividade (ICA _r).....	53
3.2.2.4	KPI Índice de Custo com Treinamento.....	54
3.2.2.5	KPI Índice de Custo com Não Conformidade.....	54
3.2.2.6	KPI Índice de Custo com Mão de Obra.....	55
3.2.2.7	KPI Índice de Custo com Energia Elétrica	55
3.2.2.8	KPI Índice de Custo com Consumo de Água	56
3.2.2.9	KPI Índice de Custo com Matéria Prima e Insumos	56
3.2.3.1	KPI Nível de Automação.....	56
3.2.3.2	KPI Programa 5S ou Similar	57
3.2.3.3	KPI Programa Kaizen ou Similar.....	58
3.2.3.4	KPI Gestão da Manutenção.....	58
3.2.3.5	KPI Gestão da Qualidade	59
3.2.3.6	KPI Motores de Alta Performance.....	59
3.2.3.7	KPI Treinamento Operacional.....	60
3.2.4.1	KPI Atendimento a NR12 (Item 12.4).....	60
3.2.4.2	KPI Ações Trabalhistas	61
3.2.4.3	KPI Autuações pelo Ministério do Trabalho e Emprego (MTE)	61
3.2.4.4	KPI Autuações pelo Ministério do Meio Ambiente (MA).....	62

3.2.4.5	KPI Treinamento Relativo a Segurança do Trabalho	62
3.2.5.1	KPI Treinamento em Aspectos Ambientais	63
3.2.5.2	KPI Resíduos Perigosos	63
3.2.5.3	KPI Resíduos Inertes e Não Inertes.....	64
3.2.5.4	KPI Emissão Atmosférica	64
3.2.5.5	KPI Plano de Emergência.....	65
3.2.5.6	KPI Eficiência no Uso de Água	65
3.2.5.7	KPI Geração de Águas Residuais.....	66
3.2.5.8	KPI Descarte de Águas Residuais	66
3.2.5.9	KPI Emissão de Gás de Efeito Estufa (GEE).....	66
3.3	Consolidação dos Resultados dos KPIs	67
CAPÍTULO IV: RESULTADOS		72
4.2.1	KPI Insalubridade	71
4.2.2	KPI Riscos de Acidentes	72
4.2.3	KPI Treinamento.....	73
4.2.4	KPI Nível de escolaridade.....	74
4.2.5	KPI Taxa de gravidade	75
4.2.6	KPI Taxa de frequência de acidentes	76
4.2.7	KPI Grau de Satisfação	77
4.2.8	KPI Nível salarial	77
4.2.9	KPI Periculosidade	78
4.2.10	KPI Ergometria	79
4.2.11	KPI Nível de rotatividade	80
4.2.12	KPI Nível de absenteísmo	81
4.2.13	KPI Índice de Custo com Acidentes.....	81
4.2.14	KPI Índice de Custo com Absenteísmo.....	82

4.2.15	KPI Índice de Custo com Rotatividade.....	83
4.2.16	KPI Índice de Custo com Treinamento.....	83
4.2.17	KPI Índice de Custo com Não Conformidade.....	84
4.2.18	KPI Índice de Custo com Mão de Obra.....	85
4.2.19	KPI Índice de Custo como Consumo de Energia Elétrica	85
4.2.20	KPI Índice de Custo com Consumo de Água	86
4.2.21	KPI Índice de Custo com Consumo de Matéria Prima e Insumos	87
4.2.22	KPI Nível de Automação.....	87
4.2.23	KPI Programa 5S ou similar.....	88
4.2.24	KPI Programa Kaizen ou similar	89
4.2.25	KPI Gestão da Manutenção.....	89
4.2.26	KPI Gestão da Qualidade	90
4.2.27	KPI Motores de Alta Performance.....	91
4.2.28	KPI Treinamento Operacional.....	91
4.2.29	KPI Atendimento a NR12 (item 12.4).....	92
4.2.30	KPI Ação Trabalhista.....	92
4.2.31	KPI Autuações pelo Ministério do Trabalho (MTE)	93
4.2.32	KPI Autuações pelo Ministério do Meio Ambiente (MA).....	93
4.2.33	KPI Treinamento Relativo a Segurança do Trabalho	94
4.2.34	KPI Treinamento em Aspectos Ambientais.....	95
4.2.35	KPI Resíduos Perigosos.....	95
4.2.36	KPI Resíduos Inertes e Não Inertes.....	96
4.2.37	KPI Emissão Atmosférica	97
4.2.38	KPI Plano de Emergência.....	98
4.2.39	KPI Eficiência no Uso de Água	98
4.2.40	KPI Geração de Águas Residuais.....	99

4.2.41	KPI Descarte de Águas Residuais	99
4.2.42	KPI Emissão de GEE.....	100
4.3	Resumo dos Índices de Sustentabilidade	102
4.3.1	Níveis de Sustentabilidade dos KPIs	102
4.3.2	Níveis de Sustentabilidade dos Pilares e Índice de Sustentabilidade Geral ..	102
4.3.3	Considerações Finais	106
CAPÍTULO V: CONCLUSÕES.....		110
CAPÍTULO VI: PROPOSTA PARA TRABALHOS POSTERIORES.....		112
CAPÍTULO VII: REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		113
APÊNDICES:		123

MURAD, M. Q. **PROPOSTA DE UMA METODOLOGIA PARA MENSURAÇÃO DO ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE PARA PROCESSOS DE FABRICAÇÃO**. 2020. 127p. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG.

RESUMO

Como as novas tecnologias mudam o cenário produtivo, as práticas de produção sustentável são apresentadas como umas das soluções para harmonizar as atividades da indústria com a conservação da biodiversidade em benefício da humanidade. Assim, nesta propositura, será apresentado um novo e inédito modelo de índice de sustentabilidade, alicerçada nos conceitos do *Triple Bottom Line* e Economia Circular, o qual contribuirá no preenchimento de algumas lacunas nos modelos de mensuração de índices de sustentabilidade presentes na literatura. Entre as oportunidades destacam-se: (I) mensuração individual de cada etapa do processo produtivo, com identificação de potencialidades e medição do nível de sustentabilidade deste estágio da produção, pois a maioria dos modelos abordam a sustentabilidade de forma corporativa; (II) modelo que independe do tipo de processo, visto que, muitos modelos limitam-se às aplicações restritas de um segmento específico; (III) modelo flexível e de rápida aplicação, com possibilidade de informatização dentro de sistemas de redes corporativas; (IV) mensuração com o objetivo de promover melhorias. Para verificar a aplicabilidade deste modelo, foram selecionadas duas empresas que realizam aplicação de revestimento metálico em rolos de moendas de cana de açúcar pelos processos FCAW (Flux Core Arc Welding) e SMAW (Shielded Metal Arc Welding). Quanto aos resultados, foi possível mensurar o nível de sustentabilidade de cada indicador (KPI – *Key Performance Indicator*), dos pilares e o índice geral de sustentabilidade. Quanto aos resultados obtidos na aplicação em chão de fábrica, o modelo aqui proposto avaliou o processo FCAW como melhor índice de sustentabilidade.

Palavras-chaves: Índices de Sustentabilidade, Manufatura Sustentável, Sustentabilidade, Triple bottom line, Economia Circular.

MURAD, M. Q. **PROPOSAL OF A METHODOLOGY FOR ASSESSING THE SUSTAINABILITY INDEX FOR MANUFACTURING PROCESSES.** 2020. 127p. Doctoral Thesis, Federal University of Uberlândia, Uberlândia, MG.

Abstract

As new technologies change the production scenario, sustainable production practices are presented as one of the solutions to harmonize the activities of industry with the conservation of biodiversity, for the benefit of humanity. Thus, in this proposal, a new and unprecedented sustainability index model is presented, based on the Triple Bottom Line and Circular Economy concepts, which contribute toward filling in some of the gaps found in the evaluation models of sustainability indexes presented in the literature. Among such opportunities for improved sustainability one finds (i) individual evaluation of each stage of the production process, identifying improvements and measuring the level of sustainability of this stage of production, since most of the models approach sustainability in a corporate way, (ii) an evaluation model that is independent of the type of process, since many models are restricted to the restricted applications of a specific segment, (iii) implementation a flexible and fast application evaluation model with the possibility of computerization within corporate network systems, (iv) evaluation as an objective to promote improvements. In order to verify the applicability of this model, we selected two companies that apply metal coating (cutting knives) to sugarcane mill rolls, by the shielded metal arc welding (SMAW) and Flux Core Arc Welding (FCAW) processes. In terms of the results, these showed the prospect of measuring the level of sustainability of each indicator (KPI), the pillars and the general index of sustainability. As for the results obtained in the application on the factory floor, the model proposed here evaluated the FCAW process as the best sustainability index.

Keywords: Sustainability Index, Sustainability, Triple Bottom Line, Circular Economy.

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

CCV = Carga cardiovascular
CLT – Consolidação das Leis do Trabalho
DJSI – *Dow Jones Sustainability Index*
EC – Economia Circular
EPC – Equipamento de Proteção Coletiva
EPI – Equipamento de Proteção Individual
FCAW – *Fluxed Cored Arc Welding*
FCR = Frequência cardíaca em repouso
FCT = Frequência cardiovascular de trabalho
GEE – Gás de Efeito Estufa
GRI - *Global Reporting Initiative*
GS – Grau de Satisfação
IHM - Interface Homem Máquina
ILO - *International Labour Organization*
IoT – *Internet of Things*
IS – Indicador (Índice) de Sustentabilidade
KPI - *Key Performance Indicator*
LT – Limite Teto
MRP II – *Manufacturing Requirements Planning*
MTE – Ministério do Trabalho e Emprego
NHO – Norma de Higiene Ocupacional
NR – Normas Regulamentadoras
PAG – Potencial de Aquecimento Global
PLC - *Power Line Communication*
SAE - *Society of Automotive Engineers*
SMAW - *Shielded Metal Arc Welding*
TBL - *Tribble Bottom Line*
VT – Valor Teto

CAPÍTULO I

1.1. Introdução

A celebre frase de William Edwards Deming: *“Não se gerencia o que não se mede, não se mede o que não se define, não se define o que não se entende e não há sucesso no que não se gerencia”*, quando aborda a importância das práticas de gerenciamento a luz de metodologias para mensuração de índices gerenciais, se torna imprescindível para uma gestão eficaz de uma organização.

Com base neste pensamento, surgem algumas questões: Quais atividades produtivas são mais sustentáveis? Qual tipo de manufatura agride mais ou menos o meio ambiente ou os trabalhadores envolvidos na produção? Qual metodologia foi empregada para obter este índice de sustentabilidade?

Explica Winroth *et al.* (2012), que as empresas de manufatura precisam ser capazes de medir seu progresso e realizar gestão. Fica, então, a evidente necessidade de ferramentas que propiciem mensurar o nível destas práticas sustentáveis (HUANG; BADURDEEN, 2018).

Reativamente, surgiu na indústria de manufatura a necessidade de não apenas mudar a maneira como operam, mas também de reconsiderar como avaliam o sucesso ou o insucesso de suas ações com relação aos aspectos de sustentabilidade (ZANUTO, 2016).

Para Faulkner e Badurdeen (2014), a manufatura claramente tem um papel importante a desempenhar no movimento em direção a uma sociedade mais sustentável. Face ao exposto, é importante definir quais são as ações que convergem para uma manufatura sustentável e qual o seu grau de sustentabilidade. Para o alcance desse objetivo, os índices de sustentabilidade se apresentam como possíveis ferramentas de mensuração do nível de sustentabilidade da organização, do produto e da fabricação.

1.2 Objetivos

a) Objetivo Geral

Este trabalho tem por objetivo a elaboração de uma proposta de metodologia que possibilitará avaliar o grau de sustentabilidade de etapas de processos de fabricação quando em operação no chão de fábrica.

b) Objetivos Específicos

Para a elaboração da proposta de um novo modelo para a mensuração do índice de sustentabilidade de etapas do processo de fabricação por meio da utilização dos conceitos de sustentabilidade presentes na literatura atual, considerou-se como premissa o atendimento aos seguintes requisitos:

I. Focando no conceito *Trible Bottom Line (TBL)*, a propositura deverá integrar as seguintes questões:

- a) Sociais: Será direcionado para as condições de segurança do trabalho, níveis salariais, treinamentos, de satisfação do trabalhador, entre outros;
- b) Tecnológicas: Busca-se identificar qual apresenta melhor rendimento, tecnologia, qualidade e gestão;
- c) Econômicas: Tem-se como meta elencar todos os itens que possibilitam resultados econômicos;
- d) Ambientais: Será objetivado nas gestões ambientais;
- e) Legislação: Busca-se aqui os aspectos legais relacionados à sustentabilidade.

II. Mensuração individual de cada etapa do processo produtivo, identificando melhorias e mensurando o nível de sustentabilidade deste estágio da produção, pois a maioria dos modelos abordam a sustentabilidade de forma corporativa.

III. Modelo que independe do tipo de processo, visto que, muitos modelos limitam-se às aplicações restritas de um segmento específico.

IV. Modelo flexível e de rápida aplicação com possibilidade de informatização dentro de sistemas de redes corporativas.

V. Abrangendo o conceito de economia circular (EC), no qual alguns KPIs desenvolvidos deverão atender este paradigma.

O modelo aqui proposto foi aplicado em duas empresas do setor sucroalcooleiro, em específico na etapa de extração do caldo de cana de açúcar, no qual ocorre a aplicação de revestimento metálico por processos de soldagem (chapisco) em rolos de moendas,

equipamentos estes utilizados para extração do caldo de cana de açúcar. Esta análise teve como objetivo comparar e obter o índice de sustentabilidade da aplicação deste revestimento pelas seguintes situações:

- i) Pelo processo de soldagem Eletrodo Revestido (SMAW - *Shielded Metal Arc Welding*), aplicado de forma manual (como apresentado na Figura 2.9a).
- ii) Pelo processo de soldagem Arame Tubular (FCAW – *Fluxed Cored Arc Welding*), aplicado de forma automatizada (como apresentado na Figura 2.9b).

Para avaliar a eficácia do modelo proposto, foi aplicado, em campo, em duas empresas do setor sucroalcooleiro, como o objetivo de obter o índice de sustentabilidade quando se realiza a operação pela forma manual ou automatizada.

De uma forma geral, foi comparada a aplicação de revestimento pelos dois métodos citados, ou seja, o realizado pelo processo manual e pelo automatizado, que possibilitou a mensuração do índice de sustentabilidade (segundo metodologia proposta neste trabalho) desta operação.

1.3 Justificativa

Durante a fase de revisão bibliográfica deste estudo, foi feita uma busca nas literaturas relativas a indicadores de sustentabilidade. Foram identificados 33 estudos os quais estão apresentados na Tabela 1.1.

A partir desse levantamento, foi feita uma pré análise em que se objetivou identificar as seguintes características de cada um deles: a) concebido de acordo com o paradigma TBL; b) aplicável a etapas de processo ou linhas de produção industriais c) quantitativa em relação às metodologias de avaliação. Os elegíveis que atendessem às premissas foram assinaladas como (√).

Tabela 1.1: Resultado da Análise dos Métodos de Avaliação de Sustentabilidade

Índices de Sustentabilidade	A	b	c
Global Reporting Initiative (GRI, 2018)	√	√	
Índice de Sustentabilidade Dow Jones (DJSI, 2018)	√	√	
Indicadores Chave de Desempenho para Avaliação Sustentável da Produção no Setor de Petróleo e Gás (ELHUNI, AHMAD, 2017)	√	√	√

Avaliação da Linha de Produção Sustentável com Base no Raciocínio Probatório (ZHOU <i>et al.</i> , 2017)	√	√	√
Avaliação do Nível de Sustentabilidade em Processos de Manufatura Utilizando Indicadores de Sustentabilidade Junto à Ferramenta VSM (<i>Value Stream Mapping</i>), (MORAES, 2016)	√	√	√
Avaliação de Desempenho de um Processo de Fabricação Sob Incerteza Usando Redes Bayesianas (NANNAPAPENI <i>et al.</i> , 2016)		√	√
Integração da Avaliação de Manufatura Sustentável na Tomada de Decisão (ZHANG, HAAPALA, 2015)	√	√	√
Avaliação de Sustentável Baseada em Métricas da Usinagem Criogênica Usando Modelagem e Otimização do Desempenho do Processo (ProcSI) (LU T, 2014)	√	√	√
Mapeamento do Fluxo de Valor Sustentável (Sus-VSM) (FAULKNER, W.; BADURDEEN, F, 2014)	√	√	√
Ecologia Industrial ao Nível da Fábrica (DESPEISSE <i>et al.</i> 2012)	√	√	√
Táticas de Fabricação Sustentável e Modelagem Multifuncional de Fábrica (DESPEISSE <i>et al.</i> 2013)	√	√	√
Indicadores Sustentáveis no Nível da Fábrica (WINROTH <i>et al.</i> , 2012)	√	√	√
OECD – Indicadores de Sustentabilidade para Manufatura (OCDE, 2011)	√	√	
Métricas da GM para Manufatura Sustentável (DREHER <i>et al.</i> , 2009)	√	√	
Índices de Sustentabilidade para Produtos WALMART-SPI (WALMART, 2009)	√		
AVC – Avaliação do Ciclo de Vida (NBR ISO14040, 2009) e (NBR ISO14044, 2009)		√	
Modelo de Avaliação Integrada do Desenvolvimento Sustentável (KRAJNC, GLAVIČ, 2005)	√	√	√
Índice de Sustentabilidade ITT FLYGT (POHL, 2006)	√	√	√
Índice de Sustentabilidade de Produtos da Ford Europa (SCHMIDT, TAYLOR, 2006)	√	√	
Avaliação da Sustentabilidade do Processo para Fabricação de Produto em Operações de Usinagem (WANIGARATHNE <i>et al.</i> , 2004)	√	√	
Ciclo de Vida iNdeX (LIInX) (KHAN <i>et al.</i> , 2004)	√	√	√
Avaliação de Sustentabilidade na Indústria de Mineração e Minerais (AZAPAGIC, 2000)	√		√
Estrutura de Desenvolvimento Sustentável (AZAPAGIC, 2004)	√	√	√
Índice de Desenvolvimento Sustentável Composto (MOLDAN <i>et al.</i> , 2004)	√	√	
Índice de Sustentabilidade Icheme ICHEME (2002)	√	√	√
Ferramenta de Avaliação Rápida de Plantas (GOODSON, 2002)	√	√	

Indicadores de Produção Sustentável (VELEVA, ELLENBECKER, 2001)	√	√	
ISO 14031- Avaliação de Desempenho Ambiental (ISO 14031, 1999)			√
Barômetro da Sustentabilidade (PRESCOTT-ALLEN, 1997)	√	√	
Pegada Carbono (WACKERNAGEL; REES, 1996; DIAS, 2002; WIEDMANN, MINX, 2008)		√	
Índice de Sustentabilidade Empresarial (BM&FBOVESPA, 2018)	√	√	

Após a primeira triagem, observou-se que 7 estudos atenderam os requisitos pré-estabelecidos para a pesquisa. Os eleitos, classificados como específicos para a mensuração de etapas de processos ou linhas de produção, foco deste estudo, foram analisados e apresentados na Tabela 2.5.

Pelo exposto na Tabela 2.5, nenhum dos 7 modelos para mensuração dos índices de sustentabilidade avaliados atendiam os requisitos do presente estudo. Assim, optou-se pela proposição de uma nova metodologia para mensuração de sustentabilidade.

Pode-se justificar a opção de desenvolver uma nova metodologia de mensuração de sustentabilidade da manufatura por meio de duas razões principais:

a) Em virtude de não haver na literatura uma metodologia para mensuração de sustentabilidade específica para etapas de processo, em específico para produção contínua, como, por exemplo, de uma unidade de processamento de cana-de-açúcar; principalmente metodologias que atendessem aos requisitos essenciais para o gerenciamento fabril como: rapidez de aplicação, fácil aplicação em chão de fábrica e flexibilidade.

b) Uma mensuração da etapa do processo tem como resultado uma melhor apuração dos aspectos positivos e negativos quando comparados à avaliação de uma empresa como um todo. A presente proposta tem como finalidade, quando compara de forma separada cada unidade de processo da instituição, apresentar os pontos de melhorias e evolução de cada etapa do processo, aspectos estes que podem ficar ocultos quando se aplica uma metodologia que analisa uma instituição como um todo.

Assim como forma de contribuição, este trabalho permitirá que empresas avaliem de forma isolada a etapa de seu processo produtivo, pois, a metodologia possibilitará melhorias nas etapas produtivas em prol de uma manufatura sustentável.

Este manuscrito foi elaborado de acordo com a seguinte estrutura:

- a) O Capítulo II apresenta uma revisão bibliográfica cuja fundamentação teórica alicerça o presente estudo. Inicia-se com informações básicas sobre o setor sucroalcooleiro, teorias sobre manufatura sustentável e índices de sustentabilidade.
- b) O Capítulo III apresenta o desenvolvimento experimental, a descrição da metodologia adotada para a mensuração dos índices de sustentabilidade a nível de KPI, pilar e índice geral de sustentabilidade da etapa de projeto, dos materiais e equipamentos.
- c) No Capítulo IV são apresentados os resultados e as discussões da mensuração dos índices de sustentabilidade, por meio dos quais se comparou a aplicação de revestimento duro em moendas de cana de açúcar.
- d) A apresentação das principais conclusões obtidas com o desenvolvimento do trabalho é feita no Capítulo V.
- e) No Capítulo X foram abordadas algumas propostas para estudos posteriores.
- f) No Capítulo XI são apresentadas as referências bibliográficas citadas na fundamentação teórica.

CAPÍTULO II

Revisão Bibliográfica

2.1 Introdução

Será apresentada neste capítulo uma revisão bibliográfica dos aspectos teóricos para fundamentar o presente estudo que consistirá em uma visão básica da aplicação de revestimento duro (chapisco) em moendas para cana de açúcar, tanto pelo processo manual como pelo automatizado (um melhor aprofundamento deste assunto pode ser obtido em Murad (2013)). Tal assunto serviu de exemplo de aplicação em campo do modelo proposto neste estudo. Além desta, foi feita uma breve citação das teorias clássicas sobre manufatura sustentável e uma abordagem dos conceitos relacionados a índices de sustentabilidade. Estes temas servem de alicerce para estruturar a base desta pesquisa e fundamentam a elaboração do modelo de mensuração do índice de sustentabilidade proposta.

O processo produtivo de uma usina produtora de açúcar e álcool consiste em dois macrosetores, o primeiro, denominado setor agrícola, é responsável pela obtenção da matéria prima, a cana-de-açúcar, e suas etapas do processo contemplam as fases do plantio, colheita e transporte desta matéria-prima. um segundo setor denominado setor industrial (LEAL *et al.*, 2010).

O segundo setor, segundo Hugot (1986), é o industrial, responsável pelo processamento da matéria prima para a fabricação do açúcar e álcool e subdividido em:

- Extração do Caldo;
- Tratamento de Caldo;
- Fabricação de Açúcar;
- Fabricação do Álcool;
- Geração de Vapor;

- Geração de Energia Elétrica.

Devido ao tema deste estudo, será apresentado apenas o setor de extração do caldo, em que estão localizadas as moendas de cana, foco de deste estudo.

2.2 Descrição do Setor de Extração do Caldo

Segundo Payne (1989), nesta etapa do processo tem-se como objetivo a separação da parte sólida da cana de açúcar (fibra) da parte líquida (caldo). Para este fim, utiliza-se os conjuntos de moendas ou difusores, equipamentos destinados a extração do caldo da cana (LEAL *et.al.*, 2010). Na Figura 2.1 e 2.2, é apresentada uma visão de um conjunto de moendas. Castro e Andrade (2006) complementam ao afirmar que a moagem é a operação que visa a extração da sacarose.



Figura 2.1 – Setor de extração do caldo (Fonte: EMPRAL, 2018).

Segundo Hugot (1986), a eficiência de esmagamento é função dos números de compressões (quantidade de ternos de moenda), da pressão efetiva, do grau de ruptura das células (eficiência de preparo antes da moagem), da eficiência de drenagem do equipamento e das propriedades das fibras.

Na Figura 2.2, é apresentada uma configuração de terno de moenda, composto por seis conjuntos de moendas.



Figura 2.2 – Conjunto de moendas (Fonte: Adaptado de EMPRAL, 2018).

Basso (2019) complementa quando explica que a moenda é o equipamento (terno de moenda) onde a cana é esmagada, após ser desfibrada, para a retirada do caldo. Este equipamento é constituído de 3 ou 4 eixos que são chamados Rolos de Moenda, como explicam Buchanan *et al.* (2007). Na Figura 2.3, é apresentado o terno de moenda, composto de 4 rolos de moenda, o superior, a entrada, saída e rolo de pressão, configuração mais utilizada no Brasil.

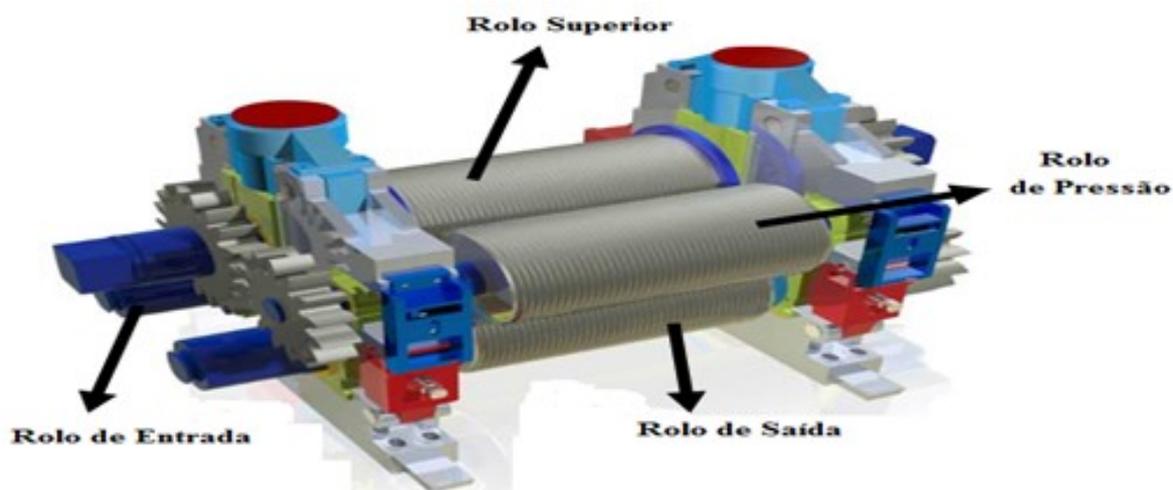


Figura 2.3 – Vista geral dos Rolos de Moendas (Fonte: Adaptado de EMPRAL, 2018).

Os rolos de moenda (Fig. 2.4) são conjuntos montados com um eixo, que na maioria das vezes é fabricado de aço forjado SAE 1045, normalizado, temperado e revenido, com resistência à tração variando de 580 a 700 MPa e posteriormente montado em uma camisa, que podem ser fabricadas em ferro fundido nodular DIN 1693 – GGG-60, com resistência à

tração mínima de 600 MPa ou fabricadas em ferro fundido cinzento com resistência à tração mínima de 200 MPa e por fim também podem ser fabricadas de aço fundido, ASTM A27 N2, com resistência à tração mínima de 500 MPa (DEDINI, 2013).



Figura 2.4 - Eixo e camisa de moenda (MURAD, 2015)

Casanova *et al.* (2008), explicam que durante o processo produtivo, estes rolos de moenda entram em contato com bagaço, impurezas e partes metálicas devido a falhas de ajuste do conjunto. Devido a estes contatos, desgastam-se de forma prematura, como acrescentam Buchanan *et al.* (2007), conforme Figura 2.5.

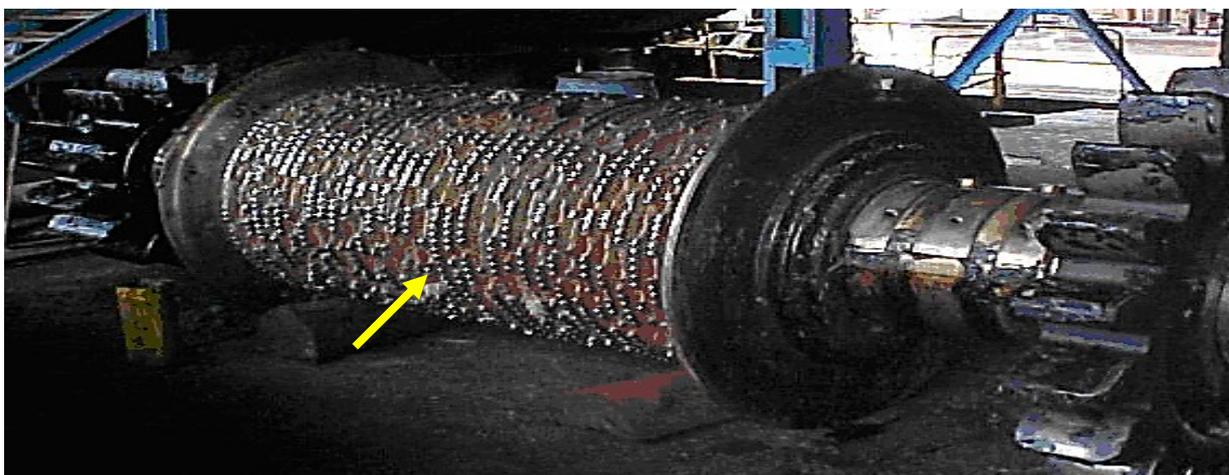


Figura 2.5 – Aspecto da moenda superior desgastada (MURAD, 2015)

O desgaste acentuado apresentado na Figura 2.5, provoca uma perda de produção expressiva na unidade produtiva, pois uma vez que este rolo de moenda vai perdendo sua rugosidade, o conjunto de moenda perde o “pega da moenda” (MURAD, 2015). Além das perdas de produção, ocorre uma perda de matéria prima, pois o equipamento perde sua capacidade de compressão e não se extrai parte do caldo que fica no bagaço (BASSO, 2019). Esta deficiência de extração, além de aumentar os índices de perdas industriais, provocar

danos às caldeiras que queimam o bagaço devido a incrustação entre os frisos da moenda (HUGOT, 1986).

Com o objetivo de reduzir o desgaste das moendas, aumentar a confiabilidade do equipamento e garantir a correta eficiência de extração do conjunto de moendas, aplica-se um revestimento metálico por processos de soldagem (RIVAS *et al.*, 2006). É usual a aplicação de revestimentos com ligas compostas de cromo, pois esses elementos são formadores de carbonetos de cromo que promovem um aumento de resistência ao desgaste abrasivo (LIMA; FERRARESI, 2009).

Usualmente são utilizados, como revestimento, nos materiais sujeitos ao desgaste por abrasão a baixas tensões, as ligas à base de ferro de alto cromo e alto carbono, conhecidas também como ligas do sistema Fe-Cr-C (CASANOVA *et al.*, 2008). A presença de carbono tem o objetivo de, quando na presença de outros elementos de ligas tais como cromo, molibdênio, tungstênio, manganês, silício, vanádio, nióbio, nitrogênio e titânio, formar a microestrutura final resistente ao desgaste (BUCHANAN *et al.*, 2007), pois formar carbonetos, em solução sólida, o que aumenta as propriedades mecânicas do revestimento, como a dureza e conseqüentemente, a resistência ao desgaste abrasivo, propriedade importante para o tribo sistema em estudo (RIVAS *et al.*, 2006). O cromo é um formador de carboneto, proporcionando uma boa resistência à abrasão, tenacidade e à corrosão quando apresentam composição contendo de 12% a 28% de cromo (LIMA e FERRARESI, 2009). Além da presença de carbonetos de cromo, elementos adicionais à estrutura FeCrC, em destaque o Níquel e o Titânio, elevam a resistência ao desgaste abrasivo. Tal afirmação é apresentada na Figura 2.6.

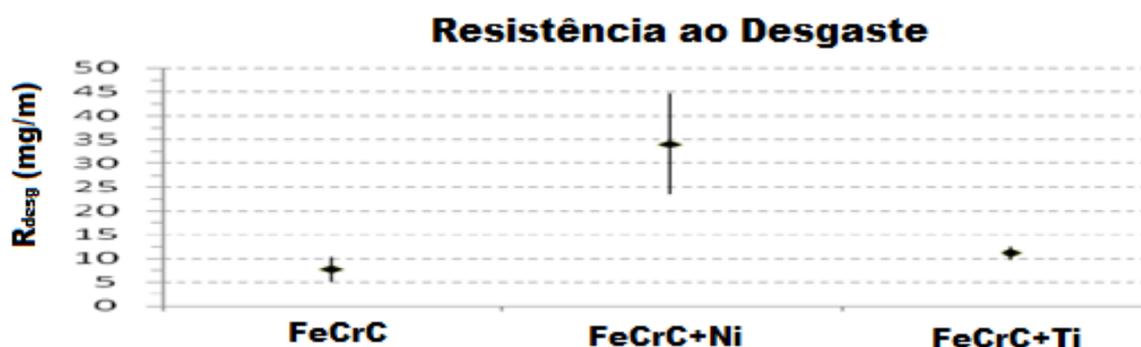


Figura 2.6: Resultados da Avaliação de Desgaste obtidos por LIMA e FERRARESI (2009)

Zum Gahr (1987) explica que muitos materiais expostos ao desgaste abrasivo possuem fases duras dentro de uma matriz macia. O desempenho desses materiais depende

do tamanho e volume destas fases duras, complementa Hutchings (1992). Assim, os carbonetos de cromo em quantidade e em tamanho, contribuem para a redução dos desgastes. Na Figura 2.7, apresenta-se que, em uma mesma matriz macia, o desgaste será mais acentuado para a situação “a” quando comparada a situação “b”, devido à presença de carbonetos em menores tamanhos.

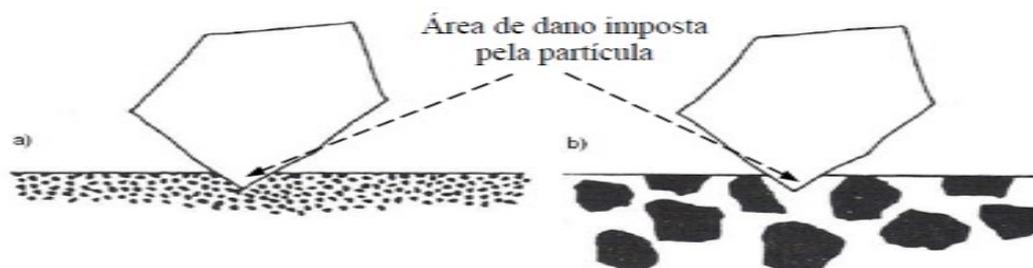


Figura 2.7: Caracterização de uma matriz com mais presença de carbonetos e maior volume de carbonetos (HUTCHINGS,2009)

Nos contextos apresentados anteriormente, as moendas de cana de açúcar, com o objetivo de reduzir o desgaste são revestidas por camadas de metal de alta dureza (CASANOVA *et al*, 2008), conforme Figura 2.8. Estas camadas são depositadas por processo de soldagem, sendo que os mais comuns são o eletrodo revestido (*SMAW - Shielded Metal Arc Welding*) e o arame tubular (*FCAW – Fluxed Cored Arc Welding*). São aplicadas cinco camadas de revestimentos distintas, a base, a sobre base, a lateral, o picote e, por fim, o chapisco. Estas camadas são apresentadas na Figura 2.8.

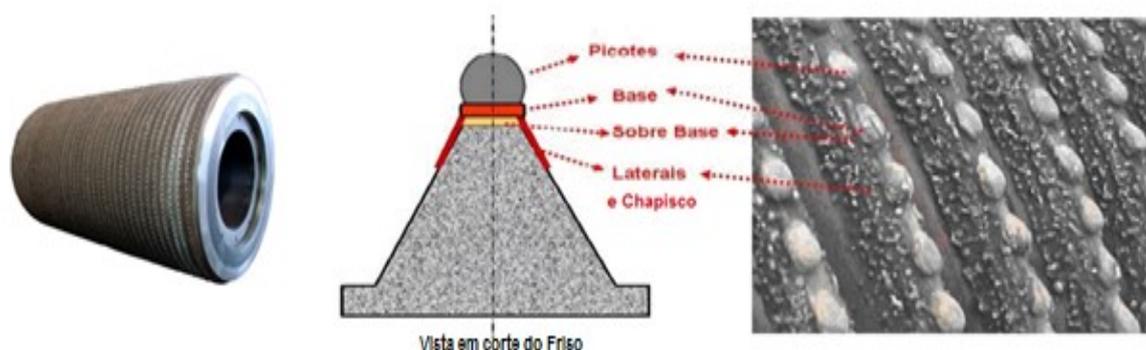


Figura 2.8: Camadas de Revestimento de um Rolo de Moenda (MURAD, 2015)

A aplicação do chapisco é feita em duas fases distintas. A primeira é a preparação do rolo de moenda, feita durante o período de entressafra, sendo que o equipamento encontra-

se desmontado. A segunda fase é aplicada com a usina em produção, ou seja, com o equipamento em operação.

A aplicação de chapisco durante a operação de moagem pode ser executada de três maneiras distintas:

- a) Aplicação Manual, com o processo FCAW ou SMAW;
- b) Aplicação Semi-automatizada, pelo processo FCAW;
- c) Aplicação Automatizada, pelo processo FCAW e com auxílio de uma comunicação via rede elétrica PLC (*Power Line Communication*) em conjunto com uma Interface Homem Máquina (IHM) montado em uma estrutura mecânica. O detalhe desta montagem pode ser visto na Figura 2.10.

Na Figura 2.9 são exibidas as aplicações manuais e automatizadas.

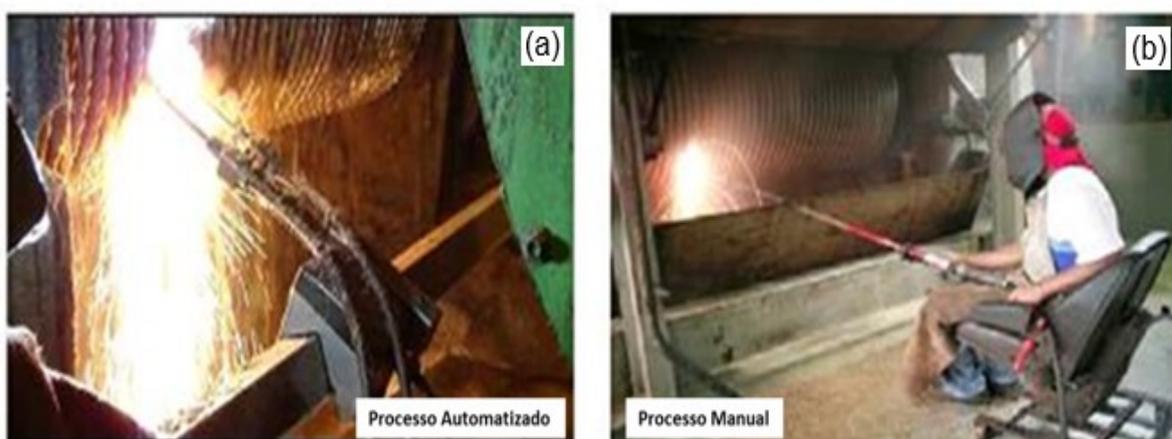


Figura 2.9 – Aplicação automatizada (a) e manual (b) do chapisco durante a sua operação. (MURAD, 2015)

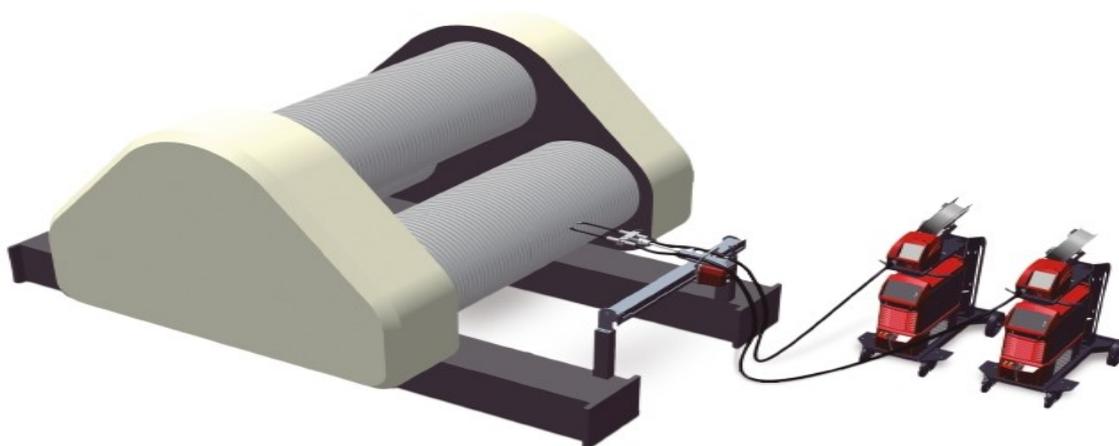


Figura 2.10 – Esquema da aplicação automatizada do chapisco (MURAD, 2015)

2.3 Manufatura

Sabe-se que, na produção de inúmeros produtos, é necessário a utilização de matéria-prima e de um determinado processo com o objetivo de se obter um produto final esperado. Porém, é comum obter como resultado um produto indesejado.

De uma maneira indireta, pode-se incluir, nestes produtos indesejados, aspectos relacionados às pessoas envolvidas nesta manufatura, como, por exemplo, os acidentes do trabalho, as doenças ocupacionais originárias dos processos produtivos, a satisfação do trabalhador, entre outros fatores que atuam nas vidas das pessoas envolvidas no processo produtivo.

Segundo Barbieri (2012), os problemas ambientais são provocados pelos processos de produção. Além disso, incluem as práticas de obtenção de matéria prima, descarte de resíduos e eficiência energética.

Historicamente, a partir do século XIX, com o início da Revolução Industrial, a manufatura, antes produzida manualmente e em pequenos lotes, passa a ser produzida em larga escala. Tal transformação exige a utilização de um volume maior de mão-de-obra humana, maquinários e matérias-primas para atender a demanda. Tal aumento produtivo traz consigo a possibilidade do aumento dos produtos indesejáveis, citados anteriormente (BARBIERI, 2012).

Godinho Filho (2012) afirma que com o avanço das tecnologias e das práticas de Gestão da Produção são incorporados os conceitos de Gestão de Manufatura, que vem se aprimorando em relação aos paradigmas estratégicos e aos objetivos de desempenho da produção. Na Figura 2.11 é apresentado o modelo, sendo que, à medida que ocorre a evolução das gestões de manufatura, novos objetivos vão sendo incorporados, sem se desprezar os objetivos já incrementados. Por exemplo, a Manufatura Enxuta incorpora o objetivo qualidade e engloba o objetivo produtividade/custo da Manufatura Repetitiva e assim por diante. E estes conceitos são as essências para a competitividade na era da globalização.



Figura 2.11 – Evolução dos Conceitos de Gestão da Manufatura (Fonte: GODINHO FILHO, 2012).

Na mesma linha de raciocínio, explica Koho *et al.* (2011) que a competitividade é encarada como a capacidade de operar e competir de forma lucrativa no mercado global. Para empresas de manufatura, a capacidade de produzir e fornecer produtos que atendam às necessidades dos clientes, de forma rentável, desempenha um papel fundamental no sucesso das empresas e instituições.

Stock e Selinger (2016), complementam ao afirmarem que neste cenário de globalização, as empresas vêm se deparando com necessidade de melhorias nos processos de fabricação para se tornarem mais competitivas.

Como um dos objetivos é aumentar a competitividade pelo aumento da eficiência nas linhas de produção, desde o início do século passado os estudos de Taylor e Ford apontavam para ações de melhorias nas células de produção, ou seja, em cada etapa do processo. Com foco neste pensamento, muitos pesquisadores apontam que cada célula de manufatura possui uma característica específica, que poderá aumentar seu nível de eficiência e a somatória destes aumentos de eficiência setoriais poderão contribuir para o aumento da eficiência da linha de produção como um todo.

Complementando a importância de atuar nas etapas de processo, com o objetivo de melhorias na gestão da sustentabilidade, Shuaib *et al.* (2014), afirmam que ao desenvolver ações para níveis de linha ou processo, as mesmas afetam o desempenho global.

Faulkner e Badurdeen (2014) sugerem ainda que as melhores práticas utilizadas em cada fase de um sistema produtivo podem ser adaptadas aos novos paradigmas, ou seja, de uma manufatura tradicional para uma enxuta, com adição da gestão da sustentabilidade.

2.4 Sustentabilidade

Os impactos ambientais perceptíveis que ocorrem nos dias de hoje são respostas naturais de um planeta que sofre, de maneira descontrolada, constante e acelerada alteração. Sob este cenário, surge o desafio de promover, para as próximas décadas, ações em prol da conservação do planeta e das populações que nele habitam. Uma solução para este impasse são as ações que visam harmonizar a atividade humana com a conservação da biodiversidade e com o uso racional dos recursos naturais, em benefício da humanidade (BARBIERI, 2012).

A taxa alarmante de crescimento do consumo mundial, o modelo de economia linear da criação de produtos, ou seja, o uso e o posterior descarte dos mesmo que não consideram os impactos e consequências ambientais, sociais e econômicos é uma abordagem insustentável (BARBIERI, 2012). Portanto, tem-se como meta um futuro que nada é desperdiçado; todo “desperdício” se torna um ativo e todos os produtos no final do seu uso principal são recuperados ou reutilizados. Este pensamento teria de ser entendido, não como uma possível realidade, mas uma necessidade (JAWAHIR; BRADLEY, 2016).

Steingrímsson *et al.* (2011), Rokhmawatia *et al.* (2015), corroboram com a Dra. Gro Harlem Bruntland, quando afirmam que a sustentabilidade é o desenvolvimento de ações que atendem às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras quando tiverem que atender suas necessidades próprias.

A etimologia da palavra sustentabilidade descreve que ela é originada do latim, *sustentare*, no qual pode-se definir como sustentar, suportar, manter em bom estado, que resiste ao tempo. O conceito pode ser expandido ao mundo dos negócios, como acrescentam Roca e Searcy (2011), quando descrevem que sustentabilidade industrial é a capacidade de se autosustentar ou de se automanter.

Trata-se de um assunto extremamente complexo, com espaço para muita pesquisa e discussões. Renn *et al.* (2009) questionam tal complexidade quando abordam o tema exemplificando que se é possível fornecer energia a seis bilhões de pessoas apenas com base na radiação solar, abolir o uso de todas as matérias-primas não renováveis, reverter o processo de transformação da natureza em ambientes produtivos e outras medidas de retorno a um mundo mais natural.

O futuro das espécies remanescentes na terra não depende da preservação da natureza original, mas da preservação de ecossistemas antrópicos, como explica Gale e

Cordray (1994) citado por Renn et al. (2009). Os ecossistemas antropogênicos em que se vivem precisam de um suprimento constante de energia e de constantes intervenções construtivas, caso contrário, não fornecerão os serviços e bens que os humanos esperam deles. No entanto, fica evidente que o planeta não se regula para servir ao benefício da humanidade. Os seres humanos são forçados a intervir constantemente para tornar o meio ambiente um recurso produtivo. Assim, o conhecimento confiável sobre os fundamentos ecológicos da nossa vida é importante na medida em que a aplicação criativa desse conhecimento seja um requisito para a existência futura da espécie humana, explicam Rokhmawatia *et al.* (2015).

Assim, a sustentabilidade pode ser entendida como uma postura que atenda os aspectos ambientais e sociais por meio de práticas que se autosustentem economicamente (STEINGRISSOM *et al.*, 2011) e legalmente. Práticas estas que se apresentem como uma gestão que estabelece um conjunto sistemático de ações proativas em prevenção, mitigação e correção dos impactos causados pelas atividades humanas.

Segundo Jawahir e Bradley (2016), quando as empresas lançam como meta o desafio tecnológico, que realmente requeiram novas tecnologias e inovações, os resultados são produtos e processos com novos paradigmas na criação de valor sustentável para a humanidade.

2.5 Manufatura Sustentável

Da união dos dois conceitos resumidos anteriormente, surge o conceito de manufatura sustentável, visando desenvolver uma cultura ambiental organizacional de postura responsável. As organizações empresariais objetivam a eficiência de seus processos produtivos, agregando assim mais valor aos seus produtos e serviços em prol de uma produção mais sustentável (CEZARINO *et al.*, 2020).

Segundo Moldavska e Welo (2017), muitos pesquisadores têm dedicado estudos a consolidar a definição de manufatura sustentável, tais como Dornfeld, 2009; Haapala et al., 2013; Wang et al., 2016; Millar e Russell, 2011; Despeisse, 2013; Nakano, 2009. Como se trata de um tema novo, surge um impasse nas linhas de pensamento dos cientistas ao passo que evoluem o entendimento e a definição do conceito.

Jawahir e Bradley (2016) corroboraram ao afirmarem que não há definições geralmente aceitas ou universais para a manufatura sustentável, segundo eles, existem muitas tentativas insuficientes.

Uma das razões por trás do grande número de definições se dá aos vários entendimentos do conceito de manufatura sustentável: por exemplo, ver este tema como uma iniciativa ambiental; como meta ou processo; como uma integração de diferentes aspectos; ou como um compromisso entre pilares (MOLDAVSKA e WELO, 2017).

Pesquisadores afirmam que o grande número de termos e definições no campo desta pesquisa se torna uma barreira para compartilhar conhecimento, particularmente entre a academia e a indústria, como afirmam Despeisse *et al.* (2012) e Moldavska e Welo (2017).

Utilizando o conceito apresentado na Figura 2.11, a evolução dos conceitos de gestão da manufatura apresentada por Godinho Filho (2012), pode ser apresentada com a agregação do item manufatura sustentável e indústria 4.0, como pode ser visto na Figura 2.12, adicionando valor à cadeia de gestões somando-se as estratégias e os objetivos já incrementados. Para Stock e Sellinger (2016), o atual momento de globalização se depara com um desafio de atender à crescente demanda mundial de bens de consumo assegurando uma evolução sustentável.



Figura 2.12 – Modelo de Gestão da Manufatura Sustentável e Indústria 4.0.

Segundo Rizzo e Batocchio (2011), as indústrias estão implantando novas tecnologias e estratégias, objetivando a excelência nos processos e aumento da produtividade, para isso, técnicas de aproveitamento e reuso dos recursos são aplicadas.

Ações visando a eliminação de desperdícios e reutilização dos resíduos originados nos processos geram vantagens e provocam aumento da eficiência e produtividade (KOREN *et al.*, 2018). A adoção desta estratégia traz benefícios associados na diminuição dos impactos ao meio ambiente além aproveitamento dos recursos usados nos processos (RIZZO; BATOCCHIO, 2011).

Koren *et al.* (2018), observam que a manufatura sustentável, para ser competitiva, requer que os sistemas de fabricação, processos e saídas sejam eficientes e sustentáveis, isto é, rentáveis e viáveis por agora e para o futuro. A competitividade e sustentabilidade visam enfatizar os esforços para manufatura sustentável, ou seja, respeito ao meio ambiente, e não devem ser considerados como custos adicionais, mas como vantagem competitiva, complementam Hill e Seabrook (2013).

Para ser rentável e gerar valor sustentável para todas as partes interessadas, os fabricantes de próxima geração devem se desenvolver de forma rápida e econômica às mudanças nas necessidades do mercado, e ao mesmo tempo, minimizar os impactos ambientais beneficiando a sociedade (CRIFO *et al.*, 2015).

As etapas de fabricação que usam processos não poluentes, conservam energia, utilizam recursos renováveis, economicamente viáveis e seguro para funcionários, comunidades e consumidores vão ao encontro da ideia de manufatura sustentável (HUANG; BADURDEEN, 2017).

Para atender a essa demanda, as empresas de manufatura têm que adotar inúmeras estratégias de produção por meio do uso de processos e sistemas mais sustentáveis (HUANG; BADURDEEN, 2018).

Jawahir e Dillon Jr. (2007) acrescentam que o objetivo da manufatura sustentável não pode ser alcançado focando independentemente nos produtos fabricados ou processos ou sistemas utilizados. Todos os aspectos relacionados entre eles devem ser considerados e aprimorados simultaneamente.

Jawahir e Bradley (2016), afirmam que manufatura sustentável é correspondente a um sistema complexo e que o sucesso depende da interação entre os produtos, os processos e os sistemas de uma cadeia produtiva, como apresentado na Figura 2.13.



Figura 2.13: Elementos integrados de manufatura sustentável (Fonte: Jawahir e Bradley (2016)).

Seguindo esse raciocínio Koren *et al.* (2018) complementam, ao afirmarem que a manufatura sustentável lida com três elementos integrais relacionados aos sistemas de produção (produtos, processos e sistemas), que os mesmos contribuem para alcançar produção sustentável, ao esperar-se que cada um destes três elementos demonstre: (a) redução de impacto ambiental; (b) maior eficiência energética e de recursos; (c) geração de quantidade mínima de resíduos; (d) garantir segurança e saúde no trabalho.

2.6 O Conceito *Triple Bottom Line* e a Manufatura Sustentável

O tripé da sustentabilidade, ou *Triple Bottom Line*, corresponde às práticas sustentáveis medidas sob os pilares sociais, ambientais e econômicos. O conceito foi criado nos anos 1990 por John Elkington (1997) e representa a expansão do modelo de negócios tradicional para um novo modelo.

Chen *et al.* (2015), Lu T *et al.* (2011), Huang e Badurdeen (2017), Liu *et al.* (2016) entre outros pesquisadores sugerem, em seus respectivos estudos, que o conceito do TBL, aplicado as práticas de manufatura sustentável, é definida como a produção alicerçada sobre os pilares do meio ambiente, da sociedade e da economia na produção.

Koho *et al.* (2011), apresentam de maneira muito semelhante ao conceito de *Tripla Bottom Line*, a descrição de 3 Ps, ou seja, os pilares baseados em planeta, pessoas e “profit” (lucro).

Para Hill e Seabrook (2013), Para a gestão de sustentabilidade antes tratada unicamente com foco ambiental no mundo corporativo passa a agregar mais valor a bens e serviços quando incorpora o conceito TBL, o que fortalece a imagem da corporação no mercado.

Crifo *et al.* (2015) complementam ao afirmarem que a necessidade geral de sustentabilidade baseada nestes três pilares impulsiona a inovação de produto e processo para produzir benefícios a todos os envolvidos nestes três pilares, além de aumentar a conscientização sobre a necessidade de sustentabilidade.

Jovane *et al.* (2008), faz analogias aproximadas à noção de pilares por meio das seguintes correspondências:

- a) Aspectos da sustentabilidade econômica com a garantia de viabilidade econômica a curto e longo prazo;
- b) Aspectos da sustentabilidade social com o atingimento do bem-estar das pessoas, quando estas participam da parcela justa de riqueza, de segurança e de influência na sociedade;
- c) Aspectos da sustentabilidade ambiental quando a busca de melhoria e bem-estar humano não degradam as fontes de matérias-primas, não prejudicam o meio ambiente com excessos de resíduos e não afetam a vida das populações futuras.

Gupta *et al.* (2015), enfatizam que estes três pilares (econômico, social e ambiental) deverão possuir interação entre eles, sempre em trio, para se atingir o resultado sustentável.

Garbie (2015) explica que quando os pilares são considerados em duplas, os resultados são configurados como mostra a Figura 2.14 sendo as associações em duplas descritas como:

- a) Interações: econômico + social: Cria equidade social ou a chamada economia social, mas não viável e suportável, pois promove a degradação do meio ambiente;
- b) Integração: social + ambiental: Criará sustentabilidade suportável ou socioambiental, mas não viável ao médio e longo prazo, por não permitir a sobrevivência da instituição;
- c) Interação: ambiental + econômico: Cria a sustentabilidade viável ou chamada de economia ambiental, mas, pelo fato de não se comprometer com os aspectos sociais, a tornará inviável e injusta (equidade).



Figura 2.14: A interação entre as dimensões de sustentabilidade do TBL (Adaptado de: GARBIE, 2015)

Complementam Gupta *et al.* (2015), ao analisarem que enquanto a viabilidade econômica é necessária para uma organização sobreviver, ela somente, não é suficiente para sustentar a organização no longo prazo, se causar danos irreversíveis ao ecossistema, se emitir de gases que contribuam com efeito de estufa, se gerar resíduos tóxicos e se contribuir para o esgotamento de recursos não renováveis. E também ao falhar em garantir a segurança, a dignidade, a saúde, o salário digno, a indiscriminação e as melhores condições de trabalho para seus empregados, comunidade e sociedade em geral. Portanto, há que tornar-se imperativo para qualquer organização se comportar de forma social e ambientalmente responsável para alcançar seus objetivos econômicos.

Jovane *et al.* (2008) ao discutirem os pilares deste conceito acrescentam os aspectos tecnológico e político. Neste entendimento, a tecnologia pode oferecer um enorme potencial de desenvolvimento em sustentabilidade e o aspecto político, que está relacionado, por exemplo, à legislação nacional ou internacional, pode ser entendida como um facilitador de ações que agregam valor em prol de produções e serviços sustentáveis.

Corroborando com este pensamento, Joung *et al.* (2012) apresentam uma categorização um pouco diferente destes elementos que compõem os pilares de sustentabilidade, dividida em cinco dimensões: gestão ambiental, o crescimento econômico, o bem-estar social, o avanço tecnológico e gestão de desempenho, o que reforça que as instituições devem subdividir as três linhas sugeridas pelo TBL. Tal subdivisão profere uma melhor visão do sistema e pode ser adequado às necessidades de cada instituição.

Os aspectos políticos, como uma outra opção de pilar de sustentabilidade, interferem diretamente na sustentabilidade e no ambiente de negócio das empresas. Pode-se exemplificar a ratificação do Protocolo de Quioto o qual impulsiona as ações direcionadas a regulamentações sobre as emissões de gás carbônico como um imposto sobre a quantidade

de emissão (exemplo ocorrido na Austrália), ou um esquema de comércio de crédito de carbono, como explicam Rokhmawatia *et al.* (2015).

Lu T. *et al* (2011), focando na linha do TBL, apresentam um conjunto de elementos relacionados à manufatura sustentável, como mostra a Tabela 2.1, em que se descrevem a geração de resíduos, a eficiência energética, a vida útil dos produtos, a eficiência do uso de matéria-prima e a eficiência do consumo de água como já inseridos nos aspectos ambientais. Em relação aos aspectos econômicos, estes autores citam o custo, a inovação, a rentabilidade, a qualidade e o investimento como elementos determinísticos. Por fim, a educação, a satisfação, o gerenciamento do fim de vida, segurança do produto e a saúde e segurança no trabalho são regidos pelos aspectos sociais. Entende-se que que nos aspectos sociais estão envolvidos todos os possíveis atores, ou seja, os clientes internos e externos, os trabalhadores e a sociedade como um todo.

Tabela 2.1: Elementos Relacionados a Estrutura do TBL

Ambiental	Econômico	Social
Resíduos	Custo	Educação
Eficiência energética	Inovação	Satisfação
Fim de vida	Rentabilidade	Gerenciamento do fim de vida
Eficiência mat-prima	Qualidade	Segurança do produto
Eficiência no uso de água	Investimento	Sáude e segurança no trabalho

Fonte: Adaptado de Lu T *et al.* (2011).

2.7 Conceito de Economia Circular (EC) e a Manufatura Sustentável

O conceito de EC, introduzido por Pearce e Turner (1990) ao observarem o desenvolvimento econômico e sustentável com foco na gestão industrial, traz a ideia de uma economia em forma de *loop* para descrever estratégias industriais na prevenção de resíduos, criação de empregos regionais, eficiência dos recursos e desmaterialização da economia industrial (GHISELLINI *et al.*,2016).

A compreensão contemporânea da EC e suas aplicações práticas contribuem para a evolução dos processos industriais, pois incorporam um sistema regenerativo em que a entrada de recursos, resíduos, emissões e desperdício de energia são minimizados pela desaceleração, fechamento e estreitamento de material e conservação de energia (GEISSDOERFER *et al.* ,2017). Isto pode ser conseguido por meio de design duradouro do

conceito 3R, baseados nos princípios da redução, reutilização e reciclagem (WU et al.,2014).

Como uma evolução o conceito 6R, no qual inclui os princípios de recuperar, remanufaturar e redesenhar além dos conceitos do 3R, sugere um ciclo fechado de fabricação sustentável (JAWAHIR E BRADLEY, 2016).

Coletar os produtos em seu estágio final do uso, como uma posterior, desmontagem, triagem e limpeza para utilização em os ciclos de vida subseqüentes do produto são chamados de Recuperar. Remanufaturar se traduz no reprocessamento de produtos em fase final de vida, com o objetivo de restaurar ao seu estado original ou uma forma. Por fim, redesenhar desenvolve o pensamento de prever a próxima geração de produtos que usaria componentes, materiais e recursos recuperados do ciclo de vida anterior (JAWAHIR E BRADLEY, 2016).

Assim o conceito de EC, confere à manufatura a possibilidade de repensar a forma linear de fabricação, ou seja, “do berço ao túmulo”, para um novo conceito, “do berço ao berço”, como é demonstrada na Figura 2.15.

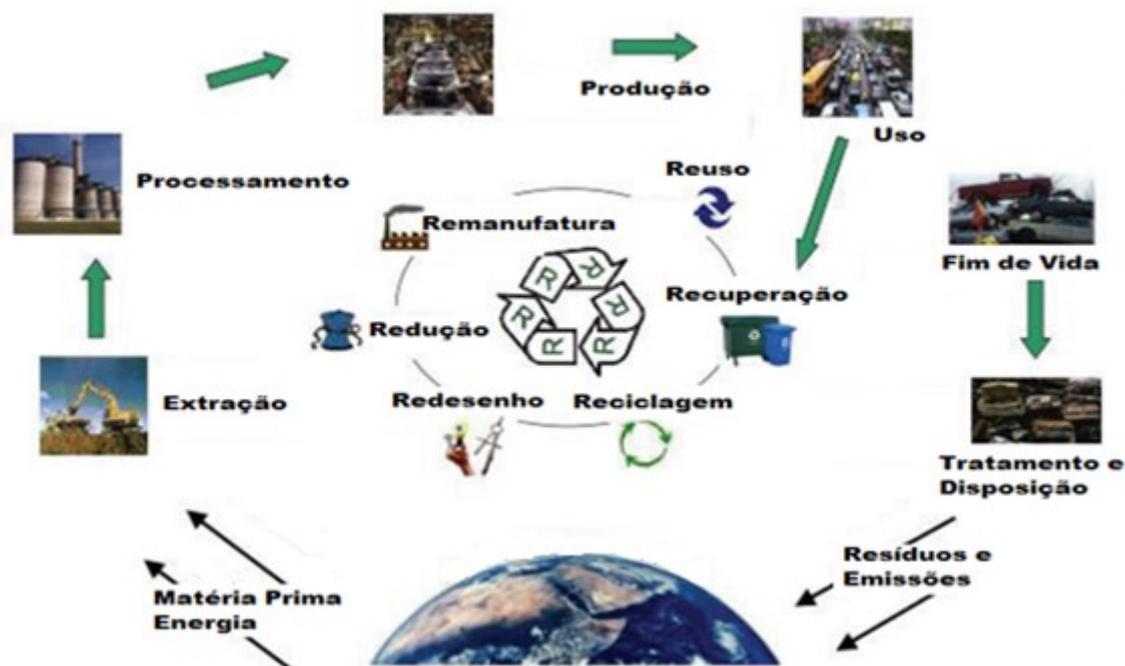


Figura 2.15: Circuito fechado de manufatura sustentável baseado em 6R. Adaptado de Jawahir e Bradley (2016)

Tal conceito vem ganhando muita popularidade, tanto nos meios acadêmicos e industriais quanto nos meios governamentais. Como exemplo, pode-se citar a Alemanha, que confere a integração da EC nas leis nacionais, com a promulgação da “Lei de Gestão de Resíduos e Ciclo de Substâncias Fechadas” (SU *et al.*, 2013). Entre outros países que seguem a mesma tendência como o Japão e a China, por exemplo.

A EC, dentro do conceito de sustentabilidade, é utilizada para justificar uma ampla variedade de compromissos institucionais e sinalizar um conjunto mais amplo de riscos e oportunidades (GEISSDOERFER *et al.*, 2017).

Para Jawahir e Bradley (2016), a mensagem conceitual deste novo paradigma é muito poderosa, pois é baseada na redução do desperdício de recursos por meio da implementação de processos eficazes e sustentáveis com o emprego de recuperação, reutilização, reciclagem e remanufatura de produtos.

A EC torna-se não uma opção, mas inevitável para a continuidade econômica prosperidade e equilíbrio ecológico na manutenção da biodiversidade com a vida humana e o crescimento econômico (LIEDER; RASHID, 2016).

Para se obter resultado com o emprego da EC é necessário a inovação no design de produtos e nos processos com a consideração da vida útil do produto além de sua vida projetada, indo virtualmente o ciclo de vida após o seu reaproveitamento. Neste pensamento, é essencial a mudança de paradigma no desenvolvimento tecnológico de produto, processo e sistema de fabricação (WU *et al.*, 2014).

2.8 Índices de Sustentabilidade

Antes de iniciar o conceito de índice de sustentabilidade faz-se necessário uma padronização dos conceitos a serem desenvolvidos aqui. Percebe-se, na literatura atual quando se trata deste assunto, que os termos empregados para índices de sustentabilidade e indicador de sustentabilidade não são utilizados de forma padronizada.

Assim, neste estudo, é apresentada uma padronização (Fig. 2.15) que consiste na seguinte distinção:

a) Índice de sustentabilidade é a descrição geral da metodologia e tem um método de mensuração que atribui um nível de sustentabilidade com base na mensuração de vários indicadores de sustentabilidade ou KPIs (SARKAR *et al.*, 2011).

b) Pilares ou Dimensões são os sub índices, que são divididos com foco no TBL e possuem sua metodologia para mensuração a nível de pilar.

c) Indicadores de sustentabilidade ou *Key Performance Indicators (KPI)* são os elementos que compõem a base do índice de sustentabilidade. Cada KPI possui métricas individuais quantificáveis em nível de processo que possibilitam uma mensuração específica. Complementa Sarkar et al. (2011) que o indicador é um parâmetro único usado para medir a condição de um aspecto em um sistema. Neste caso, mede-se a condição de um aspecto em sustentabilidade, como emissão de CO₂ ou uso de energia.

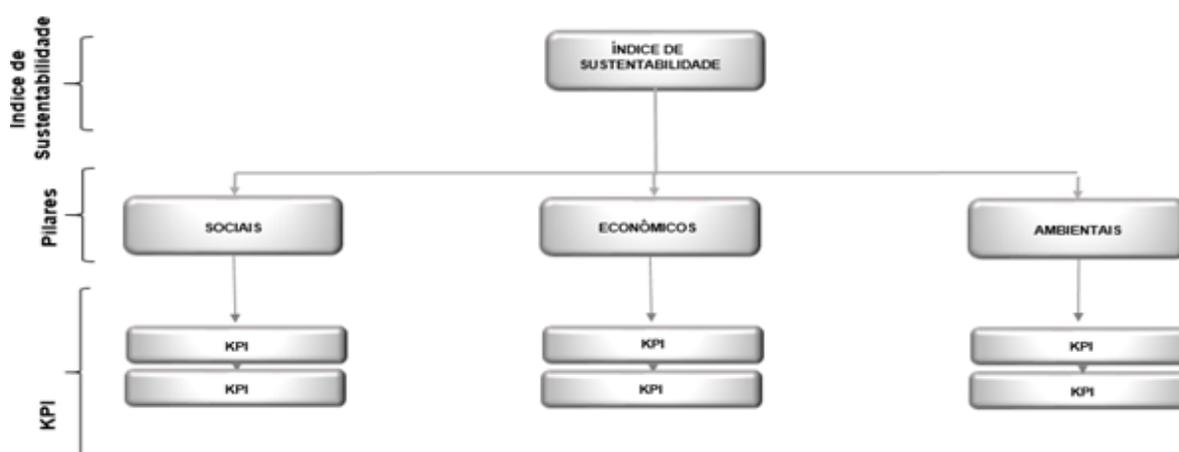


Figura 2.15: Níveis de Sustentabilidade

Conforme já apresentado, as organizações buscam constantemente aumentar seu grau de competitividade agregando valores a seus negócios. Como uma destas metas, a sustentabilidade é uma das ferramentas para esse objetivo, em que se pretende encorajar os fabricantes a conduzirem suas operações de modo a proteger o ambiente e os aspectos sociais relacionados a todos os envolvidos em seus negócios, para além dos seus interesses econômicos (SARKAR *et al.*, 2011).

Surge deste pensamento algumas questões: Quais atividades produtivas são mais sustentáveis? Qual tipo de manufatura agride mais ou menos o meio ambiente ou os trabalhadores envolvidos na produção? É sustentável sob o ponto de vista econômico, ou seja, a empresa suportará o custo desta sustentabilidade?

Fica então evidente a necessidade de mensurar o nível destas práticas sustentáveis (HUANG; BADURDEEN, 2018). A imposição destas práticas, por sua vez, têm causado uma reação da indústria de manufatura não apenas para mudar a maneira como operam, mas também para reconsiderar a maneira como avaliam o sucesso ou o insucesso de suas ações

com relação aos aspectos de sustentabilidade. Por esta razão, é importante examinar exatamente quais são as ações que convergem para uma manufatura sustentável e qual o grau de sustentabilidade (SARKAR *et al.*, 2011).

Quando as organizações adotam critérios e índices relacionados à sustentabilidade, ou seja, quando existem requisitos de sustentabilidade, elas tendem a nortear as tomadas de decisões com base em efeitos que são assumidos como desejável ou não desejável (HALLSTEDT, 2017). Um exemplo seria “Minimização de energia”, que é frequentemente mencionada em relação à sustentabilidade dos produtos.

Renn *et al.* (2009) trazem para esta discussão um questionamento quanto a aplicação desse conceito, já que quase tudo o que pode estar ligado a desenvolvimentos positivos foi enquadrado como “sustentável”. Fica evidente que as definições deste índices e critérios ainda não são convincentes e dão margem para muitos debates.

Segundo Zanuto (2016), a adoção de critérios para majoração da sustentabilidade de seus produtos, serviços ou ainda de suas organizações constitui-se ainda um dos maiores desafios das empresas.

Renn *et al.* (2009) apresentam as dificuldades dos pesquisadores na elaboração de índices de sustentabilidade quando demonstram as lacunas das abordagens teóricas e práticas, principalmente quando lidam com a interação dos pilares da sustentabilidade. Segundo Zanuto (2016), apesar da evolução na construção e consolidação do conceito, ainda existem melhorias que precisam ser construídas a fim de se criar uma dimensão verdadeiramente sustentável, composta pelas três dimensões da sustentabilidade quais sejam: ambiental, econômica e social.

Neste contexto, as instituições, com o objetivo de se manterem competitivas no mercado, buscam técnicas e ferramentas para a aplicação de critérios e índices de manufatura sustentáveis (ARAUJO, 2010). O campo de pesquisa e estudo está aberto a pesquisadores que começam a buscar soluções de mensuração da sustentabilidade. Assim, na engenharia de sistemas, surgem estudos e pesquisas para o desenvolvimento de ferramentas relacionadas a índices de sustentabilidade (HALLSTEDT, 2017).

Explica Joung *et al.* (2012) que devido à amplitude e novidade do campo de aplicação da mensuração de sustentabilidade, muitos índices e estruturas para a análise de manufatura sustentável poderão ser desenvolvidos.

Hallstedt (2017) acrescentam que existe uma tendência entre os pesquisadores em desenvolverem índices que atendam aos conceitos inseridos pelo TBL.

De forma sintética, a Figura 2.16 apresenta uma ideia de como as teorias relacionadas aos índices de sustentabilidade se agrupam dentro dos inúmeros conceitos apresentados nas literaturas. É apresentada uma divisão na classificação entre os índices e os critérios. Na mesma figura verifica-se uma classificação entre índices Gerais e Corporativos (com foco em instituições).

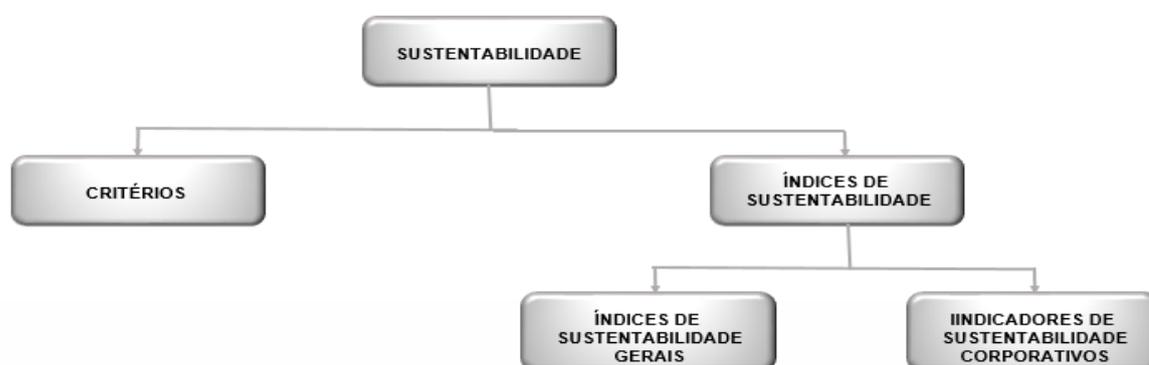


Figura 2.16 – Agrupamento das teorias de avaliação de sustentabilidade.

A diferença entre critérios de sustentabilidade e índices de sustentabilidade, apresentada na Figura 2.16, pode ser definida da seguinte forma:

a) Critérios de sustentabilidade são considerados como uma meta da instituição, ou seja, um objetivo a ser alcançado (exemplo: produto químico perigoso não deve ser usado) (HALLSTEDT, 2017). Pode-se apresentar como um critério de sustentabilidade como a proposta de Jawahir e Dillon Jr. (2007), na qual sugerem o conceito 6Rs (reduzir, reutilizar, reciclar, recuperar, redesenhar e remanufaturar) para produtos acabados. Neste contexto, os autores apontam para a criação de novos valores para elementos de inovação. Na mesma linha de pensamento, mas objetivando os recursos necessários para a fabricação, Gharfalkar *et al.* (2018) sugerem o aspecto dos “5Rs da Eficácia dos Recursos”, que poderia ser definido como fabricação de produtos ambientalmente benignos usando quantidade nula ou reduzida de recursos naturais não renováveis e perigosos que elimina ou reduz a geração de fluxos de resíduos nocivos ao meio ambiente.

b) Já os índices de sustentabilidade são definidos como um fato quantitativo mensurado (LOURENÇO; BRANCO, 2013).

Como dito anteriormente, muitas instituições e pesquisadores no campo da engenharia de sistemas de processo têm se dedicado à criação destes índices de sustentabilidade. Fica evidente nas literaturas que ocorre uma divisão entre índices de sustentabilidade gerais e índices de sustentabilidade corporativa, conforme esquema apresentado na Figura 2.16.

Em relação aos Índices de sustentabilidade gerais (apresentado na Fig 2.16), um dos modelos desenvolvidos, mas aplicados na atualidade, é a Pegada Carbono, desenvolvida por Willian Rees e Mathis Wackernagem em 1992, e publicado em 1996, no livro “*Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*”. De uma maneira simplificada, o modelo consiste no cálculo da área necessária para garantir a sobrevivência de uma determinada população ou sistema econômico, fornecendo energia e recursos naturais, além de assegurar a capacidade de absorver os resíduos ou dejetos produzidos por tal sistema. A metodologia se baseia na contabilização das entradas e saídas dos fluxos de matéria e energia de um dado sistema e traz como resultado final a necessidade de área correspondente de terra ou água para sustentar esse sistema (WACKERNAGEL; REES, 1996).

Como pode ser visto, o modelo Pegada Carbono tende apenas aos aspectos ambientais, não levando em conta os financeiros e sociais. Assim, o modelo tem uma tendência a não ser aplicado especificamente a empresas ou a mensuração da sustentabilidade da manufatura quando se objetiva o atendimento ao TBL.

Em uma outra linha de pensamento voltada para o estudo de índices de sustentabilidade corporativa visando as empresas ou manufatura, surgem inúmeras possibilidades de estudos e surgimento de inúmeros índices corporativos. Como poder ser observado na Figura 2.17, ocorre aqui uma divisão dos índices corporativos em sistemas de gestão e normas, em relatórios de sustentabilidade e em índices de sustentabilidade (qualitativos e quantitativos).



Figura 2.17 – Agrupamento das práticas relacionadas a mensuração da sustentabilidade.

Lourenço e Branco (2013), sugerem que as práticas de avaliação de sustentabilidade são definidas como um fato qualitativo ou quantitativo, ambos mensurados por alguma metodologia e poderiam ser organizados nas seguintes classes:

a) Sistemas de Gestão: ferramentas que têm o objetivo de implementar a sustentabilidade corporativa para reduzir impactos indesejáveis da atividade empresarial e das práticas relacionadas que suportam suas respectivas estruturas. Exemplifica-se aqui as normas das famílias ISO 14000 (ABNT, 2008), ISO 26000 (ABNT, 2002), entre outras.

b) Relatórios de Sustentabilidade: que apresenta um quadro abrangente de relatórios voluntários para o desempenho ambiental e social das empresas. Podem também identificar deficiências e reconhecer o valor dos ativos intangíveis da empresa.

c) Índices de Sustentabilidade Qualitativos: que promovem métricas que comparam as empresas, sob o desempenho em sustentabilidade, com base em um *check list* pré-definido. Pode-se citar como exemplos os índices *Dow Jones Sustainability Indexes* (DJSI, 2018), FTSE4Good (FTSE4GOOD, 2018), e o Índice de Sustentabilidade Empresarial (ISE, 2018) que tendem a mensurações aplicadas ao desempenho das empresas sob a óptica de investidores do mercado financeiro, índices que fornecem uma visão detalhada da sustentabilidade corporativa. Em relação aos métodos de medição de sustentabilidade corporativa, cita-se também o exemplo da “*The Organisation for Economic Co-operation and Development*” (OECD, 2010), que desenvolve metodologia para mensuração de produção sustentável por meio de diálogo com os países deste grupo e tem como foco as seguintes análises: a) os recursos naturais: incluindo esgotamento, degradação, eficiência; b) os produtos: considerando design, durabilidade, qualidade e embalagem; c) as relações com o emprego: considerando a saúde, segurança, proteção, satisfação e oportunidades de renda dos envolvidos na produção; d) os aspectos econômicos: investimento de valor agregado em tecnologia e ética sustentáveis envolvidas produção sustentável; e) a sociedade: desenvolvimento comunitário e impactos no balanço social resultante da implementação de práticas sustentáveis; f) a infraestrutura de suporte: telecomunicações e facilidade de transporte; g) o ambiente: impacto da produção nos resíduos, emissões, som e outros componentes do pegada ambiental (OECD, 2018).

Para as empresas, além da dificuldade de decidir quais índices escolher, surge também a dúvida de como devem interpretar os resultados para tornar seus processos e produtos sustentáveis (RENN et al., 2009). Acrescenta-se a essa dificuldade, o fato de que estes divergem nos pontos a serem analisados e mensurados, o que se torna um problema para as instituições ao tentarem selecionar um conjunto operacional de indicadores ou KPIs

para avaliar a sustentabilidade na manufatura (NASR; HILTON; GERMAN, 2011). O referido fato pode ser explicado pelo conjunto de diversidade e necessidade das organizações.

Um dos primeiros caminhos adotados pelas empresas, para resolver esse impasse, foi a adoção de sistemas de gestão que tratavam deste assuntos, como, por exemplo, as normas Gestão da Qualidade, ISO 9000; Gestão do Meio Ambiente, ISO 14000; Saúde e Segurança no Trabalho, ISO 45001; Responsabilidade Social, ISO 26000 e Gestão da Energia Elétrica, ISO 50001 (2004a; ABNT, 2008; ABNT, 2010; ABNT, 2011; ABNT, 2015, ABNT, 2018). Entretanto, estas normas não abordam metodologias ou definem os índices, somente especificam que as instituições as implemente e as monitore e também definam a criação de ações corretivas para casos de não conformidades.

Neste contexto de não conseguirem o atendimento de suas necessidades pelas normas, as instituições focaram suas buscas por índices de sustentabilidade qualitativos e quantitativos.

Com base em um período de 1997 a 2010, em estudos realizados por Chen *et al.*, (2013), foram levantados e analisados 11 índices de sustentabilidade que estavam sendo utilizados por empresas. Nesta análise, os autores compararam quatro critérios relevantes para o processo de fabricação: (A) Tempo dispendido para aplicação da avaliação, que é analisado se fornece ou não uma aplicação rápida em função do nível de complexidade da aplicação; (B) Aplicação em linhas de produção, células de produção ou etapas de processo; (C) Aplicação generalista, se pode ser aplicado ou não em diversos segmentos ou natureza da operação das empresas; (D) Visão holística da sustentabilidade, no qual se analisou se fornece uma visão holística da empresa ou se restringe a departamentos isolados. Tal análise apresentou que nenhum dos índices avaliados atendiam todos os critérios classificados como importantes pelo autor, conforme detalhado na Tabela 2.2.

Tabela 2.2: Comparação de Métodos de Avaliação de Sustentabilidade

Índices de Sustentabilidade	Critérios Atendidos
Barômetro da Sustentabilidade (PRESCOTT-ALLEN, 1997)	A
Índice de Sustentabilidade Dow Jones (DJSI, 2018)	B
Índice de Sustentabilidade Icheme (ICHEME, 2002).	B e C
Ferramenta de Avaliação Rápida de Plantas (GOODSON, 2002)	A e B
Avaliação de Sustentabilidade na Indústria de Mineração (AZAPAGIC, 2000)	D

Índice de Desenvolvimento Sustentável Composto (MOLDAN <i>et al.</i> , 2004)	A, B e D
Índice de Sustentabilidade ITT FLYGT (POHL, 2006)	A, B e D
Índice de Sustentabilidade de Produtos da Ford Europa (SCHMIDT, TAYLOR, 2006)	D
Métricas da GM para Manufatura Sustentável (DREHER <i>et al.</i> , 2009)	A, B e D
Estrutura de Desenvolvimento Sustentável (AZAPAGIC, 2004)	D

Fonte: Adaptado de Chen *et al.*, (2013)

Em uma pesquisa semelhante, Huang e Badurdeen (2017) realizaram estudos sendo que alguns deles abordaram índices de sustentabilidade para a manufatura. Na pesquisa foram estudados 13 modelos, apresentados na Tabela 2.3. Estes autores subdividem a mensuração em 3 categorias, ou seja, de desempenho de manufatura sustentável no âmbito da linha de produção, de plantas e de organizações. No estudo, os autores verificam o atendimento destes modelos aos conceitos do *Triple Bottom Line* (TBL), do Ciclo de Vida (CV) e dos 6Rs. A análise a seguir verificou-se se o conceito foi: atendido (√) ou atendido parcialmente (√p).

Tabela 2.3: Segunda Comparação de Métodos de Mensuração de Sustentabilidade

Nível	Índices de Sustentabilidade	TBL	CV	6Rs
Linha	Integração da Avaliação de Manufatura Sustentável na Tomada de Decisão (ZHANG, HAAPALA, 2015)	√	√p	
	Mapeamento do Fluxo de Valor Sustentável (Sus-VSM) (FAULKNER, W.; BADURDEEN, F, 2014)	√	√p	
Planta	Barômetro da Sustentabilidade (PRESCOTT-ALLEN, 1997)	√	√p	
	Ferramenta de Avaliação Rápida de Plantas (GOODSON, 2002)	√p	√p	√p
	Indicadores Sustentáveis no Nível da Fábrica (WINROTH <i>et al.</i> , 2012)	√	√p	√p
	Ecologia Industrial ao Nível da Fábrica (DESPEISSE <i>et al.</i> 2012)	√p	√p	√p
	Táticas de Fabricação Sustentável e Modelagem Multifuncional de Fábrica (DESPEISSE <i>et al.</i> 2013)	√p	√p	
Empreendimento	Global Reporting Initiative (GRI, 2018)	√	√p	
	Índice de Sustentabilidade Dow Jones (DJSI, 2018)	√	√p	
	Índice de Sustentabilidade Icheme (ICHEME, 2002)	√	√p	
	Estrutura de Desenvolvimento Sustentável (AZAPAGIC, 2004)	√	√p	

	Modelo de Mensuração Integrada do Desenvolvimento Sustentável (KRAJNC, GLAVIČ, 2005)	√	√p	
	Indicadores de Produção Sustentável (VELEVA, ELLENBECKER, 2001)	√	√	
Legenda: Triple Bottom Line (TBL), do Ciclo de Vida (CV) e dos 6R's				

(Fonte: Adaptado de Huang e Badurdeen,2017)

Segundo Sarkar *et al.* (2011), o desenvolvimento de índices tende a adequar as necessidades das instituições e cada uma, em sua particularidade, atende a uma condição específica, como, por exemplo, mensurar produtos, processos, instalações, corporações, setores, região com amplitude mundial. Estes autores realizam um estudo com foco na manufatura sustentável, no qual se compara cinco metodologias. O estudo citado foi resumido na Tabela 2.4, a qual apresenta um mapeamento de índices de sustentabilidade em nível de aplicação de produto, processo, instalação e corporação.

Tabela 2.4: Mapeamento dos Índices de Sustentabilidade por Nível de Aplicação

Índices de Sustentabilidade	Nível de Aplicação
Métricas da GM para Manufatura Sustentável (DREHER <i>et al.</i> , 2009)	1 e 2
OCDE - Indicadores Ambientais (OECD,2003)	1, 2 e 3
<i>Global Reporting Initiative</i> (GRI,2018)	3 e 4
Índices de Sustentabilidade para Produtos WALMART-SPI (WALMART, 2009)	1
ISO 14031- Avaliação de Desempenho Ambiental (ISO 14031, 1999)	3
Legenda: 1-produto, 2-processo, 3-instalação,4-coorporação	

(Fonte: Adaptado Sarkar *et al.* (2011))

Com foco na manufatura, os estudos em desenvolvimento de índices tendem a adequar as necessidades das instituições. Neste contexto, uma divisão dos índices de sustentabilidade corporativas se apresentam como possibilidade de mensurar a sustentabilidade de corporações industriais considerando a variedade e complexidade das organizações em nível de produtos, de processos, de plantas (NASR; HILTON; GERMAN, 2011) e recursos (GHARFALKAR *et al.*, 2018), como mostra a Figura 2.18.



Figura 2.18 – Agrupamento das teorias relacionadas aos índices de sustentabilidade.

Huang e Badurdeen (2018), apresentam, em seu artigo, um estudo de 19 índices para avaliação de desempenho de manufatura sustentável em nível de processo, linha de produção e planta. Neste estudo é realizada uma revisão da literatura atual abordando uma comparação entre estes índices. Na Tabela 2.5 é realizado um resumo dos índices citados por Huang e Badurdeen (2018), além de outros modelos específicos para avaliação de etapas de processos e linhas de produção. Todos os citados por estes autores disponibilizam uma métrica para mensuração. São classificados na Tabela 2.5 como avaliação qualitativa (Q_L) ou quantitativa (Q_T).

Tabela 2.5: Comparação de Métodos de Avaliação de Sustentabilidade

Autores	Índices de Sustentabilidade	Q_L	Q_T
Wanigarathne <i>et al.</i> (2004)	Avaliação da Sustentabilidade do Processo para Fabricação de Produto em Operações de Usinagem	√	
Khan <i>et al.</i> (2004)	Ciclo de Vida iNdeX (LInX)		√
Yuan <i>et al.</i> (2012)	Uma Abordagem Tridimensional do Sistema para Manufatura Ambientalmente Sustentável	√	
OCDE (2011)	OECD – Indicadores de Sustentabilidade para Manufatura	√	
Lu T (2014)	Uma Avaliação de Sustentabilidade Baseada em Métricas da Usinagem Criogênica Usando Modelagem e Otimização do Desempenho do Processo (ProcSI)		√
Nannapaneni <i>et al.</i> (2016)	Avaliação de Desempenho de um Processo de Fabricação Sob Incerteza Usando Redes Bayesianas		√
Faulkner e Badurdeen (2014).	Mapeamento do Fluxo de valor sustentável (Sus-VSM)		√
Zhou <i>et al.</i> (2017)	Avaliação da Linha de Produção Sustentável com Base no Raciocínio Probatório		√
Zhang e Haapala (2015)	Integração da Avaliação de Manufatura Sustentável na Tomada de Decisão		√
Elhuni e Ahmad (2017)	Indicadores Chave de Desempenho para Avaliação Sustentável da Produção no Setor de Petróleo e Gás	√	
Moraes (2016)	Avaliação do Nível de Sustentabilidade em Processos de Manufatura Utilizando Indicadores de Sustentabilidade Junto à Ferramenta VSM (<i>Value Stram Mapping</i>),		√

Fonte: Adaptado de Huang e Badurdeen (2018)

Amrina e Vilsu (2015) realizam estudos em que é feita uma revisão da literatura com o objetivo de determinar os índices comumente usados em avaliação de processos de fabricação e os KPIs indexados a eles. Foram analisados índices como a ISO 14031 (ABNT, 2004a), *Global Reporting Initiative* (GRI, 2018) e Organização para a Cooperação Econômica e Desenvolvimento (OCDE, 2018). Estes autores propõem neste estudo que os KPIs iniciais devem ser validados para as práticas da indústria, atuando como ponto inicial para elaboração dos índices de sustentabilidade.

Em seus estudos, Kwatra *et al.* (2016) e Schrippe e Ribeiro (2018) propõem modelos ponderados e heurísticos que atribuem pesos semelhantes aos vários aspectos. Mediante as decisões, podem gerar resultados errados devido às limitações de tais modelos. A escolha de um índice de sustentabilidade que agregue mais valor para a organização tem sido comentada por vários estudiosos e não se trata de uma tarefa muito fácil, como já discutido anteriormente. É preciso levar em conta quais critérios estes índices usam para fazer esta mensuração, ou seja, qual seria o conjunto de indicadores-chave de desempenho (KPIs) mais apropriado a organização avaliar a manufatura sustentável.

2.9 Índices de Sustentabilidade para Etapas de Processo

Nesta seção serão descritos e analisados sete índices de sustentabilidade específicos para etapas de processo e linha de produção citados nas tabelas anteriores.

a) Faulkner e Badurdeen (2014) sugerem uma metodologia baseada na ferramenta Mapa de Fluxo de Valor (*Value Stream Mapping* - VSM) e redefinida para mapeamento sustentável do fluxo de valor (Sus-VSM) para avaliar o desempenho da sustentabilidade da fabricação no nível da linha de produção por meio de métricas adequadas para avaliação do desempenho de fabricação sustentável. Tal modelo se destaca por identificar os pontos de melhorias nas linhas de produção, porém considerando uma empresa como um número grande de etapas fabricação, a aplicação desta metodologia demandaria muito tempo.

b) Na mesma linha, a metodologia proposta por Moraes (2016) também baseada na VSM tem com o objetivo de mensuração do nível de sustentabilidade em processos de manufatura, que consiste em uma pesquisa exploratória para identificar os indicadores de sustentabilidade, criação de método de integração dos indicadores de sustentabilidade no VSM. Como no modelo anterior, apesar de identificar os pontos de melhorias nos processos de produção, a complexidade da metodologia demandaria uma grande quantidade de tempo

quando aplicada em chão de fábrica. A aplicação do método proposto é ilustrada apenas para um processo de usinagem.

c) A mensuração de etapas de processo é proposta por Lu T. (2014), denominada (ProcSI), a qual determina a sustentabilidade geral do processo, começando com métricas individuais quantificáveis no nível do processo. Nesta propositura, são considerados os níveis de *Clusters*, *Sub-clusters* (pilares) e métricas individuais (KPI) a fim de serem agregados e fornecido o ProcSI como uma pontuação única em uma escala de 0 e 10, para sustentabilidade do processo de fabricação. Esta propositura é aplicada por Lu T, (2014) em um processo de usinagem criogênico para demonstrar a eficácia da metodologia.

d) Huang e Badurdeen (2017), apresentam uma proposta de mensuração de sustentabilidade nos níveis da linha de produção (LiSI) e da planta (PlaSI), nas quais as métricas propostas são organizadas em hierarquia de cinco níveis (métrica, *sub-cluster*, cluster, sub-índice, índice). A aplicação do método proposto é ilustrada para uma empresa de fabricação de antenas de televisão por satélite em nível da linha de produção. Apesar dos objetivos de mensuração dos autores em termos de planta e linha de produção, a metodologia poderia ser aplicada a etapas de processos produtivos.

e) Uma metodologia para avaliar células de trabalho, mas também aplicável a etapas de processo, é proposta por Zhang e Haapala (2015), que sugerem uma abordagem para avaliar os impactos na sustentabilidade contemplando os pilares econômicos, ambientais e sociais utilizando-se dos conceitos do TBL. Os resultados para cada pilar são então integrados e ponderados a fim de obter o índice de sustentabilidade da etapa analisada. Para demonstrar a eficácia da metodologia, é apresentado um estudo de caso em uma empresa que produz facas.

f) *Icheme Sustainability Metrics* (ICHEME, 2002) contempla os aspectos de sustentabilidade ambiental, social e econômica. Trata-se de ferramenta aplicável para mensuração em nível de fábrica, especialmente voltada para o ramo industrial químico da indústria de processo contínuo em que são subcategorizados em subtemas que são mensurados por 300 indicadores (KPI). Nesta ferramenta, o analista escolhe arbitrariamente qual KPI vai utilizar. Tal metodologia é restrita para empresas do segmento químico.

g) *Rapid Plant Assessment Tool*, ferramenta desenvolvida por Goodson (2002) tem como objetivo a mensuração rápida em nível de fábrica. Constituída por duas etapas de mensuração: um questionário e uma tabela avaliativa, sendo que questionário consiste em 20 aspectos de endereçamento sim/não e a tabela categoriza entre a mensuração por pontuação de 1 a 11 sendo que quanto maior o valor melhor a pontuação. Este modelo aparentemente tem potencial para ampla utilização, porém não define aos usuários quais KPIs deverão ser utilizados, o que o torna de amplo espectro de pressupostos subjetivos aos analistas.

Uma análise e resumo destas sete metodologias específicas para etapas de processos de fabricação e linhas de produção são realizados na Tabela 2.6. Nesta análise se objetivou a identificação das seguintes premissas: a) metodologia em conformidade com os paradigmas do TBL; b) aplicável à mensuração de etapas de processo de fabricação; c) fácil aplicação em chão de fábrica; d) modelo de rápida aplicação; e) possibilita a análise e mensuração individual dos KPIs; f) apresenta uma métrica para análise dos KPIs; g) uma metodologia que atenda qualquer etapa ou tipo de processo de fabricação, h) passível de ser informatizada. O resultado deste breviário é apresentado na Tabela 2.6. Os modelos que atenderam os requisitos foram marcados (√).

Tabela 2.6: Resultado da Análise dos Métodos de Mensuração de Sustentabilidade

Índices de Sustentabilidade	a	b	c	D	e	f	g	h
Mapeamento do Fluxo de Valor Sustentável (Sus-VSM) (Faulkner; Badurdeen, 2014)	√				√	√	√	√
Mensuração do Nível de Sustentabilidade em Processos de Manufatura Utilizando Indicadores de Sustentabilidade Junto à Ferramenta VSM (<i>Value Stream Mapping</i>), (Moraes, 2016)	√	√			√	√	√	√
Uma Mensuração de Sustentabilidade Baseada em Métricas da Usinagem Criogênica Usando Modelagem e Otimização do Desempenho do Processo (ProcSI) (Lu T., 2014)	√	√	√	√	√	√		√
Abordagem Baseada em Métricas para Avaliar o Desempenho de Fabricação Sustentável nos Níveis da Linha de Produção e da Planta (Huang; Badurdeen, 2018)	√	√	√	√	√			√
Abordagem Hierárquica Baseada em Métricas para Mensuração de Desempenho de Sistemas de Manufatura Sustentável (Huang; Badurdeen, 2017)	√	√	√	√	√			√
Integração da Avaliação de Manufatura Sustentável na Tomada de Decisão (Zhang; Haapala, 2015)	√	√	√	√	√		√	√
Métricas de Progresso Sustentável Recomendadas para uso nas Indústrias de Processo (Icheme, 2002)		√	√					√

2.10 Considerações Relevantes no Desenvolvimento de Índices de Sustentabilidade

Considerando um campo de aplicação tão amplo, o resultado tem sido o desenvolvimento de uma série de medidas e métricas por meio de índices, conjuntos de índices e índices para a análise de manufatura sustentável. Também fica evidente que um grande número de critérios e índices e ainda serão desenvolvidos. (NASR; HILTON; GERMAN, 2011).

Kibira *et al.* (2009) e Ueda *et al.* (2009), citados por Joung *et al.* (2012), alertam sobre os cuidados a serem tomados na interpretabilidade dos resultados quando se utiliza conjuntos de indicadores, sendo que a complexidade das inter-relações provocam uma série de conclusões contrárias sobre o nível de sustentabilidade e o que pode ser feito para melhorá-lo.

Muitos estudiosos argumentam que a medição da sustentabilidade é complexa e constitui um desafio para empresas. Para Liu *et al.* (2016), os resultados exigem uma análise cuidadosa para determinar se os índices gerados são consistentes com a realidade.

Os KPIs estão sendo muito utilizados para desenvolver um modelo de avaliação de manufatura sustentável e a sua utilização correta auxilia as instituições nos esforços para aumentar sua produção sustentável (AMRINA; VILSE, 2015).

CAPÍTULO III

Metodologia

Neste presente capítulo é apresentada a metodologia que será a base desta propositura, com o objetivo do esclarecimento do modelo, facilitando a compreensão do método de mensuração de sustentabilidade para etapas produtivas. Assim, permite-se que os demais pesquisadores possam analisar e aplicar integralmente a metodologia.

É apresentado, na Figura 3.1, o organograma que descreve os KPIs a serem avaliados para a obtenção do índice de sustentabilidade aqui proposto. Cada KPI é detalhado em sua forma de cálculo, norma utilizada, equipamentos utilizados e fontes de coleta de dados, definindo assim os *modi operandi* para a aplicação da metodologia.

Ao final, é apresentada a forma de mensuração do índice de sustentabilidade de cada pilar (social (ISs), ambiental (ISa), econômico (ISe), tecnológico (ISt) e legal (ISl)) e a mensuração geral (ISG).

Para execução da metodologia, faz-se necessário que sejam definidas as etapas do processo a serem estudadas, ou seja, o analista deverá delinear o limite de controle para a obtenção dos dados.

A etapa eleita para a aplicação da metodologia foi a aplicação de revestimento metálico, de elevada resistência ao desgaste, em moendas de cana de açúcar, previamente apresentada no Capítulo 2 e ilustrada pelas Figuras 2.9 e 2.10.

3.1 Definição dos Pilares e KPIs

Com base nas ideias apresentadas nas propostas por Joung *et al.* (2012) e Jovane *et al.* (2008) e entendendo que as discussões sobre os aspectos políticos, gestão de

desempenho e tecnológicos são de extrema importância para agregar valor à sustentabilidade na manufatura, principalmente quando o objetivo é a mensuração de etapas de processo. Nesta propositura, a base para alicerçar a metodologia de mensuração do índice de sustentabilidade foi baseada no conceito TBL; além deste, serão adicionados os pilares Tecnológicos e Legais, como mostra a Figura 3.1. No primeiro, foram inseridos os aspectos relacionados às gestões de desempenho, de inovação e de tecnologia e, no segundo, os aspectos legais.

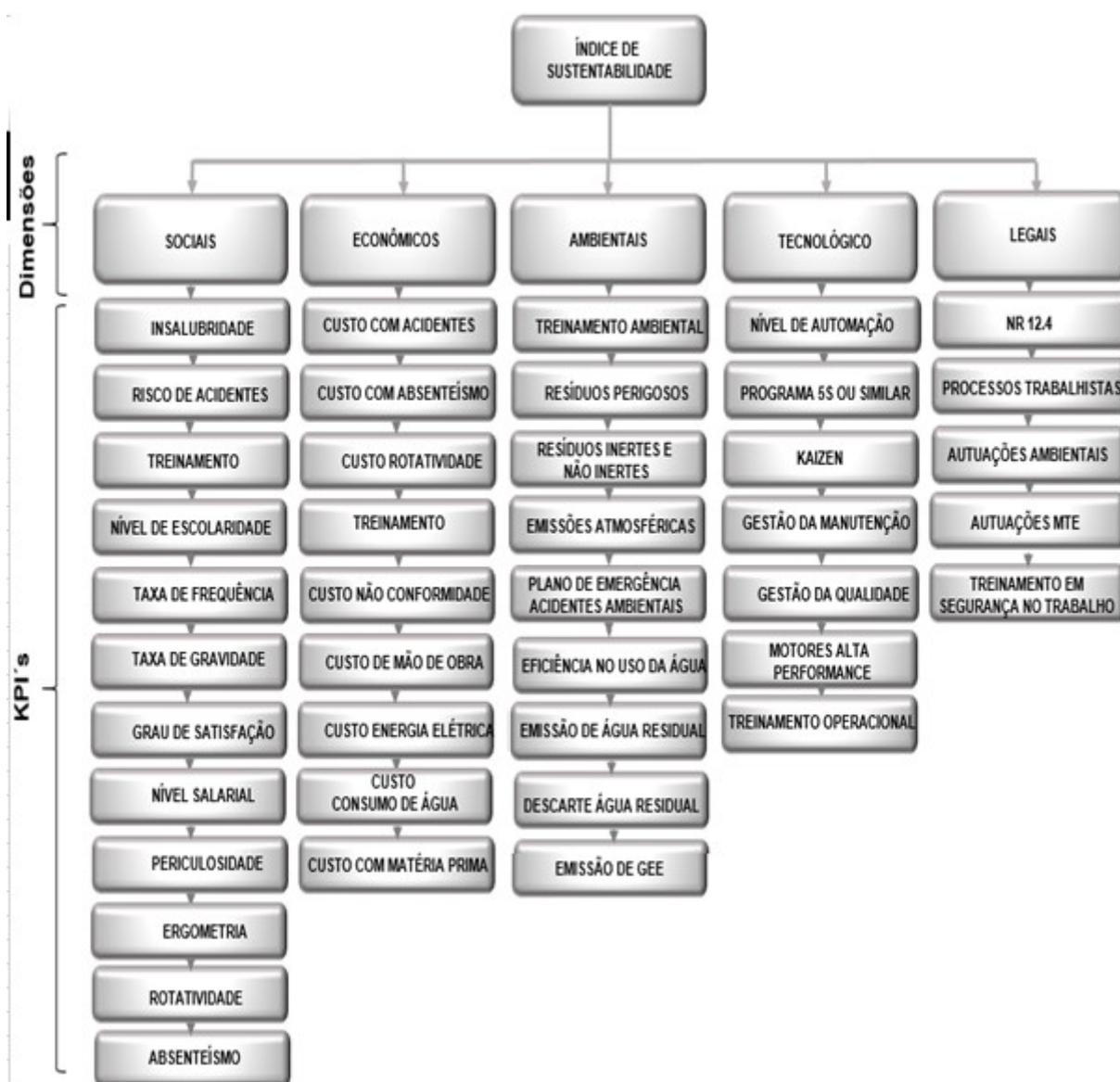


Figura 3.1. Estrutura da proposta do indicador de sustentabilidade

Considerando também que a EC e suas aplicações práticas contribuem para a evolução de processos industriais, pois a gestão de recursos, resíduos, emissões e desperdício de energia são minimizados pela desaceleração, fechamento e estreitamento

de material e conservação de energia (GEISSDOERFER *et al.*, 2017), 10 KPIs foram selecionados com base neste novo paradigma, entre eles: resíduos perigosos, resíduos inertes e não inertes, emissões atmosféricas, eficiência no uso de energia elétrica, eficiência no uso de água, emissão de água residual, descarte de água residual, nível de automação, programa 5S ou similar e programa Kaizen ou similar.

3.2 Descrição e Forma de Mensuração dos KPIs

As descrições dos KPIs foram divididas nos pilares: sociais, ambientais, econômicos, tecnológicos e legais e subdivididas em:

3.2.1 Pilar Social

O pilar social é subdividido em:

3.2.1.1 KPI Insalubridade

São consideradas atividades ou operações insalubres as que se desenvolvem, acima dos limites de tolerância (LT) na presença de agentes como ruído contínuo ou intermitente, ruídos de impacto, exposição ao calor, radiações ionizantes, poeiras, condições hiperbáricas, agentes químicos, agentes biológicos, radiações não ionizantes, vibrações, frio e umidade. Para a elaboração deste procedimento não serão consideradas os agentes Radiações Ionizantes e Condições Hiperbáricas por não serem comuns às atividades de manufatura, foco deste estudo (MTE, 2019). As operações que se desenvolvem, acima dos limites de tolerância (LT), são caracterizadas como insalubridade de grau máximo, médio e mínimo.

Limite de Tolerância (LT) é a concentração ou intensidade máxima ou mínima, relacionada com a natureza e o tempo de exposição ao agente, que não causará danos à saúde do trabalhador, durante a sua vida laboral. Valor Teto (VT) são relativos aos agentes químicos, previstos na NR15 que as exposições a trabalhadores não podem ultrapassar os limites ali descritos, devido ao grave dano a esta exposição (MTE, 2019).

Na Tabela 3.1, são apresentadas a escala de valores para o KPI referente a Insalubridade, valores estes que variam de 1 a 5, conforme descrição apresentada.

Tabela 3.1: Insalubridade

Valor	Descrição
1	VT é ultrapassado
2	Atividade é caracterizada como insalubridade de grau máximo
3	Atividade é caracterizada como insalubridade de grau médio
4	Atividade é caracterizada como insalubridade de grau mínimo
5	Atividade não oferece nenhum risco ao trabalhador

Para a mensuração deste KPI, são levantados quais os agentes insalubres presentes na operação avaliada. A relação destes, é prevista na Normas Regulamentadora 15. Após a identificação dos agentes, foram verificados os níveis de intensidade de cada agente e os limites de tolerância (LT) e valor teto (VT) definidos para cada agente:

a) Ruído Contínuo ou Intermitente e Ruídos de Impacto

Para mensuração do ruído contínuo ou intermitente e do ruído de impacto, a metodologia utilizada foi baseada na norma NHO-01: Avaliação da Exposição Ocupacional ao Ruído (FUNDACENTRO, 2001a) e o anexos 1 e 2 da Norma Regulamentadora 15 (MTE, 2019). O equipamento para realização das avaliações foi o Densímetro Digital Portátil - Instrutherm modelo DOS-600.

b) Exposição ao Calor

A exposição ocupacional ao calor é avaliada pela metodologia contida norma NHO-06: Avaliação da Exposição Ocupacional ao Calor (FUNDACENTRO, 2001b) e o anexo 3 da Norma Regulamentadora (MTE, 2019). O equipamento para realização destas avaliações foi o TGD-300 - Instrutherm com RS-232 e datalogger.

c) Poeiras Minerais

Para a avaliação de aerodispersóides foram utilizadas as normas NHO-08 (FUNDACENTRO, 2009), NHO-03 (FUNDACENTRO, 2001c) e NHO-04 (FUNDACENTRO, 2001d), as quais fornecem a metodologia para avaliação de exposição ocupacional a material aerodispersóides (poeiras, fibras e fumos) e também foi utilizado o anexo 12 da Norma Regulamentadora 15 (MTE, 2019). O equipamento Bomba gravimétrica de amostragem, modelo BDX-II, marca Sensidyne, Faixa de operação: 500 a 3000 cm³/min, foi utilizado para realização das avaliações.

d) Agentes Químicos

Para avaliação de exposição ocupacional a agentes químicos a metodologia utilizada está descrita na norma NHO-02: Método de Ensaio - análise qualitativa da fração volátil (vapores orgânicos) (FUNDACENTRO, 2017) e os anexos 11, 13 e 13A da Norma Regulamentadora 15 (MTE, 2019).

O equipamento para realização das avaliações foi o equipamento Bomba gravimétrica de amostragem, modelo BDX-II, marca Sensidyne, Faixa de operação: 500 a 3000 cm³/min.

e) Agentes Biológicos

Para a exposição ocupacional a agentes biológicos utiliza-se a metodologia do anexo 14 da Norma Regulamentadora 15 (MTE, 2019). Segundo a norma, as atividades que envolvem agentes biológicos é caracterizada pela avaliação qualitativa no local de trabalho.

f) Radiação Não Ionizante

O anexo 7 da Norma Regulamentadora 15 (MTE, 2019) fornece a metodologia para avaliação a exposição ocupacional a este agente. São consideradas as exposições sem proteção adequada, a radiações micro-ondas, ultravioletas e laser, conforme caracterizado no texto da legislação. Segundo a norma, a caracterização se dá pela avaliação qualitativa *in loco*.

g) Vibração

Para avaliação de exposição ocupacional à vibração, as metodologias utilizadas foram: a) anexo 8 da Norma Regulamentadora 15 (MTE, 2019), b) norma NHO 09 – Avaliação da Exposição Ocupacional a Vibração de Corpo Inteiro (FUNDACENTRO, 2013a) e c) NHO-10: Avaliação da Exposição Ocupacional a Vibração em Mãos e Braços (FUNDACENTRO, 2013b).

O equipamento para realização das avaliações foi o Medidor de Vibração Ocupacional VCI e VMB, marca Criffer, modelo Vibrate.

h) Frio

A exposição ocupacional ao frio, é dada pela metodologia do anexo 9 da Norma Regulamentadora 15 (MTE, 2019), caracterizada pela avaliação qualitativa em local de trabalho.

i) Umidade

Para avaliação de exposição ocupacional à umidade, a metodologia utilizada foi o anexo 11 da Norma Regulamentadora 15 (MTE, 2019). Segundo a norma, as atividades que envolvem este agente são caracterizadas pela avaliação qualitativa.

3.2.1.2 KPI Risco de Acidentes

A mensuração do conceito de risco de acidente será realizada por uma técnica clássica de gerenciamento de risco, conhecida como Análise Preliminar de Riscos (APR), originada de Preliminary Hazard Analysis, que consiste na mensuração de riscos em sistemas (CICCO; FANTAZZINI, 2003).

A APR é realizada na identificação de duas variáveis fundamentais: frequência de acidentes (obtida com auxílio da Tab. 3.2) e da severidade do acidente (Tab. 3.3).

Tabela 3.2 – Determinação da Severidade do Acidente

Descrição	Categoria
Não degrada o sistema ou seu funcionamento, não causa lesões	Desprezível (I)
Degradação moderada, causa lesões leves, é compensável ou controlável	Marginal (II)
Degradação crítica, lesões críticas, danos substanciais, pode colocar o sistema em risco. Necessidade de correção imediata	Crítica (III)
Séria degradação ao sistema/meio produtivo Perdas no sistema, mortes ou lesões permanentes.	Catastrófica (IV)

Fonte: Cicco e Fantazzini (2003)

Tabela 3.2 – Determinação da Frequência dos Acidentes

Faixa de Frequência	Categoria
≥ 10 anos	Extremamente remota (A)
10 anos a 1 ano	Remota (B)
1 mês a 1 ano	Pouco provável (C)
1 dia a 1 mês	Provável (D)
≤ 1 dia	Frequente (E)

Fonte: Cicco e Fantazzini (2003)

Com os resultados obtidos das Tabelas 3.2 e 3.3, a partir destas variáveis é determinado o Grau de Risco (Tab. 3.4). Deste pode-se obter os seguintes resultados: o Risco Desprezível (D), o Risco Menor (ME) o, o Risco Moderado (M), o Risco Sério (S) e o Risco Crítico (C).

Tabela 3.4 – Determinação do Grau de Risco

Severidade		Frequência				
		A	B	C	D	E
IV III II I	IV	ME	M	S	C	C
	III	D	ME	M	C	C
	II	D	D	ME	M	S
	I	D	D	D	ME	M

Fonte: Cicco e Fantazzini (2003)

Com os resultados obtidos na Tabela 3.4, é mensurado o valor do KPI riscos de acidentes conforme apresentado na Tabela 3.5.

Tabela 3.5: Risco de Acidentes

Valor	Descrição
1	Risco Catastrófico
2	Risco Sério
3	Risco Moderado
4	Risco Menor
5	Risco Desprezível

3.2.1.3 KPI Treinamento

A excelência só é obtida quando existirem investimentos no campo da gestão de pessoal, treinamento e desenvolvimento, ações estas que geram resultados gerenciais destinados a melhorar o desempenho de indivíduos e grupos em ambiente organizacional.

Para a caracterização deste KPI é aplicada a Tabela 3.6, que apresenta uma escala variando de 1 a 5, a escolher. Caso ocorra a existência de vários trabalhadores, será realizada uma média aritmética para obtenção do valor deste. Para obtenção dos dados em campo, consulta-se o departamento de recursos humanos da empresa para a coleta de dados relativos aos treinamentos ministrados pela organização ao trabalhador, no período de um ano.

Tabela 3.6: Treinamento

Valor	Descrição
1	Nunca foi treinado
2	Recebeu treinamento informal
3	Recebe menos que 5h de treinamento no ano
4	Recebe entre 5 e 30h de treinamento no ano
5	Recebe mais que 30h de treinamento no ano

3.2.1.4 KPI Nível de Escolaridade

A mensuração do KPI nível de escolaridade é realizada diretamente na Tabela 3.7 e nesta é apresentada uma escala de valores referentes à formação escolar dos trabalhadores que atuam na etapa do processo analisado. Caso ocorra a existência de vários trabalhadores, é realizada uma média ponderada, para obtenção do valor deste KPI. Para obtenção deste dado, consulta-se o departamento de recursos humanos da empresa e realiza-se coleta de dados relativos ao histórico escolar do trabalhador.

Tabela 3.7: Nível de Escolaridade do Trabalhador

Valor	Descrição
1	Não apresenta nenhum nível escolar
2	Ensino Fundamental Incompleto
3	Ensino Fundamental
4	Ensino Médio
5	Nível Técnico

3.2.1.5 KPI Taxa de Gravidade

A taxa de gravidade visa exprimir, em relação a um milhão de horas-homem de exposição ao risco, os dias perdidos por todos os acidentados (vítimas de incapacidade temporária ou permanente), mais os dias debitados relativos aos casos de morte ou

incapacidade permanente. A Norma NBR 14280 (ABNT, 2001) sugere o cálculo da taxa de gravidade pela fórmula demonstrada na Eq. 3.1.

$$G = (T \cdot 10^6) \div H \quad (\text{Eq. 3.1})$$

Sendo que: G é a taxa de gravidade; T é o tempo perdido computado; H representa as horas-homem de exposição ao risco.

Com o resultado obtidos na Eq. 3.1, é mensurado o valor do KPI taxa de gravidade conforme apresentado na Tabela 3.8. Estas taxas são classificadas segundo a *International Labour Organization* (ILO, 1971).

Para obtenção deste dado, foi realizada uma análise da atividade laboral do trabalhador, afim de obter os valores de H e o valor de T foi obtido junto ao setor de recursos humanos da empresa (RH) da empresa.

Tabela 3.8: Taxa de Gravidade

Valor	Descrição
1	$2000,1 \leq G$
2	$1000,1 \leq G \leq 2000$
3	$500,1 \leq G \leq 1000$
4	$0,1 \leq G \leq 500$
5	$G = 0$

3.2.1.6 KPI Taxa de Frequência de Acidentes

A mensuração do KPI taxa de taxa de frequência de acidentes (F_A) obtida pela norma NBR 14280 - Cadastro de Acidente do Trabalho - Procedimento e Classificação Formação Profissional. Esta sugere o número de acidentes por milhão de horas-homem de exposição ao risco, em determinado período. F_A pode ser calculada pela Eq. 3.2 (ABNT, 2001).

$$F_A = (N \cdot 10^6) \div H \quad (\text{Eq. 3.2})$$

Sendo que: N é o número de acidentes; H representa as horas-homem de exposição ao risco.

A *International Labour Organization* (ILO), sugere uma escala para a mensuração da taxa de frequência (ILO, 1971), assim com o resultado obtido na Eq. 3.2, é mensurado o valor do KPI taxa deste item, conforme apresentado na Tabela 3.9.

Para a obtenção do valor de N, consulta-se o departamento de recursos humanos da empresa para a coleta de dados relativos aos acidentes ocorridos nesta etapa do processo. Para o valor de H foi realizada uma análise da atividade laboral do trabalhador.

Tabela 3.9: Frequência de Acidentes

Valor	Descrição
1	$600,1 \leq F_A$
2	$400,1 \leq F_A \leq 600$
3	$200,1 \leq F_A \leq 400$
4	$0,1 \leq F_A \leq 200$
5	$F_A = 0$

3.2.1.7 KPI Grau de Satisfação

Um das formas utilizadas para a avaliação das eficiências pessoais de trabalhadores, na atualidade, é descrita na literatura como Avaliação de Desempenho 360°, que consiste em um tipo de análise na qual o avaliado se auto avalia e recebe *feedback* de todos os que interagem com ele, como: clientes, pares, subordinados, superiores e fornecedores (CHIAVENATO, 2002).

De uma forma semelhante, para adequar-se à mensuração de satisfação dos operadores desta etapa do processo analisada, foram realizadas entrevistas com trabalhadores envolvidos, com chefe imediato destes trabalhadores e com outros trabalhadores que trabalham em processos distintos, mas próximos ao avaliado. Nesta, foram solicitados aos entrevistados que dessem uma nota com escala de 1 a 5. Com os resultados destas entrevistas é realizada uma média ponderada do grau de satisfação (GS) deste item, conforme Tabela 3.10, e assim sendo possível mensurar o valor do KPI.

Tabela 3.10: Satisfação

Valor	Descrição
1	GS > 1
2	1,1 ≤ GS ≤ 2
3	2,1 ≤ GS ≤ 3
4	3,1 ≤ GS ≤ 4
5	GS > 4,1

3.2.1.8 KPI Nível Salarial

Para obtenção do KPI nível salarial, é comparado o valor correspondente dos salários dos trabalhadores da etapa de processo analisada, em porcentagem, ao valor salarial dos demais trabalhadores da empresa, ou seja, o maior valor de salário da empresa representará o valor teto (100%). Assim o valor deste será obtido conforme escala de 1 a 5, apresentado na Tabela 3.11. Para obtenção deste KPI, o departamento de recursos humanos da empresa é consultado para a coleta de dados relativos a faixa salarial dos operadores.

Tabela 3.11: Nível Salarial

Valor	Descrição
1	Faixa salarial até 20%
2	Faixa salarial de 21 a 40%
3	Faixa salarial de 41 a 60%
4	Faixa salarial de 61 a 80%
5	Faixa salarial de 81 a 100%

3.2.1.9 KPI Periculosidade

A Norma Regulamentadora 15 (NR15) apresenta doze perigos que afetam a saúde do trabalhador. São eles: o ruído contínuo ou intermitente, o ruído de impacto, a exposição ao calor, a radiações ionizantes; as poeiras minerais, as condições hiperbáricas, os agentes químicos, os agentes biológicos, as radiações não ionizantes, as vibrações, o frio e a umidade. Na Norma Regulamentadora 16 (NR16) - Atividades e Operações Perigosas são apresentadas em seis classificações de perigos, são eles as atividade e operações com explosivos, com inflamáveis, com radiações ionizantes, com exposição a roubos (ou outras espécies de Violência Física nas Atividades Profissionais de Segurança Pessoal ou Patrimonial), com energia elétrica e com motocicletas (MTE, 2019).

Considerando que o risco à saúde e à segurança do trabalhador aumentam com a quantidade de exposição simultânea a vários perigos, a forma de mensuração deste KPI sofre variação proporcional à quantidade de perigos, conforme Tabela 3.12. Assim, para determinar este KPI, será avaliado quantos perigos os trabalhadores desta etapa do processo estão expostos.

Tabela 3.12: Periculosidade

Valor	Descrição
1	Exposto a mais de 10 perigos
2	Entre 6 e 9 perigos
3	Entre 2 e 5
4	Exposto a pelo menos um perigo
5	Não é exposto a nenhum perigo

3.2.1.10 KPI Ergometria

A mensuração KPI ergometria será realizada pela mensuração da carga física de trabalho e foi classificada de acordo com a metodologia proposta pelo pesquisador Apud em 1999.

Foi coletada a variação de batimento cardíaco do trabalhador (frequência cardíaca de repouso (FCR) e frequência cardíaca de trabalho (FCT)) durante um período específico de tempo. Através dos dados coletados, determinou-se a carga cardiovascular no trabalho (CCV), que corresponde à porcentagem da frequência cardíaca durante o trabalho, em relação à frequência cardíaca máxima utilizável. Para calcular a carga cardiovascular, utilizou-se a Equação 3.3.

$$CCV = ((FCT - (FCR \times 100)) \div (220 - idade - FCR)) \quad (Eq.3.3)$$

Sendo que: CCV = carga cardiovascular, em porcentagem; FCT = frequência cardiovascular de trabalho, em bpm (batimentos por minuto); FCR = frequência cardíaca em repouso; em bpm (batimentos por minuto) e Idade = Idade do trabalhador analisado.

As atividades laborais que exigem frequência cardíaca média inferior a 75 bpm deve ser classificado como muito leve, de 76 a 100 bpm como medianamente pesado, de 101 a 125 bpm como pesado e de 126 a 150 bpm como extremamente pesado. Quando a carga cardiovascular ultrapassa 40%, são necessárias ações imediatas para a recuperação da

frequência cardíaca do trabalhador em atividade (BAČIĆ *et al.*, 2018). Assim, a forma de mensuração deste KPI será variada proporcionalmente à porcentagem de CVV, variando conforme escala apresentada na Tabela 3.13.

Para a mensuração da quantidade de batimentos cardíacos do trabalhador foi utilizado um relógio Polar A 370 com frequência cardíaca contínua, conforme Figura 3.6. O período de análise foi de 8,48 horas (um dia de trabalho)

Tabela 3.13: Ergometria

Valor	Descrição
1	CVV > 40% - Trabalho pesado sem adoção de descanso
2	CVV > 40% - Trabalho pesado com adoção de descanso
3	20% < CVV < 40% - Trabalho pesado
4	10% < CVV < 20% - Trabalho moderado
5	CVV < 10% - Trabalho leve

3.2.1.11 KPI Nível de Rotatividade

O cálculo do nível de índice de rotatividade (R) é baseado no volume de entradas e saídas de pessoal em relação aos recursos humanos disponíveis nas empresas, dentro de determinado período de tempo e em termos percentuais Neste caso, faz-se uso da Equação 3.4 proposta por Chiavenato (2002):

$$R = [(A+D) \div 2] \div (EM) \quad (\text{Eq. 3.4})$$

Sendo que: A = admissões de pessoas dentro do período considerado (entradas); D = desligamentos de pessoal dentro do período considerado (saídas) e EM = efetivo médio dentro do período considerado (pode ser obtido pela soma dos efetivos de empregados existentes no início e no final do período, dividido por dois).

Assim, a mensuração deste KPI será realizada conforme Tabela 3.14. Para obtenção deste KPI, consulta-se o departamento de recursos humanos da empresa para a coleta de dados A, D e EM, durante o período de um ano.

Tabela 3.14: Nível de Rotatividade

Valor	Descrição
1	R > 30,1% - Muito Ruim
2	30% > R > 20,1% - Ruim
3	20% > R > 10,1% - Aceitável
4	10% > R > 5,1% - Bom
5	R < 5% - Ideal

3.2.1.12 KPI Nível de Absenteísmo

O nível de absenteísmo (A_b) reflete a porcentagem de tempo perdido (não trabalhado) devido às ausências de colaboradores, em relação ao volume de atividade planejada pela empresa. Ela é calculada pela Equação 3.5, proposta por Chiavenato (2002). A mensuração do KPI será realizada conforme Tabela 3.15

Para obtenção deste KPI, consulta-se o departamento de recursos humanos da empresa para a coleta das horas perdidas nesta etapa do processo, durante o período de um ano.

$$A_b (\%) = (\text{Horas Perdidas} \div \text{Horas Trabalhadas}) \quad (\text{Eq. 3.5})$$

Tabela 3.15: Absenteísmo

Valor	Descrição
1	$A_b > 10,1\%$ - muito ruim
2	$5,1\% < A_b < 10\%$ - ruim
4	$0,1\% < A_b < 5\%$ - aceitável
5	$A_b = 0\%$ - ideal

3.2.2 Pilar Econômico

O pilar econômico é subdividido em:

3.2.2.1 KPI Índice de Custo com Acidentes (ICA)

A metodologia adotada é baseada na proposta da *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH,1999), que sugere considerar a ordenação (*scores*) obtida nos índices “ taxa de gravidade” e “taxa de frequência”. O índice de “taxa de gravidade”, por incorporar a principal consequência do acidente (morte, invalidez permanente, entre outros), deve ter um peso maior na determinação do indicador deste custo.

A Equação 3.6, proposta pela NIOSH, apresenta uma proposta de classificação do custo relativo a acidentes de trabalho desta fase do processo com bases nos valores obtidos dos KPIs taxa de gravidade (Tab. 3.7) e taxa de frequência (Tab. 3.8).

$$\text{ICA} = 0,65 \text{ Valor do KPI (G)} + 0,35 \times \text{KPI (F}_A) \quad (\text{Eq. 3.6})$$

Portanto, mensuração deste KPI será realizada conforme escala apresentada na Tabela 3.16.

Tabela 3.16: Custo de Acidentes

Valor	Descrição
5	ICA < 0,9
4	1,9 < ICA < 1
3	2,9 < ICA < 2
2	4,9 < ICA < 3
1	ICA > 4,9

3.2.2.2 KPI Custo com Absenteísmo

O índice do absenteísmo reflete diretamente no custo da empresa, em decorrência das ausências de mão-de-obra em relação ao volume de atividade planejada. Conseqüentemente, o custo relativo a este reflete de maneira negativa na instituição. Neste contexto, para determinar o KPI relativo ao índice de custo de absenteísmo baseia-se no valor obtido na Tabela 3.15 (KPI nível de absenteísmo). Ele é mensurado conforme Tabela 3.17.

Tabela 3.17: Custo com Absenteísmo

Valor	Descrição
1	$A_b > 10,1\%$
2	$10\% < A_b < 5,1\%$
3	$5\% < A_b < 2,1\%$
4	$5\% < A_b < 2,1\%$
5	$A_b = 0\%$

3.2.2.3 KPI Custo com Rotatividade

O índice de custo relativo à rotatividade tem como base o valor obtido na Tabela 3.14 (KPI nível de rotatividade).

Assim, para determinar o KPI relativo ao índice de custo de rotatividade baseia-se no valor obtido e sua mensuração ocorre conforme Tabela 3.18.

Tabela 3.18: Custo com Rotatividade

Valor	Descrição
1	Rotatividade > 20%
2	20.1% < Rotatividade < 10%
4	10,1% < Rotatividade < 5%
5	Rotatividade < 5.1%

3.2.2.4 KPI Custo com Treinamento

O KPI relativo ao índice de custo relativo ao treinamento necessário para a execução da operação desta etapa de produção será baseado no valor obtido na Tabela 3.19.

Para obtenção deste KPI, consulta-se o departamento de recursos humanos da empresa para se obter os dados relativos a função dos trabalhadores locados nesta etapa do processo.

Tabela 3.19: Custo com Treinamento

Valor	Descrição
1	Necessita de formação escolar de nível técnico
2	Necessita de treinamento com carga horária acima de 10 horas
3	Necessita de treinamento com carga horária até de 10 horas
4	O aperfeiçoamento técnico é obtido com outros operadores
5	Não necessita de nenhum aperfeiçoamento técnico

3.2.2.5 KPI Custo com Não Conformidade

Para determinar o KPI relativo ao índice de custo relativo a não conformidade, ou seja, ao retrabalho de produtos ou serviços, toma-se por base o valor obtido na Tabela 3.20.

Os dados são obtidos após avaliação do processo produtivo, em que buscou-se identificar se existem esforços despendidos para a realização de tarefas relativas a retrabalho, durante o período de um ano. Considera-se, para esta avaliação, se são disponibilizados equipamentos, mão-de-obra e insumos para a realização de retrabalho.

Tabela 3.20: Custo de Não Conformidade

Valor	Descrição
1	Atividades de retrabalho são realizadas diariamente
2	Atividades de retrabalho são realizadas em períodos mensais
4	Algumas ações esporádicas para realização de atividades de retrabalho no mês
5	Não ação relacionada a retrabalho

3.2.2.6 KPI Custo com Mão-de-Obra

O KPI índice de custo relativo a mão de obra (IMO) é obtido em comparação com o valor médio da mão de obra praticada pela empresa para o nível de operadores, na qual utilizou-se a Tabela 3.11 para levantamento destes valores, e será mensurado conforme a Tabela 3.21.

Tabela 3.21: KPI índice de custo relativo ao custo da mão de obra

Valor	Descrição
1	IMO > 80,1%
2	60,1% > IMO > 80%
3	40,1% > IMO > 60%
4	20,1% > IMO > 40%
5	20% > IMO

3.2.2.7 KPI Custo com Consumo Energia Elétrica

O KPI índice de consumo de energia elétrica (IE) é mensurado conforme a Tab. 3.22. Para obtenção deste KPI, foi analisado e quantificado o consumo elétrico desta etapa do processo e comparado com a etapa de processo com menor consumo de energia elétrica, que foi tido como referência (IEr), em valores percentuais.

Tabela 3.22: Custo com Consumo Energia Elétrica

Valor	Descrição
1	100,1% ≤ IEr
2	75,1% ≤ IEr ≤ 100%
3	50,1 ≤ IEr ≤ 75%
4	0,1 ≤ IEr ≤ 50%
5	IE é o menor valor em % da empresa

3.2.2.8 KPI Custo com Consumo de Água

O KPI relativo ao índice de consumo de água (IA) foi mensurado conforme a Tab. 3.23. Foi analisado e quantificado o consumo água desta etapa do processo e comparado com a etapa de processo com menor consumo de água, que foi tido como referência (IAr), em valores percentuais.

Tabela 3.23: Custo com Consumo de Água

Valor	Descrição
1	$100,1 \leq IAr$
2	$75,1 \leq IAr \leq 100\%$
3	$50,1 \leq IAr \leq 75\%$
4	$0,1 \leq IAr \leq 50\%$
5	IA é o menor valor em % da empresa

3.2.2.9 KPI Custo com Matéria Prima e Insumos

O KPI relativo ao índice de custo relativo ao custo de matéria prima e insumos (IMP) é mensurado conforme a Tabela 3.24. Após uma análise e quantificação do consumo é comparado com a etapa de processo com menor consumo, que foi tido como referência (IMPr), em valores percentuais, durante um período de um ano.

Tabela 3.24: Custo com Matéria Prima

Valor	Descrição
1	$IMP \geq IMPr$
3	$IMP = IMPr$
5	$IMP \leq IMPr$

3.2.3 Pilar Tecnológico

O pilar tecnológico é subdividido em: KPI Nível de Automação

3.2.3.1 KPI Nível de Automação

Dentro de um ambiente fabril, o uso da automação é descrito como a tecnologia empregada para execução de uma ou mais atividades, ou até mesmo a execução de todo um processo sem a necessidade da intervenção humana. Como benefícios, a automação de um

processo, quando realizada de maneira eficaz, resulta no aumento da qualidade e eficiência do mesmo, fornecendo um incremento na produtividade com resultados constantes, além de permitir condições mais seguras e salubres aos operadores.

Considera-se que o nível de automação seja uma prática que contribui para a sustentabilidade do processo, uma vez que proporciona benefícios aos operadores, a redução de resíduos e, em consequência, traz vantagens econômicas. Para a mensuração do nível de automação será adota a escala apresentada na Tabela 3.25. Para a avaliação deste KPI, foi feita uma análise da etapa do processo produtivo.

Tabela 3.25: Automação

Valor	Descrição
1	Sistema totalmente manual
2	Alguns equipamentos automatizados
4	Alguns equipamentos manuais
5	Sistema totalmente automatizado

3.2.3.2 KPI Programa 5S ou similar

A filosofia 5S, em uma empresa tem por princípio a manutenção da limpeza e organização de todas as áreas e recursos a elas inerentes, envolvendo, de um modo geral, todos os funcionários que colaboram no processo, independente do seu nível hierárquico. Seu objetivo é promover variadas ações que contribuam com a qualidade de vida dos trabalhadores, além de reduzir custos, diminuir desperdícios, aumentar a produtividade e contribuir para um ambiente de trabalho mais agradável, seguro e saudável. Para a mensuração do nível de programa 5S ou similar, será adotada a escala apresentada na Tabela 3.26. Para a mensuração deste KPI, foi feita uma análise da etapa do processo produtivo.

Tabela 3.26: 5S ou Similar

Valor	Descrição
1	Nenhum programa implantado
2	Nenhum programa implantado, porem existem práticas executadas
4	Programa implantado, porem os resultados não são satisfatórios
5	Programa implantado, com resultados satisfatórios

3.2.3.3 KPI Programa Kaizen ou Similar

A filosofia Kaizen, em uma empresa, promove constantes melhorias, através de um conjunto de valores que orientam o comportamento do seu quadro de colaboradores. A busca pela melhoria contínua visa à satisfação da organização como um todo, desde os funcionários, clientes internos e externos, e é baseada, em especial, no aumento da produtividade no local de trabalho com a redução e a eliminação da sobrecarga de trabalho; desperdício de tempo, produtos e materiais; e irregularidade nas ações/atividades, enfim, redução e eliminação das perdas. Todos estes elementos contribuem com a evolução empresarial em prol de uma manufatura sustentável.

Na mensuração do nível de programa Kaizen ou similar, será adotada a escala apresentada na Tabela 3.27. Para a mensuração deste KPI, foi feita uma análise da etapa do processo produtivo.

Tabela 3.27: Kaizen ou Similar

Valor	Descrição
1	Programa não implantado na empresa
2	Programa implantado – sem melhorias proposto a etapa do processo
4	Programa implantado, ultima melhoria a mais de 1 ano
5	Programa implantado, melhorias anuais.

3.2.3.4 KPI Gestão da Manutenção

Implantação de planos de ação orientados para a manutenção industrial, são capazes de proporcionar ganhos de eficiência, como i) redução da taxa de acidentes pessoais; ii) elevação das disponibilidades físicas das plantas; iii) redução no orçamento da manutenção e iv) redução de resíduos e retrabalhos.

Para mensuração do nível de gestão de manutenção na etapa do processo analisado, aplicou-se a Tabela 3.28. Para a mensuração deste KPI, é feita uma análise da etapa do processo produtivo, na qual foi analisado o grau de evolução das técnicas relativas à gestão da manutenção.

Tabela 3.28: Gestão da Manutenção

Valor	Descrição
1	Nenhuma gestão implantada, atua de forma emergencial
2	Realiza manutenções corretivas
3	Realiza planejamento de manutenção corretiva
4	Realiza planejamento de manutenção corretiva, preventiva e preditiva
5	Gestão de manutenção consolidado

3.2.3.5 KPI Gestão da Qualidade

A adoção de um sistema de gerenciamento da qualidade é uma decisão estratégica que contribui de forma significativa à organização no sentido de melhorar seu desempenho global e prover uma base sólida para iniciativas de desenvolvimento sustentável.

Para a mensuração do nível de gestão de qualidade no processo estudado, foi adotada a escala apresentada na Tabela 3.29, após uma análise do processo produtivo.

Tabela 3.29: Gestão da Qualidade

Valor	Descrição
1	Nenhuma gestão implantada
3	Sistema de qualidade implantada na empresa, porém as ações nesta etapa do processo não são padronizadas.
5	Todas as ações previstas nesta etapa do processo são padronizadas no plano de qualidade

3.2.3.6 KPI Motores de Alta Performance

A adoção de motores de alto rendimento em substituição aos da linha tradicionais é principalmente justificada na redução do consumo de energia elétrica, além de se destacarem nas vantagens relacionadas a custos de manutenção. De um modo geral, os motores de alto rendimento possuem melhor eficiência, embora seu custo seja maior. No entanto, estes são justificados para utilização acima de 2200h/ano, que proporcionará uma redução de energia favorável na relação dos custos de aquisição, de manutenção e na redução de consumo como benefícios originados. Foi utilizada a Tabela 3.30 para obter o valor do KPI motores de alta performance. Uma análise da etapa do processo produtivo, permitiu a identificação da porcentagem destes equipamentos.

Tabela 3.30: Motores de Alto Rendimento

Valor	Descrição
1	Nenhum motor de alto rendimento instalado
2	Menos que 50% dos motores instalados são de alto rendimento
4	Mais que 50% dos motores instalados são de alto rendimento
5	Todos os motores instalados são de alto rendimento

3.2.3.7 KPI Treinamento Operacional

Investimento em treinamentos de uma equipe para obter um grau de excelência é uma das melhores garantias de sucesso ao longo prazo. Funcionários treinados são mais comprometidos com os objetivos da empresa.

A obtenção deste KPI foi resultante da quantidade de horas de treinamento específicos para a etapa de processo estudada, em que utilizou-se a Tabela 3.31.

Tabela 3.31: Treinamento Operacional

Valor	Descrição
1	Nenhum treinamento registrado no ano
2	Menos de 2 horas de treinamento registrado no ano por funcionário
4	De 2 a 10 horas de treinamento registrado no ano por funcionário
5	Mais de 10 horas de treinamento registrado no ano por funcionário

Para obtenção deste KPI, consulta-se o departamento de recursos humanos da empresa para a coleta das horas perdidas nesta etapa do processo, durante o período de um ano.

3.2.4 Pilar Legal

O pilar legal é subdividido em: KPI Atendimento à NR12, KPI Ações Trabalhistas, etc...

3.2.4.1 KPI Atendimento à NR12 (Item 12.4)

Segundo o item 12.4 da Norma Regulamentadora 12, são consideradas medidas de proteção a serem adotadas nessa ordem de prioridade: a) medidas de proteção coletiva; b) medidas administrativas ou de organização do trabalho; e c) medidas de proteção individual (MTE, 2019).

Neste contexto, o KPI atendimento à NR12 (Item 12.4) foi obtido a partir da aplicação da escala apresentada na Tabela 3.32. Para a mensuração deste KPI, foi feita uma análise da etapa do processo produtivo, na qual foi analisado o grau de atendimento ao item 12.4 da Norma Regulamentadora 12.

Tabela 3.32: NR12.4

Valor	Descrição
1	Não foi evidenciado uso de EPI, proteção coletiva ou medidas administrativas
2	Apenas uso de EPI
4	Uso de EPI e algumas ações administrativas
5	Foi evidenciado uso de EPI, proteção coletiva ou medidas administrativas

3.2.4.2 KPI Ações Trabalhistas

O KPI ações trabalhistas é mensurado pela quantidade de ações trabalhistas impetradas à empresa, exclusivas ao processo estudado, conforme escala apresentada na Tabela 3.33. Para a obtenção das quantidades de ações trabalhistas, é consultado o departamento de recursos humanos, jurídico e administrativo da empresa e coletado o número de ações trabalhistas ocorridas durante o período de cinco anos.

Tabela 3.33: Ações Trabalhistas

Valor	Descrição
1	Mais de 5 ações trabalhistas nos últimos 60 meses
2	De duas a quatro ações trabalhista nos últimos 60 meses
4	Pelo menos uma ação trabalhista nos últimos 60 meses
5	Nenhuma ação trabalhista nos últimos 60 meses

3.2.4.3 KPI Atuações pelo Ministério do Trabalho e Emprego (MTE)

O KPI atuações pelo MTE será mensurado pela quantidade de multas recebidas, exclusivas ao processo estudado, conforme escala apresentada na Tabela 3.34. Para a obtenção deste KPI, consulta-se o departamento administrativo e jurídico da empresa e coleta-se informação relativa a esta etapa do processo, durante o período de cinco anos.

Tabela 3.34: Autuações MTE

Valor	Descrição
1	Mais de 3 autuações pelo MTE nos últimos 60 meses
2	3 autuações pelo MTE nos últimos 60 meses
3	2 autuações pelo MTE nos últimos 60 meses
4	1 autuação pelo MTE nos últimos 60 meses
5	Nenhuma autuação pelo MTE registrada

3.2.4.4 KPI Autuações pelo Ministério do Meio Ambiente (MA)

O KPI autuações pelo MA é mensurado pela quantidade de multas recebidas, conforme escala apresentada na Tabela 3.35. Para a obtenção deste KPI, consulta-se o departamento administrativo e jurídico da empresa para coletar dados relativos a esta etapa do processo, durante o período de 5 anos.

Tabela 3.35: Autuações MA

Valor	Descrição
1	Mais de 3 autuações pelo MA nos últimos 60 meses
2	3 autuações pelo MA nos últimos 60 meses
3	2 autuações pelo MA nos últimos 60 meses
4	1 autuação pelo MA nos últimos 60 meses
5	Nenhuma autuação pelo MA registrada

3.2.4.5 KPI Treinamento Relativo a Segurança do Trabalho

Segundo o item 12.136 da Norma Regulamentadora 12, os trabalhadores envolvidos na operação, manutenção, inspeção e demais intervenções em máquinas e equipamentos devem receber capacitação providenciada pelo empregador e compatível com suas funções. A capacitação deve abordar os riscos a que estão expostos e as medidas de proteção existentes e necessárias, nos termos desta Norma, para a prevenção de acidentes e doenças (MTE, 2019).

Para obtenção do valor do KPI relacionado a este tópico é aplicada a Tabela 3.36, que apresenta uma escala variando de 1 a 5, a escolher. Caso ocorra a existência de vários trabalhadores, será realizada uma média aritmética, para a obtenção do valor deste KPI.

Tabela 3.36: Treinamento Relativo à Segurança do Trabalho

Valor	Descrição
1	Nunca foi treinado
2	Recebeu treinamento informal
3	Recebe menos que 5h de treinamento no ano
4	Recebe entre 5 e 30h de treinamento no ano
5	Recebe mais que 30h de treinamento no ano

3.2.5 Pilar Ambiental

O pilar ambiental é subdividido em: KPI Treinamento em Aspectos Ambientais,

3.2.5.1 KPI Treinamento em Aspectos Ambientais

O KPI treinamento em aspectos ambientais é mensurado pela quantidade de horas de treinamento específico em ações que contribuam com a preservação do meio ambiente, relativas para a etapa de processo estudada. Foi utilizada a escala apresentada na Tabela 3.37.

Para a obtenção deste KPI, consulta-se o departamento de recursos humanos da empresa para a coleta das horas destinadas a treinamentos relativos a aspectos ambientais, nesta etapa do processo, durante o período de um ano. As horas foram estimadas por funcionário envolvido no processo avaliado.

Tabela 3.37: Treinamento em Aspectos Ambientais

Valor	Descrição
1	Nenhum treinamento registrado no ano
2	Menos de 2 horas de treinamento registrado no ano
4	De 2 a 10 horas de treinamento registrado no ano
5	Mais de 10 horas de treinamento registrado no ano

3.2.5.2 KPI Resíduos Perigosos

Segundo a Norma ABNT NBR 10.004 (ABNT, 2004b), a classificação de resíduos sólidos perigosos, está associada às características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade e patogenicidade. Neste contexto a mensuração do KPI resíduos perigosos é apresentada na Tabela 3.38. Para a mensuração deste KPI, foi feita uma avaliação da etapa do processo produtivo.

Tabela 3.38: Resíduos Perigosos

Valor	Descrição
1	Gera produtos considerados perigosos em grandes quantidades
2	Gera produtos considerados perigosos em baixas quantidades
4	Resíduos gerados não são perigosos conforme ABNT NBR 10.004
5	Etapa do processo não gera nenhum resíduo

3.2.5.3 KPI Resíduos Inertes e Não Inertes

Segundo a Norma ABNT NBR 10.004 (ABNT, 2004b), a classificação de resíduos sólidos não perigosos são subdivididos em duas classes, os produtos inertes e não inertes. Estas normas os define como:

- a) Resíduos classe II A - Não inertes são aqueles que possuem propriedades como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
- b) Resíduos classe II B - Inertes são aqueles quando submetidos a um contato dinâmico ou estático com água destilada ou deionizadas, à temperatura ambiente, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

Neste contexto o KPI resíduos inertes e não inertes são obtidos conforme escala apresentada na Tabela 3.39. Para a mensuração deste KPI é feita uma avaliação da etapa do processo produtiva com o objetivo de identificar a existência de tais resíduos.

Tabela 3.39: Resíduos Inertes e Não Inertes

Valor	Descrição
1	Gera resíduos não inertes em grandes quantidades
2	Gera resíduos não inertes em baixas quantidades
3	Gera resíduos inertes em grandes quantidades
4	Gera resíduos inertes em baixas quantidades
5	Etapa do processo não gera nenhum resíduo

3.2.5.4 KPI Emissão Atmosférica

As resoluções CONAMA nº 382 e 436, estabelecem os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas, em que se fixa limites específicos de emissão para cada tipo de fonte ou combustível utilizado.

Aplicando a Tabela 3.40, foi possível a mensuração do KPI emissões atmosféricas.

Tabela 3.40: Emissões Atmosféricas

Valor	Descrição
1	Valores emitidos acima da norma
3	Valores emitidos dentro da norma
5	Etapa do processo não emite

3.2.5.5 KPI Plano de Emergência

O Plano de Emergência é um conjunto de planos de ação previamente elaborados para atender a ocorrência de acidentes com produtos químicos. O objetivo é estabelecer estratégias e requisitos mínimos de planejamento das ações que serão empregadas no atendimento de situações de emergências entre órgãos e instituições públicas, privadas e comunidade.

O KPI Plano de Emergência é obtido conforme escala apresentada na Tabela 3.41.

Para a mensuração deste KPI, foi feita uma avaliação da etapa do processo produtiva que se buscou evidências da existência de planos de emergências e foram realizadas auditorias a fim de verificar a aderência ao plano proposto.

Tabela 3.41: Plano de Emergência

Valor	Descrição
1	Inexistência de um de plano e ações emergência
2	Funcionários conhecem as ações (mas não existe plano de emergência implantado)
4	Existência de plano de emergência (sem evidência de treinamento)
5	Plano de emergência implantado e todos os funcionários treinados

3.2.5.6 KPI Eficiência no Uso de Água

A aplicação da Tabela 3.42, fornece a forma de obter o KPI eficiência no uso de água.

Para a mensuração deste KPI, foi feita uma avaliação da etapa do processo produtivo em que se objetivou a detecção de ações que contribuam para ações de eficiência no uso de água, como a presença de desperdícios (como vazamentos) e a existência de mecanismo de reuso.

Tabela 3.42: Uso de Água

Valor	Descrição
1	Nenhuma água é reaproveitada
2	Quantidade grande de água não reaproveitada
4	Quantidade insignificante de água não reaproveitada
5	Reaproveitamento total de água na etapa do processo

3.2.5.7 KPI Geração de Águas Residuais

O KPI eficiência no uso de água, é obtido conforme escala apresentada na Tabela 3.43. Para a mensuração deste KPI, foi feita uma avaliação da etapa do processo produtivo em que se objetivou a detecção da geração de águas residuais.

Tabela 3.43: Geração de Água Residuais

Valor	Descrição
1	Grandes quantidades geradas com necessidade de tratamento
2	Baixas quantidades de águas residuais geradas com necessidade de tratamento
4	Águas residuais geradas podem ser descartas sem prejuízo ao meio ambiente
5	Etapa do processo não gera águas residuais

3.2.5.8. KPI Descarte de Águas Residuais

O KPI Descarte de Águas Residuais é mensurado conforme escala apresentada na Tabela 3.44. Para a mensuração deste KPI, foi feita uma avaliação da etapa do processo produtivo a qual objetivou a detecção e destinação das mesmas.

Tabela 3.44: Descarte Águas Residuais

Valor	Descrição
1	Geração sem destinação dentro da própria empresa
3	Geração com destinação dentro da própria empresa
5	Etapa do processo não gera águas residuais

3.2.5.9 KPI Emissão de Gás de Efeito Estufa (GEE)

O KPI GEE foi calculado utilizando a metodologia ABNT ISO/TS 14067 (ABNT, 2013).

Como cada etapa do processo tem sua particular característica, foi analisado e determinado o limite de controle por meio da identificação das atividades a serem consideradas no cálculo da pegada de carbono, procedeu-se à escolha de dados referentes às emissões de GEE relativas a cada uma das atividades durante os doze meses.

Com os dados obtidos e tratados, opera-se a conversão em kg de CO₂eq utilizando-se a metodologia da norma. A Equação 3.7 representa a fórmula genérica utilizada no cálculo da pegada de carbono da empresa.

$$PG \text{ (kg de CO}_{2\text{eq})} = \Sigma GEE \times PAG \quad \text{Eq. 3.7}$$

Sendo que: GEE representa as emissões do gás com efeito de estufa da atividade analisada (kg); PAG é o potencial de aquecimento global do gás com efeito de estufa extraído da ABNT ISO/TS 14067 (ABNT, 2013).

Os resultados do cálculo da pegada de carbono foram agrupados de acordo com o tipo de emissão (diretos ou indiretos) associado a cada uma das atividades consideradas, conforme descrito na ABNT ISO/TS 14067 (ABNT, 2013).

Assim, o KPI GEE será obtido em comparação em porcentagem ao valor do GEE_R (GEE de referência), ou seja, do GEE de outra opção de processo de fabricação distinta ao processo analisado. O valor será mensurado conforme a Tabela 3.45.

Tabela 3.45: GEE

Valor	Descrição
1	$2 \text{ GEE}_R \leq \text{GEE}$
2	$1,51 \text{ GEE}_R \leq \text{GEE} \leq 2 \text{ GEE}_R$
3	$1,21 \text{ GEE}_R \leq \text{GEE} \leq 1,5 \text{ GEE}_R$
4	$\text{GEE}_R \ 0,1 \leq \text{GEE} \leq 1,2 \text{ GEE}_R$
5	GEE é o menor valor em % da empresa

3.3 Consolidação dos Resultados dos KPIs

Após a mensuração dos 42 KPIs, obtém-se o nível de sustentabilidade de cada KPI. Eles são apresentados em forma de relatório, conforme a Figura 4.2 e as Tabelas 4.1 a 4.5. O nível de sustentabilidade de cada KPI pode variar gradativamente de 1 (um), que corresponde a pior situação; até o valor 5, melhor situação.

O valor do índice de sustentabilidade de cada pilar (social (ISs), ambiental (ISa), econômico (ISe), tecnológico (ISt) e legal (ISI)), é obtido pelas equações Eq. 3.7 a Eq. 3.11, e, a partir destas, obtém-se o relatório apresentado na Figura 3.2 (b), contendo as variações de 1 (pior situação) a 5 (melhor situação).

$$ISs = \Sigma (KPIsociais) \div 12 \quad \text{Eq. 3.7}$$

$$ISe = \Sigma (KPIeconômicos) \div 6 \quad \text{Eq. 3.8}$$

$$ISa = \Sigma (KPIambientais) \div 10 \quad \text{Eq. 3.9}$$

$$ISt = \Sigma (KPItecnológicos) \div 7 \quad \text{Eq. 3.10}$$

$$ISI = \Sigma (KPIlegais) \div 5 \quad \text{Eq. 3.11}$$

Por fim, o valor da mensuração do índice de sustentabilidade geral (ISG), como apresentado na Figura 3.2 (c), é calculado pela média aritmética dos indicadores ISs, ISe, ISa, ISt e ISI, possibilitando assim o gerenciamento multidimensional, em vários níveis da gestão (em termos de KPI, de pilar e índice geral de sustentabilidade), tais como tomadas de decisões mais rápidas, iniciativas para o desenvolvimento de melhorias as quais certamente resultam em benefícios para a organização. Nas Figuras 4.1 e 4.5 estes relatórios são apresentados.

3.4 Análise Estatística

A análise estatística dos resultados, dos valores obtidos para cada pilar (ISs, ISe, ISa, ISt e ISI) e para o IGS foi feita a partir de conceitos de análise de variância e teste de hipótese para uma análise de igualdade de médias para um nível de significância de 5%. Nesse caso, quando a significância estatística (p) é maior que 0,05 as variáveis são consideradas estatisticamente iguais; quando é menor, estas são consideradas estatisticamente diferentes. Para estes cálculos utilizou-se Análise de Variância (ANOVA), “t de Student”.

CAPITULO VI

Aplicação em Campo

Este capítulo está subdividido em duas seções. Na primeira seção será feita uma pesquisa juntos a profissionais e pesquisadores com o objetivo de consultar profissionais que atuam com mensuração de índices de sustentabilidade para avaliar o grau de aceitação dos KPIs escolhidos neste estudo. Na segunda seção, a metodologia será aplicada em uma etapa do processo de fabricação no setor sucroalcooleiro e terá como objetivo a aplicação prática do modelo proposto, no chão de fábrica.

A fim de comparar o grau de sustentabilidade para os processos SMAW e FCAW são apresentados os resultados para cada KPI analisado. Também são realizadas análises pertinentes a cada processo de manufatura (método e forma de aplicação de solda, na forma de aplicação de revestimento duro, nas moendas.

4.1 Resultados Obtidos na Aplicação da Metodologia em Campo

A mensuração de índice de sustentabilidade no meio empresarial envolve principalmente 3 atores, os pesquisadores que desenvolvem os modelos, os consultores que aplicam e por fim os empresários que são os clientes finais.

Neste contexto, foram solicitados a 2 pesquisadores, a 2 diretores de Empresas e a 3 consultores empresariais que atuam em áreas relacionadas a sustentabilidade, uma ponderação com as seguintes notas de 1 (nenhuma relevância), 2 (fraca relevância) e 4 (significativa relevância) e 5 (forte relevância) para se avaliar se os KPIs escolhidos pelos autores tinham correlação e poderiam servir de base para mensuração de sustentabilidade

de uma etapa produtiva. O questionário e um resumo da pesquisa são apresentados nos Apêndice 1 e 2, respectivamente.

Participaram desta consulta:

- a) Consultores: sr. Beat Grunier, BDS Consulting, diretor; sr. Bruno Scalet, Seed Solution, diretor; Isabela Isa, Energy and Sustainability, diretora.
- b) Empresários: sr. Renato Magnino Passaglia, Delta Sucroenergia, diretor; sr. Alexandre Roma, WEG SA, diretor de engenharia e pesquisa
- c) Pesquisadores: PhD. Gustavo Otero Prado, UFTM; PhD Amauri Hassui, UNICAMP.

Como apresentado no Apêndice 2, segundo os participantes da pesquisa, os KPIs escolhidos para formar a base da mensuração do índice de sustentabilidade receberam uma aprovação 82,1%.

4.2 Resultados Obtidos na Aplicação da Metodologia em Campo

Os dados coletados em campo para mensuração do valor do índice de sustentabilidade de cada KPI, foram obtidos em duas empresas do setor sucroalcooleiro, (as empresas não permitiram suas identificações no estudo).

Todos os dados obtidos pertencem ao período de junho 2018 a junho de 2019, durante a campanha das usinas.

Para a aplicação de revestimento (chapisco) pelo processo SMAW são necessários 12 (doze) soldadores, sendo um para cada terno de moenda, que trabalham em dois turnos. Para a aplicação de revestimento pelo processo FCAW é necessário 1 (um) técnico em mecânica com experiência em soldas que trabalha apenas em um turno.

Nos itens a seguir é apresentada a mensuração dos 42 KPIs e são obtidos o nível de sustentabilidade de cada KPI. O nível de sustentabilidade de cada KPI pode variar gradativamente de 1 (um) que corresponde a pior situação até o valor 5 sendo esta à melhor situação.

4.2.1 KPI Insalubridade

Conforme metodologia apresentada na seção 3.2.1.1 do Capítulo II deste estudo, O KPI Insalubridade foi avaliado nos dois ambientes de trabalho (dos processos FCAW e SMAW). Foram obtidos os seguintes resultados, demonstrados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Avaliações Ambientais

Agente	Processo	Avaliação Ambiental	Insalubridade
Ruído Contínuo ou Intermitente	SMAW	93 dB (A)	Não (*)
Ruído Contínuo ou Intermitente	FCAW	95 dB (A)	Não (*)
Ruídos de Impacto	SMAW	98 dB (A)	Não (*)
Ruídos de Impacto	FCAW	90 dB (A)	Não (*)
Exposição ao Calor	SMAW	Leve – IBUTG 24,7 °C	Não
Exposição ao Calor	FCAW	Leve – IBUTG 28,1 °C	Não
Poeiras Minerais	SMAW	Não	Não
Poeiras Minerais	FCAW	Não	Não
Agentes Químicos	SMAW	Fumos Metálicos	Não (*)
Agentes Químicos	FCAW	Fumos Metálicos	Não (*)
Vibração Membros Sup.	SMAW	0,9 m/s ²	Não
Vibração Membros Sup.	FCAW	1,3 m/s ²	Não
Vibração Corpo Inteiro	SMAW	0,1 m/s ²	Não
Vibração Corpo Inteiro	FCAW	0 m/s ²	Não
Frio	SMAW	Qualitativo	Não
Frio	FCAW	Qualitativo	Não
Umidade	SMAW	Qualitativo	Não
Umidade	FCAW	Qualitativo	Não
Radiação Não Ionizante	SMAW	Qualitativo	Não (*)
Radiação Não Ionizante	FCAW	Qualitativo	Não (*)

Legenda: (*) atenuada pelo uso de equipamento de proteção individual

Após as análises ambientais, em posse destes dados e com auxílio das Tabela 3.1 é possível determinar o KPI Risco de acidentes para a aplicação de chapisco nas operações SMAW e FCAW, sendo que:

i) SMAW: Após análise da Tabela 4.1, pode-se verificar que a atividade laboral exercida nesta etapa de produção não é considerada insalubre, conforme Tabela 3.1.

Resultado: Valor do KPI Risco de Acidentes é 5.

ii) FCAW: Conforme apresentado na Tabela 4.1, pode-se verificar que a atividade laboral exercida nesta etapa de produção não é considerada insalubre, conforme Tabela 3.1.

Resultado: Valor do KPI Risco de Acidentes é 5.

iii) COMENTÁRIOS: Não foram observados agentes que provocariam danos à saúde dos trabalhadores, conforme norma NR-15, tanto pelo fato dos agentes avaliados não ultrapassarem o limite de tolerância como também pelo fato de que houve adoção de medidas de proteção coletivas ou individuais, neutralizando a condição insalubre. Assim ambos os processos analisados obtiveram valor máximo na mensuração do índice de sustentabilidade para este KPI. Apenas a agente exposição ao calor, apresentado na Tabela 4.1, foi mensurado no limiar da caracterização de insalubridade no processo SMAW, visto que durante o período de safra ocorrem alterações de temperatura do ambiente de trabalho. Porém esta situação poderá ser facilmente controlada com a adoção de descanso, conforme previsto no anexo e na NR-15.

Com base no disposto na NR-15 (MTE, 2019), os processos analisados que propiciam ambientes mais seguros e saudáveis promovem melhoria nos índices de sustentabilidade.

4.2.2 KPI Riscos de Acidentes

i) SMAW: No período compreendido, houve dois acidentes de trabalho relacionados a aplicação do chapisco por este processo. Nestes acidentes, as lesões foram classificadas pela empresa como leves. Assim, com auxílio da Tabelas 3.2, obtém-se: MARGINAL (II). Do período de um ano, e a partir da Tabela 3.3, obtém-se: POUCO PROVÁVEL (C). Da Tabela 3.4 obtém-se RISCO MODERADO.

Resultado: Valor do KPI Risco de Acidentes é 3, obtido a partir da Tabela 3.5.

ii) FCAW: Para este processo não foi evidenciado nenhum acidente ocorrido no período de um ano, assim das Tabelas 3.2 e 3.3 obtém-se: DESPREZÍVEL (I) e EXTREMAMENTE REMOTA (A). Da Tabela 3.4 obtém-se o risco DESPREZÍVEL.

Resultado: Valor do KPI Risco de Acidentes é 5, obtido da Tabela 3.5.

iii) COMENTÁRIOS: O índice de sustentabilidade do processo SMAW foi menor. Esse fato pode ser explicado devido à maior quantidade de trabalhadores envolvidos na operação, comparado ao processo FCAW. A maior quantidade de soldadores exposta aos riscos presentes no ambiente de trabalho aumenta a probabilidade de ocorrência de acidentes de trabalho. Considerando a legislação vigente, a Norma Regulamentadora 12, em seu item 12.4, as ações adotadas para a preservação da saúde dos trabalhadores e a prevenção de acidentes considera a seguinte ordem de prioridade: a) medidas de proteção coletiva; b) medidas administrativas ou de organização do trabalho; e c) medidas de proteção individual (MTE, 2019). Neste contexto, o emprego de automação do processo, como ocorre no processo FCAW, vai ao encontro das ações de mitigação de acidentes e doença do trabalho.

De acordo com Cicco e Fantazzini (2003), a Análise Preliminar de Riscos se apresenta como uma ferramenta para a mitigação dos riscos de acidentes de trabalho. A aplicação desta metodologia promoveu um ambiente mais saudável e seguro. Com base no pilar social do TBL, tais ambientes corroboram com este indicador de sustentabilidade.

4.2.3 KPI Treinamento

Consulta-se o departamento de recursos humanos da empresa, que informou a quantidade de horas de treinamento ministradas aos trabalhadores. De posse destes dados e com auxílio das Tabelas 3.6 é possível determinar o KPI Treinamento para a aplicação de chapisco nas operações SMAW e FCAW, sendo que:

i) SMAW: Dos 12 soldadores, 11 deles haviam participado de um curso de reciclagem, totalizando 11h de treinamento. Assim a média de treinamento por funcionário é 0,91 horas.

Resultado: Valor do KPI Treinamento é 1, obtido da Tabela 3.6.

ii) FCAW: O técnico recebeu um treinamento com carga horária de 20 horas.

Resultado: Valor do KPI Treinamento é 4, obtido da Tabela 3.6.

iii) **COMENTÁRIOS:** O índice de sustentabilidade do processo SMAW foi menor, e esse fato é explicado pelo fato de que o processo FCAW, que se apresenta como um processo automatizado, emprega equipamentos que necessitam de mais treinamento. Este fato propicia um melhor índice de sustentabilidade ao processo FCAW. Na mensuração deste KPI, notou-se que não ocorre investimento em treinamentos para os operadores de SMAW, ações estas que poderiam gerar melhores resultados de desempenho de indivíduos e grupos em ambiente organizacional e, conseqüentemente, elevariam o valor do índice de sustentabilidade deste KPI. A excelência só é obtida quando existirem investimentos no campo da gestão de pessoal, treinamento e desenvolvimento, as quais contribuem diretamente para a melhoria deste indicador de sustentabilidade.

4.2.4 KPI Nível de Escolaridade

Para obtenção destes dados, consultou-se o departamento de recursos humanos da empresa. De posse destes dados e com auxílio das Tabelas 3.7 é possível determinar o KPI Nível de Escolaridade, sendo que:

i) SMAW: Dos 12 soldadores, 4 possuíam escolaridade com nível de ensino fundamental completo e o restante incompleto, assim obteve-se uma média de 2,33.

Resultado: Valor do KPI nível de escolaridade do trabalhador é 3, obtido da Tabela 3.7.

ii) FCAW: Operador possuía titulação em técnico em mecânica.

Resultado: Valor do KPI nível de escolaridade do trabalhador é 5, obtido da Tabela 3.7.

iii) **COMENTÁRIOS:** O índice de sustentabilidade do processo SMAW foi menor, e esse fato é explicado pelo fato de que a operação de aplicação de solda por eletrodo revestido, em especial a aplicação de chapisco em moendas, não demanda muito conhecimento, segundo as afirmações dos gerentes de produção da empresa. Assim, são contratados soldadores, os quais, na maioria dos casos, aprenderam a profissão no próprio chão de fábrica. Já para o processo FCAW, como existe a necessidade de operação de equipamentos como PLC e IHM, a empresa contratou um técnico em mecânica. Na mensuração deste KPI, notou-se que a não exigência de contratação de mão de obra com escolaridade específica configura-se um paradigma erroneamente empregado pelos gestores, pois além de melhorar os resultados de desempenho de indivíduos e grupos em

ambiente organizacional, também contribuiriam de forma a melhorar índices econômicos, diretamente relacionados à qualidade, conforme evidenciado no item 4.2.3.5. Além de resíduos perigosos ficou evidenciado também um alto índice de resíduos metálicos (sobras de eletrodos), muitas técnicas de gerenciamento dos processos de soldagem poderiam contribuir para a redução desses resíduos, cita-se como exemplo a adequação da velocidade de soldagem, tensão de soldagem entre outros parâmetros.

A gestão de contratações que estabelece critérios mínimos de escolaridade promove a obtenção de melhores resultados operacionais. Assim, este KPI contribui de forma significativa para a melhoria deste indicador de sustentabilidade.

4.2.5 KPI Taxa de Gravidade

Após uma consulta ao Serviço Especializado de Engenharia de Segurança do Trabalho (SEESMT) e com auxílio das Tabelas 3.8 e Eq. 3.1 é possível determinar:

i) SMAW: Dos 2 acidentes leves ocorridos, sem tempo perdido durante o período analisado, obteve-se uma taxa de gravidade de valor 0 (zero).

Resultado: Valor do KPI Taxa de Gravidade é 5, obtido da Tabela 3.8.

ii) FCAW: Neste caso, como nenhum acidente ocorrido sem tempo perdido durante o período analisado foi detectado, obteve-se uma taxa de gravidade de valor 0 (zero).

Resultado: Valor do KPI Taxa de Gravidade é 5, obtido da Tabela 3.8.

iii) COMENTÁRIOS: O valor do indicador de sustentabilidade do processo SMAW foi igual ao do processo FCAW. Esse fato é explicado devido aos acidentes registrados não caracterizarem uma lesão grave, pois ambos os acidentes não provocaram danos que resultaram em lesão permanente ou morte de trabalhadores. Porém, cabe ressaltar que o ambiente de trabalhos (área dos ternos de moenda) é considerado de risco elevado, no qual é possível obter registros de acidentes graves em outras usinas. Considerando que a taxa de gravidade leva em conta a exposição ao risco, quanto maior a quantidade de trabalhadores expostos a um ambiente de trabalho com maior grau de risco, maior a gravidade destes acidentes. Neste contexto, o processo FCAW, por utilizar apenas um operador e este apenas realizar a montagem do equipamento ficando a maior parte do tempo fora da área de risco, contribui de forma significativa para o valor alto deste indicador de sustentabilidade.

A mensuração do valor da taxa de gravidade, conforme norma NBR 14280 (ABNT, 2001), contribui de forma significativa para a melhoria deste indicador de sustentabilidade, garantindo um gerenciamento de riscos.

4.2.6 KPI Taxa de Frequência de Acidentes

Estes dados foram obtidos no SEESMT e no departamento de recursos humanos (RH) da empresa. Com estes dados e com auxílio das Tabelas 3.9 e Eq. 3.2 é possível determinar o KPI Taxa de Frequência de Acidentes:

i) SMAW: Dos 2 acidentes leves ocorridos (obtido junto ao SEESMT), e das 18.723,84 horas-homem de exposição ao risco (obtido junto ao RH), utilizando a Eq. 3.2, obteve-se uma taxa de frequência de acidentes de 106,81.

Resultado: Valor do KPI Frequência de Acidentes é 4, obtido da Tabela 3.9.

ii) FCAW: Neste caso, como nenhum acidente ocorrido sem tempo perdido durante o período analisado, assim obteve-se uma taxa de gravidade de valor 0 (zero).

Resultado: Valor do KPI Frequência de Acidentes é 5, obtido da Tabela 3.9.

iii) COMENTÁRIOS: O índice de sustentabilidade do processo SMAW foi menor, e esse fato é explicado pelas ocorrências dos dois acidentes de trabalho ocorrido no período. Neste caso, ambos os acidentes não provocaram danos que poderiam resultar lesão permanente ou morte de trabalhadores, porém cabe ressaltar que o ambiente de trabalho(área dos ternos de moenda) é considerado de risco elevado, haja visto os registros de acidentes graves em outras usinas. Considerando que a taxa de frequência leva em conta o tempo de exposição ao risco, quanto maior a quantidade de trabalhadores expostos a um ambiente de trabalho com maior grau de risco, maior o reflexo na quantidade de acidentes, ou seja, na frequência de ocorrência de acidentes. Neste contexto, o processo FCAW, por utilizar apenas um operador e este apenas realizar a montagem do equipamento ficando a maior parte do tempo fora da área de risco, contribui de forma significativa para a elevação do valor deste indicador de sustentabilidade. A mensuração da Taxa de Frequência, com base na NBR 14280 (ABNT, 2001), eleva os índices do indicador de sustentabilidade, garantindo uma gestão de riscos que profere à organização um ambiente seguro e saudável, vindo dao encontro das melhorias nos ambientes de trabalho.

4.2.7 KPI Grau de Satisfação

Nesta seção é apresentada a mensuração do KPI grau de satisfação, sendo que os dados foram obtidos após a aplicação de um questionário contendo 3 perguntas. Participaram desta enquete: 12 funcionários que atuavam na operação de SMAW, 2 encarregados do setor (SMAW e FCAW), 2 funcionários que realizavam operações próximas a aplicação de chapisco e o técnico da operação FCAW.

De posse da média aritmética atribuída por todos os entrevistados e da Tabela 3.10, é possível determinar o KPI risco de acidentes para a aplicação de chapisco nas operações SMAW e FCAW, sendo que:

- i) SMAW: Média da pesquisa referente a operação foi 3,5

Resultado: Valor do KPI Grau de Satisfação é 4, obtido da Tabela 3.10.

- ii) FCAW: Média da pesquisa referente a operação foi 3,8

Resultado: Valor do KPI Grau de Satisfação é 5, obtido da Tabela 3.10.

iii) COMENTÁRIOS: A avaliação de Desempenho 360º se apresenta como uma ferramenta que propicia aos gestores das empresas medir o grau de satisfação de suas equipes. O índice de sustentabilidade do processo SMAW foi menor, e notou-se que quando as pesquisas foram feitas diretamente aos operadores envolvidos na tarefa o valor médio obtido foi maior, comparado aos valores médios de seus líderes e de outros colaboradores que realizaram tarefas no entorno da operação analisada. Já no processo FCAW não houve uma discrepância entre os colaboradores diretamente envolvidos na operação analisada e dos outros entrevistados. Faz-se necessário uma melhor investigação deste item, com o aprimoramento das questões avaliadas no questionário proposto.

4.2.8 KPI Nível Salarial

Neste KPI foram comparados os valores salariais dos trabalhadores que aplicam o revestimento metálico com aos demais trabalhadores da empresa, em porcentagem. Os dados foram obtidos junto ao departamento de recursos humanos. Com estes dados foi aplicada a Tabela 3.11, e mensurado o KPI aqui analisado:

i) SMAW: Média de rendimentos de um soldador do processo SMAW é US\$ 279,2 e a média do operador de maior salário da empresa é US\$ 1.045,60 referente a um técnico de instrumentação sênior, ou seja 26,7%.

Resultado: Valor do KPI Nível Salarial é 2, obtido da Tabela 3.11.

ii) FCAW: Média de rendimentos de um soldador do processo FCAW é US\$ 2.150,50, neste caso específico, o maior salário entre os operadores.

Resultado: Valor do KPI Nível Salarial é 5, obtido da Tabela 3.11.

iii) COMENTÁRIOS: O índice de sustentabilidade do processo SMAW foi menor, e esse fato é explicado pela baixa qualificação dos operadores, item já discutido na seção 4.2.4 e 4.4.8 deste capítulo. Em relação ao valor atribuído ao operador FCAW deve-se considerar aqui que houve reaproveitamento de um colaborador da empresa que já recebia um salário de nível técnico. Sob outro ponto de vista, percebe-se que no contexto geral existe um custo salarial maior para se manter o processo SMAW, em virtude da quantidade de colaboradores envolvidos nessa atividade. Este item é apresentado e discutido no item 2.4.18. Existe um impacto da ponderação deste KPI quando se discute a empregabilidade, pois a operação FCAW necessita de apenas um colaborador para executar a função comparada ao processo SMAW que necessita de 12 colaboradores. Os dois gerentes fizeram a seguinte consideração: os soldadores que durante o período de safra atuam como soldadores são utilizados nos períodos de entressafra e nas paradas da planta em tarefas de manutenção, o que não ocorre com o operador do processo FCAW. Cabe aqui um melhor alinhamento dos objetivos da empresa em relação às estratégias e nela considerar a exposição ao risco, o custo e a disponibilidade de seu quadro operacional. Diretamente interligado às questões de satisfação do trabalhador, este indicador promove uma equidade associada ao pilar social do TBL.

4.2.9 KPI Periculosidade

Neste KPI foram utilizados os dados obtidos na Tabela 4.1. Nesta, foi analisada a quantidade de agentes insalubres e uma avaliação nos locais de trabalho para identificar os agentes perigosos que os trabalhadores estão expostos e com auxílio da Tab. 3.12 é mensurado o KPI:

i) SMAW: Com o exposto na Tabela 3.1 e na avaliação ambiental realizada no local que a atividade laboral é executada, pode-se concluir que nenhum agente insalubre ou perigoso foi detectado.

Resultado: Valor do KPI Periculosidade é 5, obtido da Tabela 3.12.

ii) FCAW: Com o exposto na Tabela 3.1 e na avaliação ambiental realizada no local que a atividade laboral é executada, pode-se concluir que nenhum agente insalubre ou perigoso foi detectado.

Resultado: Valor do KPI Periculosidade é 5, obtido da Tabela 3.12.

iii) COMENTÁRIOS: Nota-se que o valor do índice de sustentabilidade foi igual para os dois processos, tanto pelo fato dos agentes não ultrapassarem o limite de tolerância ou pelo fato de que houve adoção de medidas de proteção coletivas ou individuais.

Apesar dos valores obtidos serem semelhantes, vale a consideração da exposição ao risco, ou seja processo com menores quantidades de trabalhadores e menores exposições ao risco de acidente. Segundo a avaliação com base na NR-15 (MTE, 2019), um ambiente que apresente menos agentes perigosos ou insalubres promovem uma melhoria nas condições de trabalho dos funcionários das empresas, promovendo assim melhores índices de sustentabilidade.

4.2.10 KPI Ergometria

Foi coletada a variação de batimento cardíaco de dois soldadores que operavam o processo SMAW e do técnico que operava o processo FCAW. Com os valores obtidos foi calculado o valor da carga cardiovascular no trabalho (CCV) utilizando a Eq. 3.3. Assim, foi possível obter o valor do KPI Ergometria com auxílio da Tabela 3.13:

i) SMAW: Para o soldador 1, foi possível coletar os seguintes dados: frequência cardíaca em repouso de 72 bpm, frequência cardiovascular de trabalho de 76 bpm e idade de 32 anos. Com estes dados foi possível calcular CCV de 3,4%. Para o soldador 2, foi possível coletar os seguintes dados: frequência cardíaca em repouso de 65 bpm, frequência cardiovascular de trabalho de 70 bpm e idade de 28 anos e com estes dados foi possível calcular CCV de 3,9%.

Resultado: Valor do KPI Ergometria é 5, obtido da Tabela 3.13.

ii) FCAW: Para o soldador 1, foi possível coletar os seguintes dados: frequência cardíaca em repouso de 62 bpm, frequência cardiovascular de trabalho de 68 bpm e idade de 24 anos e com estes dados foi possível calcular CCV de 4,4%.

Resultado: Valor do KPI Ergometria é 5, obtido da Tabela 3.13.

iii) COMENTÁRIOS: Nenhum dos dois processos apresentou variações bruscas de batimento cardíaco dos colaboradores analisados, assim os valores dos índices de sustentabilidade deste KPI foram iguais. Tal fato demonstra que, tanto a atividade FCAW e SMAW, não podem ser consideradas atividades fatigantes. Como pode ser visto na Figura 2.9 em que o trabalhador trabalha em seu maior tempo laboral sentado, conclui-se que nenhum dos processos analisados há atividade fatigante ou penosa.

4.2.11 KPI Nível de Rotatividade

Em uma consulta ao setor de recursos humanos da empresa foi possível o levantamento dos valores de rotatividade. Com auxílio da Eq. 3.4 e da Tab.3.14 foram possíveis as mensurações dos KPIs níveis de rotatividade.

i) SMAW: Rotatividade no período foi 0 (zero).

Resultado: Valor do KPI nível de rotatividade é 5, obtido da Tabela 3.14.

ii) FCAW: Rotatividade no período foi 0 (zero).

Resultado: Valor do KPI Nível de Rotatividade é 5, obtido da Tabela 3.14.

iii) COMENTÁRIOS: No processo FCAW quanto o SMAW, a taxa de rotatividade foi zero no período analisado, porém, a mensuração de indicador é importante para a gestão da empresa, pois valores altos de rotatividade demonstram falhas ocultas. Eventos não desejáveis como quantidade de acidentes, satisfação dos trabalhadores, gestão de cargo e salários podem ser as causas de altos índices de rotatividade, fatos estes que são corroborados por Chiavenato (2002). A mensuração das taxas de sustentabilidade das empresas, como um indicador de sustentabilidade à luz do pilar social do paradigma TBL promove na instituição o dever de garantir equidade.

4.2.12 KPI Nível de Absenteísmo

Em uma consulta ao setor de recursos humanos da empresa foi possível o levantamento dos valores de absenteísmo. Com auxílio da Eq. 3.5 e da Tab.3.15 foram possíveis as mensurações dos KPIs níveis de absenteísmo.

i) SMAW: As horas perdidas registradas foram de 135,68 horas (referente a 16 faltas no período) e horas trabalhadas foram de 20532 horas (referente a 200 dias sobre 12 soldadores). Com auxílio da Eq. 3.5 obteve-se valor de absenteísmo de 0,65%.

Resultado: Valor do KPI Nível de Absenteísmo é 4, obtido da Tabela 3.15

ii) FCAW: Horas perdidas no período foi 0 (zero).

Resultado: Valor do KPI Nível de Absenteísmo é 5, obtido da Tabela 3.15

iii) COMENTÁRIOS: O processo SMAW apresentou um valor menor para este indicador de sustentabilidade, devido ao valor superior da taxa de absenteísmo, comparado ao processo FCAW. Os valores altos podem estar relacionados ao grau de satisfação dos trabalhadores.

4.2.13 KPI Índice de Custo com Acidentes

Para obtenção deste KPI utilizou-se os valores da taxa de gravidade, calculada na seção 4.2.6 e da taxa de frequência de acidentes, calculada na seção 4.2.7 e a Eq. 3.6 para o cálculo do ICA. De posse destes dados foi possível a determinação do KPI com auxílio da Tabela 3.16.

i) SMAW: A taxa de gravidade calculada na seção 4.2.6 foi de zero e a taxa de frequência de acidentes calculada na seção 4.2.7 foi de 106,81, assim pela Eq. 3.6 pode-se definir o ICA de 3,71.

Resultado: Valor do KPI índice de custo com acidentes é 2, obtido da Tabela 3.16.

ii) FCAW: Como a taxa de gravidade (seção 4.2.6) e a taxa de frequência de acidentes (seção 4.2.7) foram zero o ICA calculado foi 0 (zero);

Resultado: Valor do KPI índice de custo com acidentes é 5, obtido da Tabela 3.16.

iii) **COMENTÁRIOS:** No processo SMAW apresentou um valor menor para este indicador em razão dos acidentes ocorridos no período que elevaram a taxa de frequência. Os custos relativos aos acidentes são computados diretamente e indiretamente nas empresas. Os primeiros são os valores gastos com os acidentados e com os danos às instalações, já os indiretos refletem nos custos operacionais em deixar de produzir ou reduzir a capacidade de produção. Considerando o pilar econômico do TBL, os acidentes de trabalho afetam diretamente os índices de sustentabilidade das organizações.

A metodologia adotada é baseada na proposta da NIOSH (1999), se apresenta como uma medida capaz de mensurar este indicador e apresenta a relação entre custo, acidentes e gestão.

4.2.14 KPI Índice de Custo com Absenteísmo

Para obtenção deste KPI utilizou-se os valores de absenteísmo calculada na seção 4.2.12 e a Tabela 3.17, sendo que:

i) SMAW: O absenteísmo calculado na seção 4.2.12 foi de 0,65%.

Resultado: Valor do KPI Índice de Custo com Absenteísmo é 3, obtido da Tabela 3.17.

ii) FCAW: O absenteísmo calculado na seção 4.2.12 foi de 0%.

Resultado: Valor do KPI Índice de Custo com Absenteísmo é 5, obtido da Tabela 3.17.

iii) **COMENTÁRIOS:** No processo SMAW obteve-se um valor menor para este indicador, e este se justifica pela quantidade de faltas ocorridas no período analisado. Em tese, a instituição realiza uma programação para executar uma determinada produção, e o absenteísmo se reflete em perdas de capacidade produtiva. No caso da aplicação de revestimento duro em ternos de moenda, em uma eventual falta de um soldador, a moenda acaba não recebendo a aplicação de revestimento, resultando em consequências diretas na produção, como perda de extração do caldo, perda de “pega” da moenda (menos cana moída no período) e uma situação que pode levar à necessidade de substituição do rolo da moenda, pois pode ocorrer o desgaste excessivo do revestimento e a nova aplicação não adere quando perde muito a rugosidade e, conseqüentemente, reduz a capacidade de pega e de arraste da cana, aumentando os desperdícios de caldo não extraído e reduzindo a produtividade.

4.2.15 KPI Índice de Custo com Rotatividade

Para obtenção deste KPI utilizou-se os valores de rotatividade calculada na seção 4.2.11 e a Tabela 3.18, sendo que:

- i) SMAW: A Rotatividade calculada na seção 4.2.11 foi de 0,65%.

Resultado: Valor do KPI Índice de Custo com Rotatividade é 4, obtido da Tab. 3.18.

- ii) FCAW: A Rotatividade calculada na seção 4.2.11 foi de 0%.

Resultado: Valor do KPI Índice de Custo com Rotatividade é 5, obtido da Tab. 3.18.

iii) COMENTÁRIOS: Os dois processos obtiveram o mesmo valor quando se mensurou este indicador. Porém, cabe ressaltar que o custo com rotatividade interfere negativamente nos custos operacionais da empresa. Pode-se atribuir estes custos negativos a fatores como registro, recrutamento, treinamento, desligamento entre outros, conforme corroborado por Chiavenato (2002).

4.2.16 KPI Índice de Custo com Treinamento

Para obtenção deste KPI foi feita uma consulta à gerência de produção responsável pelo setor, e de posse dessa informação com o auxílio da Tabela 3.19, tem-se:

i) SMAW: É exigido experiência em soldagem e a empresa ministra um treinamento em revestimentos para moendas.

Resultado: Valor do KPI Índice de Custo com Treinamento é 3, obtido da Tab. 3.19.

ii) FCAW: É exigido experiência em soldagem e a empresa ministra um treinamento em revestimentos para moendas.

Resultado: Valor do KPI Índice de Custo com Treinamento é 2, obtido da Tabela 3.19.

iii) COMENTÁRIOS: O processo FCAW apresentou um valor maior comparado ao segundo processo analisado, e este fato é justificado pelo paradigma existente no setor sucroalcooleiro de que o processo SMAW não necessita de muitos aperfeiçoamentos, e que a tarefa de aplicação de chapisco pode ser aprendida no chão de fábrica, sem necessidade de aperfeiçoamento profissional. Porém este paradigma causa desperdício de insumos. São evidenciadas perdas de aproximadamente 80% de metal de adição, além de outros custos desnecessários que poderiam ser reduzidos com o treinamento dos operadores e assim contribuiriam de forma significativa para a sustentabilidade a luz do pilar econômico do paradigma TBL.

4.2.17 KPI Índice de Custo com Não Conformidade

Para obtenção deste KPI foi feita uma consulta à gerência de produção responsável pelo setor, na qual chegou-se à conclusão que a falta de padronização de parâmetros de qualidade impossibilitava o levantamento dos custos de retrabalho. De posse dessa informação com o auxílio da Tabela 3.20, tem-se:

i) SMAW: Não houve registro de retrabalho.

Resultado: Valor do KPI Índice de Custo com Não Conformidade foi 5, obtido da Tabela 3.20.

ii) FCAW: Não houve registro de retrabalho.

Resultado: Valor do KPI Índice de Custo com Não Conformidade é 5, obtido da Tabela 3.20.

iii) COMENTÁRIOS: Os dois processos analisados obtiveram a mesma nota pois não foi evidenciado retrabalho. Porém, este fato é ocultado pela aplicação de revestimento por estimativa, sem considerar um padrão de qualidade previamente específico. Em análise junto aos gerentes fabris das duas empresas ficou evidente a necessidade de padronização e controle das quantidades de número de passes de soldagem por frisos, quantidade de matéria depositado por rolos entres outros parâmetros de controle para levantamentos dos custos de retrabalho. A não determinação destes custos impactam diretamente este indicador de sustentabilidade, pois interfere diretamente no pilar econômico do TBL.

4.2.18 KPI Índice de Custo com Mão de Obra

Para obtenção deste KPI foi feita uma consulta como setor de recursos humanos da empresa, em que se obteve-se o custo relativo a mão de obra desta etapa da operação e foi realizada uma comparação com o valor médio da mão de obra praticada pela empresa em outras etapas do processo produtivo, valores estes sem acréscimos de encargos trabalhistas. Com estas informações e com auxílio da Tabela 3.21, pode-se mensurar o valor do KPI:

i) SMAW: Na operação de revestimento emprega-se 12 funcionários com salários médios de US\$ 279,32, totalizando assim um custo de US\$ 3.831,16. O setor com maior custo de mão de obra informado pela empresa é o ensaue de açúcar que disponibiliza de 24 operadores com salários médios de US\$ 244,04, totalizando um custo de US\$ 5.56,96. A relação entre os dois setores é de 61,99%.

Resultado: Valor do KPI Índice de Custo com Mão de Obra é 2, da Tabela 3.21

ii) FCAW: Na operação de revestimento emprega-se 1 funcionário com salários médios de US\$ 860,10 totalizando assim um custo de US\$ 860,10. O setor com maior custo de mão de obra informado pela empresa é o ensaue de açúcar que disponibiliza de 16 operadores com salários médios de US\$ 260,00, totalizando um custo de US\$ 4.160,00. A relação entre os dois setores é de 20,68%.

Resultado: Valor do KPI Índice de Custo com Mão de Obra é 5, da Tabela 3.21

iii) COMENTÁRIOS: Para a mensuração deste parâmetro de sustentabilidade, que impacta os pilares econômicos e sociais do TBL, fica evidenciado que o processo SMAW obteve um menor valor na mensuração deste indicador. Nota-se que apesar dos custos relativos a etapa de processo, quando comparada a outras etapas de processo dentro da mesma empresa ficaram na faixa de 61,99%. Para o processo FCAW o custo foi avaliado em 20,68% quando analisado pelo mesmo critério. Cabe ressaltar que o dimensionamento da quantidade de funcionários para o processo SMAW poderia ser reduzido se houvesse um investimento em gestão da qualidade e na padronização dos parâmetros de soldagem.

4.2.19 KPI Índice de Custo como Consumo de Energia Elétrica

Para obtenção deste KPI foi feita uma consulta a gerência de produção responsável pelo setor, e de posse dessa informação e com o auxílio da Tabela 3.22, tem-se:

i) SMAW: Este processo utiliza de seis máquinas de solda retificadoras de trifásicas, com potência máxima aparente de 27 KVA, operando em 440 V e 300 A, comparando a etapa de processo de referência, que neste caso adotou-se o processo FCAW, o consumo do processo SMAW é 300% maior.

Resultado: Valor do KPI Índice de Custo com Consumo de Energia Elétrica é 1 obtido da Tabela 3.22.

ii) FCAW: Este processo utiliza de uma máquina de solda MIG com potência máxima aparente de 56 KVA, operando em 440 V e 600 A.

Resultado: Valor do KPI Índice de Custo com Consumo de Energia Elétrica é 5 obtido da Tabela 3.22.

iii) COMENTÁRIOS: Este parâmetro de sustentabilidade impacta os pilares econômicos e ambientais do TBL e foi avaliado que o processo possui uma baixa eficiência energética, estimada em 300% superior ao processo FCAW. Este fato é explicado pela utilização de 6 fontes de soldagem. A falta de padronização e gestão de qualidade poderá contribuir para a elevação dos custos de consumo de energia.

4.2.20 KPI Índice de Custo com Consumo de Água

Para obtenção deste KPI foi feita uma consulta a gerência de produção responsável pelo setor, e de posse dessa informação, com o auxílio da Tabela 3.23, tem-se:

i) SMAW: Esta etapa do processo não tem consumo de água.

Resultado: Valor do KPI Índice de Custo com Consumo de Água é 5, obtido da Tabela 3.23.

ii) FCAW: Esta etapa do processo não tem consumo de água.

Resultado: Valor do KPI Índice de Custo com Consumo de Água é 5, obtido da Tabela 3.23.

iii) COMENTÁRIOS: O valor mensurado para os dois processos foram os mesmos pelo fato de que nenhum dos processos têm consumo de água. Porém, cabe ressaltar que a mensuração deste parâmetro de sustentabilidade impacta os pilares econômicos e ambientais do TBL.

4.2.21 KPI Consumo de Matéria Prima e Insumos

Para obtenção deste KPI foi feita uma consulta a gerência de produção responsável pelo setor, de posse dessa informação com o auxílio da Tabela 3.24, tem-se:

i) SMAW: O custo total para aquisição de 6 fontes de soldagem foi avaliado em US\$ 3.600,00, o custo de insumos foi de US\$ 1.200,00 e o custo da matéria prima US\$ 96.000,00, totalizando US\$ 100.800,00. Este valor corresponde a 49,7% do valor de referência referente ao processo FCAW.

Resultado: Valor do KPI Índice de Custo com Consumo de Matéria Prima e Insumos foi 5, obtido da Tabela 3.24.

ii) FCAW: O custo total para aquisição de 1 conjunto automatizado para soldagem foi avaliado em US\$ 7.000,00, o custo de insumos foi de US\$ 1.200,00 e o custo da matéria prima US\$ 196.000,00, totalizando US\$ 204.204,00.

Resultado: Valor do KPI Índice de Custo com Consumo de Matéria Prima e insumos foi 3, obtido da Tabela 3.24.

iii) COMENTÁRIOS: O processo FCAW apresentou um custo superior ao processo SMAW. Este fato é explicado pelo custo da fonte de soldagem e do valor dos insumos de soldagem. Cabe ressaltar que o processo FCAW, apesar de apresentar um maior custo de aquisição de equipamentos e valor unitário da matéria prima (matérias de adição), possui melhor eficiência no rendimento de deposição, ou seja, menor perda de matéria prima, como discutido no item 4.2.35 deste capítulo.

4.2.22 KPI Nível de Automação

Para obtenção deste KPI aplica-se a Tabela 3.25, e tem-se:

i) SMAW: O processo é manual, com o emprego de 6 fontes de soldagens convencionais de 600 A e 12 soldadores.

Resultado: Valor do KPI Nível de Automação é 1, obtido da Tabela 3.25.

ii) FCAW: O processo é automatizado, utiliza-se um dispositivo mecânico acoplado a um conjunto de equipamento de soldagem, constituído de: a) fonte de soldagem com capacidade de 600 A à 100% de ciclo de trabalho e Unidade de Processamento – PLC,

que aciona e comanda os motores dos eixos de avanço e posicionamento. Tais movimentos são controlados por sensores de posição montados no equipamento. Uma unidade Interface Homem – Máquina (IHM), permite os ajustes necessários de variação de programação que pode ser realizada pelo operador do equipamento de soldagem.

Resultado: Valor do KPI Nvel de Automação é 5, obtido da Tabela 3.25.

iii) COMENTÁRIOS: O processo FCAW apresentou melhor mensuração deste indicador, e este fato é explicado pelo emprego de um processo automatizado. Tal processo se apresenta como o mais eficiente quando se emprega menos mão de obra e possibilita uma melhor padronização dos parâmetros de soldagem que contribuem evitar custos desnecessários para o processo, sendo o mais significativo é matéria de adição (arame tubular). Os benefícios, o aumento da qualidade fornecendo um incremento na produtividade com resultados constantes, além de permitir condições mais seguras e salubres aos operadores. E estes proveitos contribuem diretamente para elevar o nível de sustentabilidade que afetam diretamente os pilares econômicos (evitam custos desnecessários), sociais (geram ambientes mais seguros e salubres) e ambientais (geração de menos resíduos).

4.2.23 KPI Programa 5S (ou similar)

Para obtenção deste KPI foi feita uma consulta a gerência de produção responsável pelo setor, de posse dessa informação com o auxílio da Tabela 3.26, tem-se:

i) SMAW: A empresa possui programa de 5S implantado.

Resultado: Valor do KPI Programa 5S é 5, obtido da Tabela 3.26.

ii) FCAW: A empresa não possui programa de 5S, mas algumas práticas foram evidenciadas no período analisado.

Resultado: Valor do KPI Programa 5S é 2, obtido da Tabela 3.26.

iii) COMENTÁRIOS: O paradigma 5S, quando aplicado aos processos produtivos, contribuem expressivamente para todos os pilares do TBL, sendo que a filosofia tem por princípio a manutenção da limpeza e organização. Assim, tal subsídio, contribui para: i) pilar social: ao contribuir com qualidade de vida dos trabalhadores e promover um ambiente de trabalho mais agradável, seguro e saudável, ii) pilar econômico: ao promover redução de

custos, desperdícios, aumento de produtividade e qualidade, iii) pilar ambiental: na geração de menos poluentes e resíduos.

4.2.24 KPI Programa Kaizen (ou similar)

Para obtenção deste KPI foi feita uma consulta à gerência de produção responsável pelo setor, e de posse dessa informação, com o auxílio da Tabela 3.27, tem-se:

i) SMAW: A empresa não possui programa de Kaizen, mas algumas melhorias foram realizadas no período de entressafra.

Resultado: Valor do KPI Programa Kaizen é 2, obtido da Tabela 3.27.

ii) FCAW: A empresa não possui programa de Kaizen, mas algumas melhorias foram realizadas no período de entressafra.

Resultado: Valor do KPI Programa Kaizen é 2, obtido da Tabela 3.27.

iii) COMENTÁRIOS: Da mesma forma que o paradigma 5S, a filosofia Kaizen, no conceito de buscar sempre a melhoria contínua, contribui expressivamente para todos os pilares do TBL. Durante a safra de 2016/2017, a empresa que utiliza agora o processo FCAW, utilizava anteriormente o processo SMAW, e pode-se afirmar que a migração de um tipo processo para o outro pode ser considerada como uma melhoria contínua, aos moldes da filosofia Kaizen, mesmo que a empresa não tenha implantado o programa em sua planta.

4.2.25 KPI Gestão da Manutenção

Para obtenção deste KPI foi feita uma consulta à gerência de produção responsável pelo setor, e de posse dessa informação, com o auxílio da Tabela 3.28, tem-se:

i) SMAW: A empresa possui PCM (planejamento e controle de manutenção), e ordens de serviços foram evidenciadas no período analisado. Também foi constatado uma programação de manutenção preventiva que monitora as fontes de soldagem.

Resultado: Valor do KPI Gestão da Manutenção é 5, obtido da Tabela 3.28.

ii) FCAW: A empresa possui PCM (planejamento e controle de manutenção), e ordens de serviços foram evidenciadas no período analisado. Foi verificado que as fontes de soldagem são terceirizadas e existe um rodízio de fontes de soldagem programado.

Resultado: Valor do KPI Gestão da Manutenção é 5, obtido da Tabela 3.28.

iii) COMENTÁRIOS: Planos de ação, orientados para a manutenção industrial, são capazes de proporcionar ganhos de eficiência, como i) redução da taxa de acidentes pessoais; ii) elevação das disponibilidades físicas das plantas; iii) redução no orçamento da manutenção e iv) redução de resíduos e retrabalhos. Todos estes aportes contribuem de forma significativa para os pilares do TBL. Tanto no processo SMAW e FCAW, foram evidenciados planejamentos em relação à manutenção corretiva, preventiva e preditiva. Cabe citar o exemplo de uma das empresa analisadas, que executa o processo SMAW, e diariamente mede os valores das correntes elétrica nos portas eletrodos, com o objetivo de garantir que a corrente desejada para a soldagem aos eletrodos revestidos como planejado na parametrização de soldagem.

4.2.26 KPI Gestão da Qualidade

Para obtenção deste KPI foi feita uma consulta à gerência de produção responsável pelo setor, e de posse dessa informação, com o auxílio da Tabela 3.29, tem-se:

i) SMAW: A empresa é certificada pela Norma ISO 9000, porém esta etapa do processo não faz parte do sistema de gestão ou não são padronizadas (não foram evidenciados padrões operacionais).

Resultado: Valor do KPI Gestão da Qualidade é 3, obtido da Tabela 3.29.

ii) FCAW: A empresa é certificada pela Norma ISO 9000, porém esta etapa do processo não faz parte do sistema de gestão ou não são padronizadas (não foram evidenciados padrões operacionais).

Resultado: Valor do KPI Gestão da Qualidade é 3, obtido da Tabela 3.29.

iii) COMENTÁRIOS: Como já mencionado anteriormente, na seção 4.2.17, tanto no processo FCAW quanto no SMAW, não foi evidenciado uma padronização para a atividade de aplicação de revestimento metálico nos rolos de moendas. A falta de adoção destas definições de como deve ser executado o trabalho, pode trazer resultados negativos como: custos adicionais para empresa, geração de resíduos ou até mesmo a ocorrência de acidentes dos trabalhos, entre vários outros eventos não desejáveis. Pode-se evidenciar tal afirmação com um exemplo observado em campo, na operação SMAW, e nesta percebeu-se várias

medidas de restos de eletrodos revestidos, com várias medidas diferentes. Tal registro remete a perdas financeiras para a empresa além do aumento de resíduos que serão descartados.

4.2.27 KPI Motores de Alta Performance

Para obtenção deste KPI foi feita uma verificação no local das aplicações, e de posse dessa informação com o auxílio da Tabela 3.30, tem-se:

- i) SMAW: O processo não emprega motores de alta performance.

Resultado: Valor do KPI Motores de Alta Performance é 1, obtido da Tabela 3.30.

- ii) FCAW: Os motores empregados no sistema automatizado de soldagem são todos de alta performance.

Resultado: Valor do KPI Motores de Alta Performance é 5, obtido da Tabela 3.30.

- iii) COMENTÁRIOS: O emprego de motores de alto rendimento se justifica na redução do consumo de energia elétrica e no custo de manutenção e estas vantagens, comparadas aos motores tradicionais, remetem às melhorias dos índices de sustentabilidade, à luz dos pilares econômicos e ambientais.

4.2.28 KPI Treinamento Operacional

Para obtenção deste KPI foi feita uma verificação no setor de recursos humanos da empresa e uma consulta a gerência de produção responsável pelo setor, e de posse dessa informação com o auxílio da Tabela 3.31, tem-se:

- i) SMAW: Dos 12 soldadores, 11 havia participado de um treinamento sobre aplicação de revestimento na entressafra (totalizando 0,91 horas por funcionário).

Resultado: Valor do KPI Treinamento Operacional é 1, obtido da Tabela 3.31.

- ii) FCAW: O técnico em mecânica recebeu um treinamento de 20h, durante a entressafra.

Resultado: Valor do KPI Treinamento Operacional é 5, obtido da Tabela 3.31.

iii) **COMENTÁRIOS:** O índice de sustentabilidade do processo SMAW foi menor, e esse fato é explicado pelo fato de não ter sido evidenciado nenhum treinamento para os soldadores. Os investimentos no campo da gestão de pessoal, treinamento e desenvolvimento, contribuem para a melhoria deste indicador de sustentabilidade. Um fato observado que ratifica este conceito é que durante as análises em campo, foi solicitado a um soldador que ele sugerisse uma solução para aumentar a quantidade de aplicação de revestimento, e ele sugeriu que fosse elevada a corrente de soldagem. Fato este que demonstra a necessidade de investimento em treinamento, pois a solução dada por ele aumentaria o consumo de eletrodo, mas não aumentaria a eficiência de deposição, provocando assim mais custos desnecessários para a empresa e a elevação da geração de resíduos.

4.2.29 KPI Atendimento a NR12 (item 12.4)

Para obtenção deste KPI foi feita uma verificação no setor de produção, e de posse dessa informação, com o auxílio da Tabela 3.32, tem-se:

i) SMAW: Os 12 soldadores faziam uso de equipamentos de proteção individual e foram evidenciados diversos equipamentos de proteção coletiva.

Resultado: Valor do KPI Atendimento a NR12 (item 12.4) é 5, da Tabela 3.32.

ii) FCAW: O técnico em mecânica fazia uso de equipamentos de proteção individual e foram evidenciados diversos equipamentos de proteção coletiva.

Resultado: Valor do KPI Atendimento a NR12 (item 12.4) é 5, da Tabela 3.32.

iii) **COMENTÁRIOS:** Foram evidenciados que tanto o processo SMAW quanto o FCAW, aplicavam o exigido na Norma NR-12 em seu item 12.4. Cabe ressaltar que tal ação praticada pelas duas empresas vão ao encontro dos pilares sociais (redução de acidentes) e econômicos (redução de custos com acidentes).

4.2.30 KPI Ação Trabalhista

Para obtenção deste KPI foi feita uma verificação no setor de jurídico e recursos humanos da empresa, e de posse dessa informação, com o auxílio da Tabela 3.33, tem-se:

i) SMAW: Foram impetradas 8 ações trabalhistas nos últimos 60 meses.

Resultado: Valor do KPI Ação Trabalhista é 1, obtido da Tabela 3.33.

ii) FCAW: Tal processo de soldagem está sendo empregado na usina há 24 meses e nesse período não houve nenhuma ação trabalhista.

Resultado: Valor do KPI Ação Arabalhista é 5, obtido da Tabela 3.33.

iii) COMENTÁRIOS: Foram evidenciadas 8 ações trabalhistas para o processo SMAW em relação à comparação com o processo FCAW, porém é necessária uma avaliação com períodos semelhantes, o que não ocorreu, devido ao segundo processo operar apenas há dois anos. Mas, ao se analisar a quantidade de processos percebe-se que ela está acima da média mesmo para a empresa analisada. Esse fato pode ser correlacionado a satisfação dos trabalhadores, faixa salarial e ambiente de trabalho entre outros aspectos. Assim este KPI interfere de forma significativa nos pilares econômicos (relacionados aos custos processuais), e aos pilares sociais.

4.2.31 KPI Autuações pelo Ministério do Trabalho (MTE)

Para obtenção deste KPI foi feita uma pesquisa junto ao setor jurídico da empresa, e de posse dessa informação com o auxílio da Tabela 3.34, tem-se:

i) SMAW: Nenhuma autuação foi registrada nos últimos 60 meses.

Resultado: Valor do KPI Autuações pelo Ministério do Trabalho é 5, da Tab. 3.34.

ii) FCAW: Nenhuma autuação foi registrada nos últimos 60 meses.

Resultado: Segundo a Tabela 3.34 o valor obtido é 5.

iii) COMENTÁRIOS: Autuações relacionadas ao ministério dos trabalhos remetem a problemas relacionados ao pilar social e tem consequências no pilar econômico (multas). Nenhum dos dois processos sofreram algum tipo de autuação, porém fica notório que existe pontos a serem melhorados, como foi verificado no item 4.2.30 no qual foram evidenciadas ações trabalhistas.

4.2.32 KPI Autuações pelo Ministério do Meio Ambiente (MA)

Para obtenção deste KPI foi feita uma pesquisa junto ao setor jurídico da empresa, e de posse dessa informação, com o auxílio da Tabela 3.35, tem-se:

- i) SMAW: Nenhuma autuação foi registrada nos últimos 60 meses.

Resultado: Valor do KPI Atuações pelo Ministério do Meio Ambiente é 5, obtido da Tabela 3.35.

- ii) FCAW: Nenhuma autuação foi registrada nos últimos 60 meses

Resultado: Valor do KPI Atuações pelo Ministério do Meio Ambiente é 5, obtido da Tabela 3.35.

iii) COMENTÁRIOS: Autuações relacionadas ao ministério do trabalho remetem problemas relacionados ao pilar ambiental e têm consequências no pilar econômico (multas). Nenhum dos dois processos sofreram qualquer tipo de atuação.

4.2.33 KPI Treinamento Relativo a Segurança do Trabalho

Para obtenção deste KPI foi feita uma pesquisa junto ao setor de recursos humanos da empresa, e de posse dessa informação, com o auxílio da Tabela 3.36, tem-se:

i) SMAW: Não houve evidência de treinamentos relativos a segurança do trabalho, nos últimos 12 meses.

Resultado: Valor do KPI Atuações pelo Ministério do Meio Ambiente é 1, obtido da Tabela 3.36.

ii) FCAW: Não houve evidência de treinamentos relativos a segurança do trabalho, nos últimos 12 meses.

Resultado: Valor do KPI Atuações pelo Ministério do Meio Ambiente é 1, obtido da Tabela 3.36.

iii) COMENTÁRIOS: Os dois processos receberam conceito mínimo neste indicador, e isso demonstra uma fragilidade na gestão de segurança e saúde do trabalhador. Investimentos em treinamentos nestas áreas contribuem para a redução de acidentes e interferem diretamente nos pilares econômicos e sociais.

4.2.34 KPI Treinamento em Aspectos Ambientais

Para obtenção deste KPI foi feita uma pesquisa junto ao setor de recursos humanos da empresa, e de posse dessa informação, com o auxílio da Tabela 3.37, tem-se:

i) SMAW: Não houve evidência de treinamentos relativos a ações de proteção ao meio ambiente, nos últimos 12 meses.

Resultado: Valor do KPI Atuações pelo Ministério do Meio Ambiente é 5, obtido da Tabela 3.37.

ii) FCAW: Treinamentos relativos a ações de proteção ao meio ambiente realizados nos últimos 12 meses.

Resultado: Valor do KPI Atuações pelo Ministério do Meio Ambiente é 1, obtido da Tabela 3.37.

iii) COMENTÁRIOS: Os dois processos receberam conceito mínimo neste indicador, e isso demonstra uma fragilidade na gestão de ambiental. Investimentos em treinamentos nesta área contribuem para a redução de acidentes ambientais e contribuem para a conservação ambiental, interferindo diretamente nos pilares econômicos (custos desnecessários) e ambientais (danos ambientais).

4.2.35 KPI Resíduos Perigosos

Para obtenção deste KPI foram realizadas inspeções no local do trabalho, na qual pode-se constatar resíduos relacionados a: a) A baixa eficiência de deposição dos processos de soldagem; b) Descarte de insumos (bicos de solda, cabos, embalagem dos insumos, entre outros) e equipamentos obsoletos (fim de vida). De posse dessas informações e com o auxílio da Tabela 3.37, tem-se:

i) SMAW: Em relação à baixa eficiência de deposição, foi coletada uma amostra dos respingos da soldagem, referente à aplicação do metal de adição (eletrodo revestido de 5mm). Após a coleta de material, o mesmo foi secado e pesado em uma balança analítica com capacidade de 4200 g e resolução de 0,01 g. Foram coletadas sobras de eletrodos e estes foram pesados. Por fim, com o peso inicial do eletrodo revestido e os pesos do material respingado e as sobras foi possível determinar a eficiência de deposição de 18%. Durante toda a safra são empregados 8.000 Kg de material de adição (eletrodos revestidos, com

diâmetro de 5mm e 160g de peso). Conclui-se, então, que são gerados 6.560 Kg de resíduos metálicos classificados como resíduos sólidos perigosos (ABNT NBR 10.004).

Resultado: De posse dos valores estimados o valor do KPI Resíduos Perigosos é 1, obtido da Tabela 3.38.

ii) **FCAW:** Foi coletada uma amostra dos respingos da soldagem, referente a aplicação do metal de adição (arame tubular auto protegido, diâmetro de 2,8 mm). Após a coleta a matéria foi secado e pesado em uma balança analítica com capacidade de 4200 g e resolução de 0,01 g. Por fim, com o peso inicial do arame tubular e os pesos do material respingado e as sobras foi possível determinar a eficiência de deposição de 55%. Durante toda a safra são empregados 8.000 Kg de material de adição (eletrodos revestidos). Conclui-se então que são gerados 4.400 Kg de resíduos metálicos classificados como resíduos sólidos perigosos (ABNT NBR 10.004).

Resultado: De posse dos valores estimados o valor do KPI Resíduos Perigosos é 2, obtido da Tabela 3.38.

iii) **COMENTÁRIOS:** O processo FCAW foi conceituado como 2 e o processo SMAW como conceito 1. Estes conceitos sugerem que ações devam ser conduzidas para a redução de resíduos perigosos. A fragilidade da gestão desse indicador além de provocar impactos ambientais contribui negativamente para o pilar econômico, pois geram perdas financeiras para a empresa.

4.2.36 KPI Resíduos Inertes e Não Inertes

Para obtenção deste KPI foram realizadas inspeções no local do trabalho, em que pode-se constatar resíduos relacionados a descarte de insumos (material não metálico, equipamento de proteção individual, matéria de limpeza. De posse dessas informações e com o auxílio da Tabela 3.37, tem-se:

i) **SMAW:** Durante toda a safra são empregados 8.000 mil Kg de material de adição (eletrodos revestidos) e estes geram aproximadamente 480 Kg de material a ser descartável (plástico e papelão), classificados como resíduos inertes e não inertes (ABNT NBR 10.004). Em relação ao descarte de equipamento de proteção individual e uniformes é estimada um descarte de 20Kg por funcionário, considerando 12 soldadores tem-se 240 Kg de material. Em relação ao descarte de material de embalagem dos eletrodos (metálico), foi aferido que os 8.000 Kg de eletrodos geraram 1304 embalagens metálicas relativas a 391,2

Kg de material descartado. Em relação ao descarte de equipamentos obsoletos e cabos de elétricos, estes não serão considerados, pois são vendidos para a reciclagem. Por fim tem-se 871,2 kg de resíduos não inerte descartados

Resultado: De posse dos valores estimados o valor do KPI Resíduos Inertes e Não Inertes é 2, obtido da Tabela 3.39.

ii) FCAW: Durante toda a safra são empregados 8.000 Kg de material de adição (arame tubular) e estes geram aproximadamente 160 unidades de embalagens de material a ser descartável (plástico e papelão), que totalizam 48Kg de material classificados como resíduos inertes e não inertes (ABNT NBR 10.004). Em relação ao descarte de equipamento de proteção individual e uniformes é estimada um descarte de 20Kg por funcionário, considerando que 1 soldador tem-se 20 Kg de material. Em relação ao descarte de material de embalagem dos eletrodos (metálico), foi aferido que os 8.000 Kg de eletrodos geraram 400 embalagens metálicas relativas a 80 Kg de material descartado. Em relação ao descarte de equipamentos obsoletos e cabos de elétricos estes não serão considerados pois são vendidos para a reciclagem. Por fim tem-se 106 kg de resíduos não inerte descartados

Resultado: De posse dos valores estimados o valor do KPI Resíduos é 3, obtido da Tabela 3.39.

iii) COMENTÁRIOS: Da mesma forma que o exposto no item 4.2.36, planos de ação para melhorar os conceitos destes indicadores deverão ser implantados. Notou-se que, comparado os dois processos, o FCAW tem uma leve vantagem sobre o SMAW por gerar menos resíduos.

De um modo geral, ações para melhorar este indicador podem ser aplicadas com a reciclagem ou reuso destes resíduos não inertes, que contribuiriam para os pilares econômicos e ambientais

4.2.37 KPI Emissão Atmosférica

As operações de soldagem por SMAW e FCAW apesar de emitir fumos metálicos e outras emissões atmosféricas não estão na regulamentação CONAMA nº 382 e 436 (BRASIL, 2010).

i) SMAW: Sem emissão significativa, menor que 1 durante a safra.

Resultado: De posse dos valores estimados o valor do KPI Emissão Atmosférica é 5, obtido da Tabela 3.40.

- ii) FCAW: Sem emissão significativa, menor que 1 durante a safra.

Resultado: De posse dos valores estimados o valor do KPI Emissão Atmosférica é 5, obtido da Tabela.

iii) COMENTÁRIOS: Os dois processos não contribuem de forma significativa para impactos ao meio ambiente gerados pela emissão de particulados na atmosfera, segundo a regulamentação CONAMA nº 382 e 436. Porém, cabe ressaltar que as emissões destes fumos metálicos podem gerar pagamentos de insalubridade e danos à saúde do trabalhador, implicando diretamente aos pilares sociais e econômicos.

4.2.38 KPI Plano de Emergência

Para obtenção deste KPI foi feita uma consulta a gerência de produção, e de posse dessa informação com o auxílio da Tabela 3.41, tem-se:

- i) SMAW: Não foi evidenciado plano de emergência implantado na empresa.

Resultado: Valor do KPI Plano de Emergência é 1, obtido da Tabela 3.41.

- ii) FCAW: Plano de emergência implantado na empresa.

Resultado: Valor do KPI Plano de Emergência é 1, obtido da Tabela 3.41.

- iii) COMENTÁRIOS:

Os dois processos foram conceituados com valor mínimo para este indicador, e tal fato cria um alerta, quando se questiona quais as ações que os trabalhadores desta etapa de processos devem realizar em caso de uma emergência.

4.2.39 KPI Eficiência no Uso de Água

Para obtenção deste KPI foi feita uma consulta a gerência de produção, e de posse dessa informação com o auxílio da Tabela 3.42, tem-se:

- i) SMAW: Não existe consumo de água nesta operação

Resultado: De posse dos valores estimados o valor do KPI Eficiência no Uso de Água é 5, obtido da Tabela 3.42.

- ii) FCAW: Não existe consumo de água nesta operação

Resultado: De posse dos valores estimados o valor do KPI Eficiência no Uso de Água é 5, obtido da Tabela 3.42.

- iii) COMENTÁRIOS: Os dois processos foram conceituados com valor máximo para este indicador, uma vez que não tem consumo de água.

4.2.40 KPI Geração de Águas Residuais

Para obtenção deste KPI foi feita uma consulta à gerência de produção, e de posse dessa informação, com o auxílio da Tabela 3.43, tem-se:

- i) SMAW: Não existe geração de águas residuais nesta etapa do processo.

Resultado: De posse dos valores estimados o valor do KPI Geração de Águas Residuais é 5, obtido da Tabela 3.43.

- ii) FCAW: Não existe geração de águas residuais nesta etapa do processo.

Resultado: De posse dos valores estimados o valor do KPI Geração de Águas Residuais é 5, obtido da Tabela 3.43.

- iii) COMENTÁRIOS: Os dois processos foram conceituados com valor máximo para este indicador, uma vez que não tem consumo de água e, conseqüentemente, não geram águas residuais.

4.2.41 KPI Descarte de Águas Residuais

Para obtenção deste KPI foi feita uma consulta a gerência de produção, e de posse dessa informação com o auxílio da Tabela 3.43, tem-se:

- i) SMAW: Não existe geração de águas residuais nesta etapa do processo.

Resultado: De posse dos valores estimados o valor do KPI Descarte de Águas Residuais é 5, obtido da Tabela 3.44.

- ii) **FCAW:** Não existe geração de águas residuais nesta etapa do processo.

Resultado: De posse dos valores estimados o valor do KPI Descarte de Águas Residuais é 5, obtido da Tabela 3.44.

- iii) **COMENTÁRIOS:** Os dois processos foram conceituados com valor máximo para este indicador, uma vez que não tem consumo ou descarte de água.

4.2.42 KPI Emissão de GEE

Para obtenção deste KPI foi aplicada a metodologia descrita na Norma ABNT ISO/TS 14067 (ABNT, 2015). Foram consideradas como emissão diretas: a) energia necessária para a operação dos equipamentos de soldagem (item 4.2.37); b) geração de resíduos perigosos (item 4.2.36); c) geração de resíduos inertes e não inertes (item 4.2.37); d) emissão atmosférica (item 4.2.37). E para as emissões indiretas foram considerados a) Consumo de energia elétrica; b) Uso de transporte público; c) Alimentação d) Geração de lixo. A Tabela 4.2 apresenta o breviário desta análise. Observa-se aqui que, para esta pesquisa, delimitou-se apenas estas análises, porém conforme a norma prevê, são possíveis outras análises como uso de gás de cozinha, estilo de vida entre outros, conforme previsão na Norma ABNT ISO/TS 14067.

Tabela 4.2: Pegada de Carbono Comparativo das Atividades SMAW e FCAW

Descrição	Quantidade	PAG	Resultado Parcial (kg de CO ₂ eq. ano)
Energia de Processo (SMAW)	933.120 KWh (*)	0,1355 (KgCO ₂ e/kWh.ano)	126.437,7
Energia de Processo (FCAW)	780.800 KWh (*)		105.798,8
Resíduos perigosos (SMAW)	6560 Kg (*)	0,014 KgCO ₂ e/Kg.ano)	918,40
Resíduos perigosos (FCAW)	4400 Kg (*)		616,0
Resíduos inertes e não inertes (SMAW)	871,2 Kg (*)	0,118 KgCO ₂ e/Kg.ano)	102,8
Resíduos inertes e não inertes (FCAW)	106Kg (*)		12,5
Emissão atmosférica (SMAW)	>1	0,014 KgCO ₂ e/Kg.ano)	0
Emissão atmosférica (FCAW)	>1		0
Consumo de energia elétrica per capita por trabalhador (SMAW)	1.860 KWh/ano		252,1

Consumo de energia elétrica per capita por trabalhador (FCAW)	155 kWh/ano	0,1355 (Kg de CO ₂ e/ kWh)	21,0
Uso de transporte público (SMAW)	151.800 Km/ano	0,0184 (Kg de CO ₂ e/Km.ano)	27.931,2
Uso de transporte público (FCAW)	12.650 Km/ano		2.327,6
Alimentação (SMAW)	12 indivíduos	313,15 KgCO ₂ e/ind.ano)	3.757,8
Alimentação (FCAW)	1 indivíduo		313,15
Geração de lixo (SMAW)	35.040 Kg/ano	0,014 KgCO ₂ e/Kg.ano)	490,56
Geração de lixo (FCAW)	2.920 Kg/ano		40,88
Resultado SMAW = 159.890,56 kg CO₂eq. Ano		Resultado FCAW = 109.129,96 kg CO₂eq. Ano	
<i>Obs.: 1-Período de operação dos equipamentos de 200 dias (*); 2-Demais períodos avaliados 365 dias; 3-Quantidade de funcionários: SMAW de 12 funcionários e FCAW 1 funcionário</i>			

De posse dessa informação, com o auxílio da Tabela 3.45 e da Eq. 3.7, tem-se:

i) **SMAW:** A geração de GEE deste processo é 159.890,56 kg CO₂ano e comparado ao GEE_R este corresponde a 1,46.

Resultado: De posse dos valores estimados o valor do KPI Emissão de GEE é 3, obtido da Tabela 3.45.

ii) **FCAW:** A geração de GEE deste processo é 109.129,96 kg CO₂eq. ano (sendo o menor valor será a GEE_R).

Resultado: De posse dos valores estimados o valor do KPI Emissão deGEE é 5, obtido da Tabela 3.45.

iii) **COMENTÁRIOS:** O processo FCAW foi conceituado como 5 e o processo SMAW obteve conceito 3, fato este que pode ser explicado pela diferença significativa da quantidade de funcionários, geração de resíduos e equipamentos.

4.3 Resumo dos Índices de Sustentabilidade

4.3.1 Níveis de Sustentabilidade Individual dos KPIs e por Pilares

Nas Figuras 4.1 a 4.5 são apresentados os valores individuais obtidos dos níveis de sustentabilidade dos KPIs estudados e os valores obtidos na mensuração por pilar.

Como forma de gerenciamento, o relatório apresentado na Figura 4.1 possibilita ao gestor elaborar um plano de ação classificar em ordem de prioridade quais KPIs serão tratados primeiramente.

a) Pilar Social

A Figura 4.1 apresenta os resultados obtidos de IS de cada KPI e do pilar social. O processo FCAW obteve média de 4,92 comparado ao processo SMAW que obteve 3,83. Tal diferença é explicada quando se analisa os KPIs Treinamento e Nível Salarial que refletem baixa qualificação dos operadores, e evidenciam necessidade de melhorias a serem desenvolvidas para o processo SMAW.

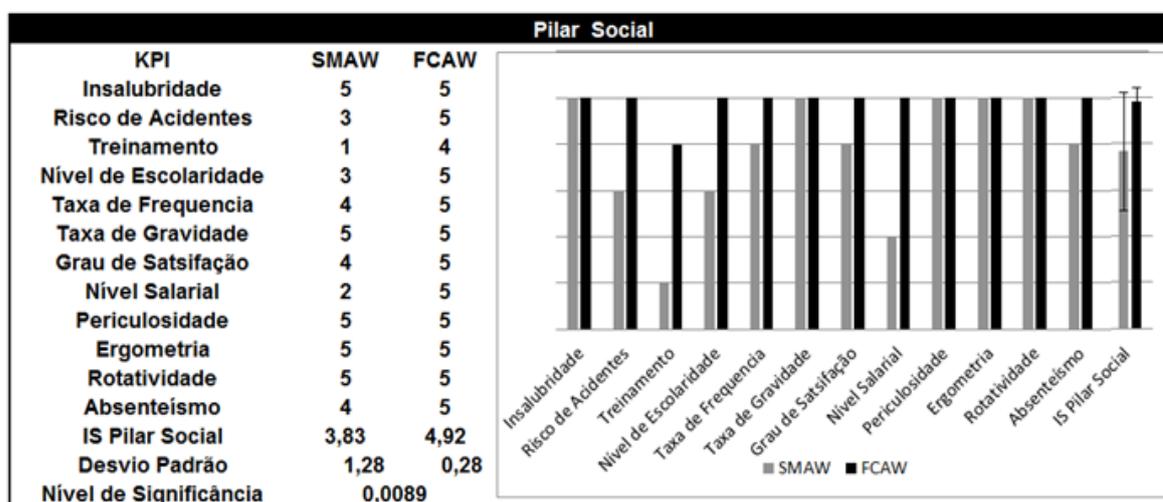


Figura 4.1: Níveis de Sustentabilidade Individuais dos KPIs e Pilar Social

O nível de significância das médias de IS dos dois processos foi de $p = 0,0089$, caracterizando-se como estatisticamente diferentes, com confiabilidade de 95%.

b) Pilar Econômico

O processo FCAW obteve média de 4,11 comparado ao processo SMAW que obteve 3,78, conforme apresentado na Figura 4.2. Tal diferença é explicada pelo elevado consumo

de energia elétrica utilizada pelo processo SMAW. Quando se analisa os KPIs Custo de Matéria Prima do processo FCAW verifica-se um baixo IS, fato esse justificado pelo valor do material de deposição (arame tubular). Porém, quando se analisa o custo de aplicação com o rendimento de deposição, verifica-se um custo-benefício que agrega valor econômico para a empresa (discutido no item 4.2.2.1). O nível de significância das médias de IS dos dois processos foi de $p = 0,0475$, caracterizando-se como estatisticamente diferentes, com confiabilidade de 95%. Este fato demonstra que em relação ao pilar social, o processo FCAW se apresenta como mais sustentável.

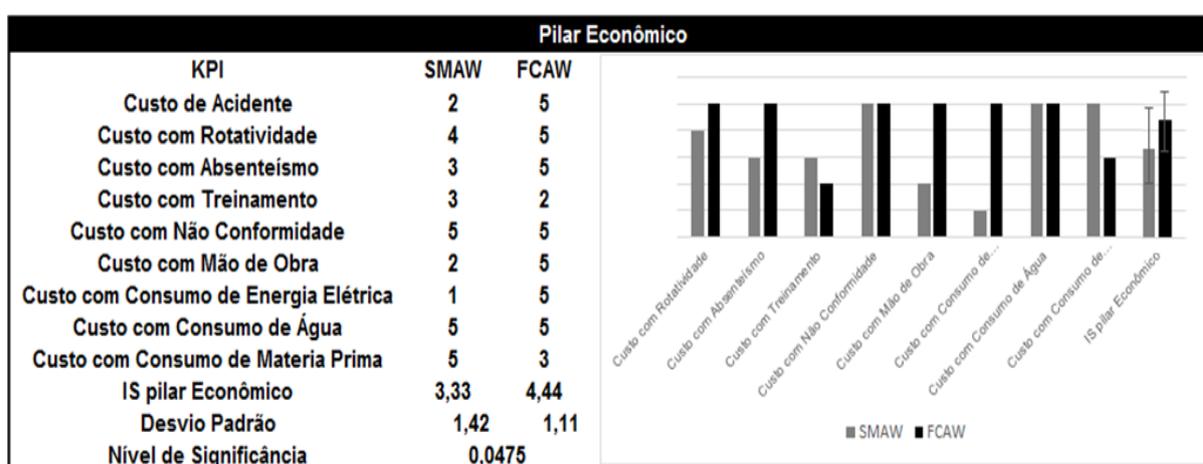


Figura 4.2: Níveis de Sustentabilidade Individuais dos KPIs e Pilar Econômico

c) Pilar Tecnológico

Destaque para os KPIs Nível de Automação e motores de auto rendimento que impulsionaram negativamente o IS do processo SMAW, fatos estes que se apresentam como incentivadores do uso de tecnologia em prol da sustentabilidade. Outro KPI que contribuiu para o resultado negativo foi o treinamento operacional comprovado pelo baixo investimento na formação dos operadores. Por fim, o processo FCAW obteve 4,29 contra 2,57 do processo SMAW, demonstrando assim uma vantagem do processo automatizado em relação à sustentabilidade, como pode ser visto na Figura 4.3. O nível de significância das médias de IS dos dois processos foi de $p = 0,0324$, caracterizando-se como estatisticamente diferentes, com confiabilidade de 95%, comprovando neste caso que o processo FCAW é o mais sustentável.

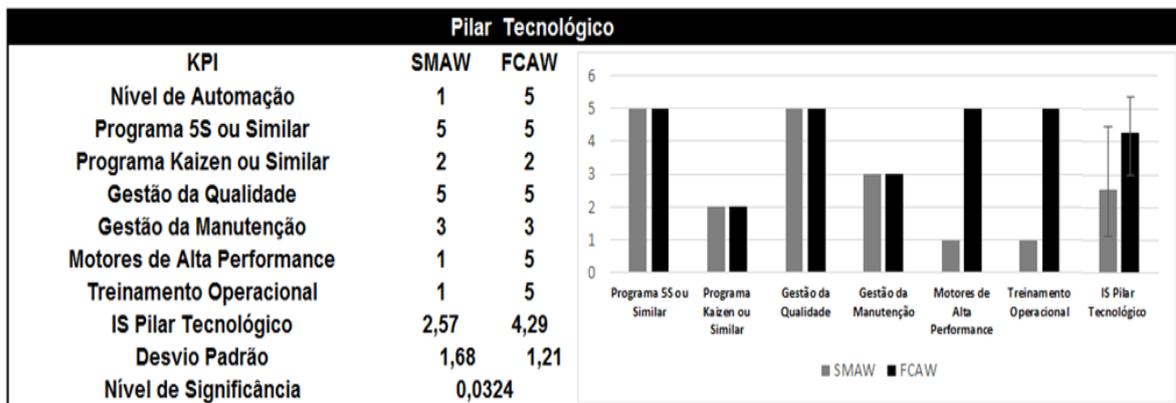


Figura 4.3: Níveis de Sustentabilidade Individuais dos KPIs e Pilar Tecnológico

d) Pilar Legal

A Figura 4.4 apresenta o resultado obtido pelo processo SMAW de 3,4 em relação ao IS do pilar legal e o processo FCAW obteve 4,2. Observa-se aqui que o processo SMAW produziu resultados negativos em virtude da baixa qualificação dos operadores, fatos observados nos KPIs Ação Trabalhista e Treinamento operacional, apresentados na Figura 4.4. Em relação ao pilar legal, estatisticamente não houve significância entre as médias dos IS, pois o valor obtido de $p = 0,2727$, não atribuindo uma confiabilidade de 95%. Porém as médias obtidas sugerem uma tendência do processo FCAW ser mais sustentável quando comparado como o SMAW.

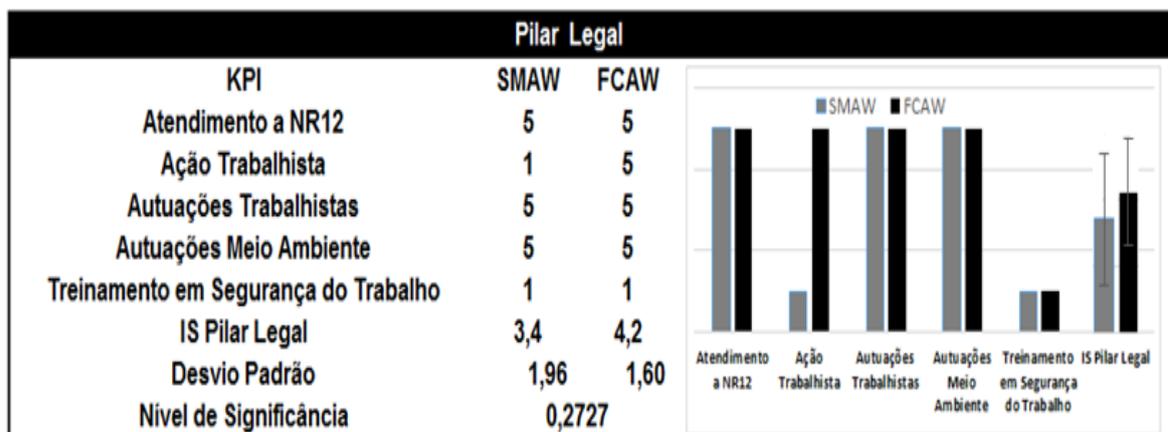


Figura 4.4: Níveis de Sustentabilidade Individuais dos KPIs e Pilar Legal

e) Pilar Ambiental

O processo FCAW obteve média de 3,56 se comparado ao processo SMAW que obteve 3,13, como é apresentada na Tabela 4.5. Ambos os processos obtiveram resultados

semelhantes neste pilar e demandam uma necessidade de ações nos quesitos geração de resíduos perigosos, resíduos inertes e não inertes e plano de ação.

Neste pilar, também fica evidente que o processo FCAW se apresenta como mais sustentável, e tal fato é corroborado pelo nível de significância das médias de IS que obteve $p = 0,0468$, caracterizando-se como estatisticamente diferentes, com confiabilidade de 95%,

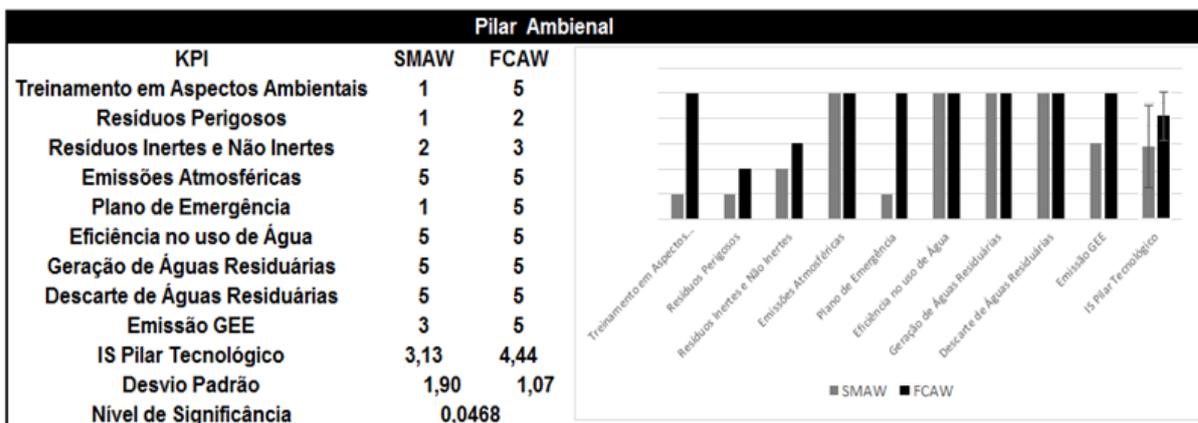


Figura 4.5: Níveis de Sustentabilidade Individuais dos KPIs e Pilar Ambiental

4.2.1 Índice de Sustentabilidade Geral

Na Figura 4.6 são apresentados os valores obtidos dos níveis de sustentabilidade de cada pilar e o índice de sustentabilidade geral.

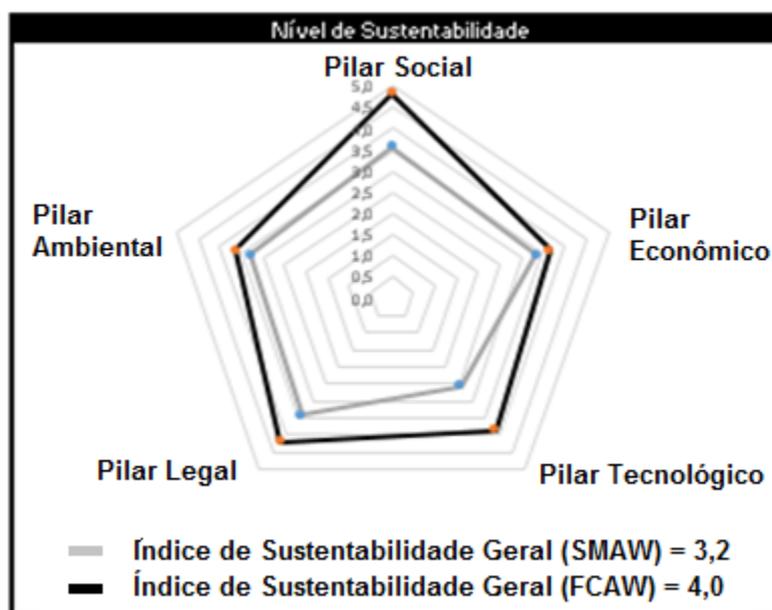


Figura 4.6: Níveis de Sustentabilidade por Pilar e Geral

Como um reflexo da análise dos níveis de sustentabilidade dos KPIs, o processo FCAW obteve índices superiores em todos os pilares e para o índice geral de sustentabilidade que obteve 4,0 contra 3,2 do processo SMAW. Tal fato é ratificado pelo nível de significância das médias de IS que obteve $p = 0,0014$, caracterizando-se como estatisticamente diferentes e representativos para confiabilidade de 95%.

4.2.2 Considerações Finais

Em relação a proposta de um modelo de mensuração de índices de sustentabilidade, pode-se considerar que:

a) A propositura é apresentada para mensuração de índices de sustentabilidade para a etapa de processo, o que confere às organizações a possibilidade da evolução nos aspectos de gestão de sustentabilidade, uma vez que ao analisar cada fase individualmente evita ocultar algumas deficiências, comparada quando se aplica modelos em organizações como um todo. Pode-se fazer aqui, uma comparação com a metodologia Índice de Sustentabilidade Empresarial (ISE, 2018), quando se toma por exemplo o item CLI-10, dentro da dimensão mudança de clima, em que questiona se a empresa possui metas para redução de gás de efeito estufa (GEE) estabelecidas. Pode-se avaliar aqui, a possibilidade da empresa possuir mais de uma fonte de emissão de GEE, e ela poderia atender este item utilizando a menor fonte ou omitindo outras emissões. Esse fato evidencia uma deficiência desta metodologia. Para as empresas preocupadas com a evolução de suas práticas relacionadas a gestão da sustentabilidade, esta ferramenta permite exaurir mais deficiência em seus processos.

b) Muitos modelos presentes na literatura são específicos para determinados setores. Esta propositura pode ser aplicada a qualquer etapa de processo de qualquer tipo de empresa. Tomando como exemplo a metodologia Icheme (2002), que se refere a uma ferramenta aplicável para mensuração no nível de fábrica, especialmente voltada para o ramo da indústria de processo contínuo. Com o objetivo de demonstrar sua versatilidade, foi demonstrado na seção 3.2. Neste, observou-se, de uma forma comparativa, a aplicação de revestimento duro em moendas de cana de açúcar por dois processos distintos. Nas mensurações dos índices por KPIs é possível identificar pontos de melhorias dos dois processos. e então, poder ser aplicada continuamente, de forma mensurável quantitativamente e contribuir para a melhoria contínua dos processos e operações (KAISEN, da filosofia Toyota de produção), reduzindo custos, tornando-os mais produtivos, competitivos, reduzindo custos e, enfim, aumentando o retorno sobre o investimento.

c) Comparado a outros modelos, essa ferramenta apresenta uma metodologia de fácil aplicação por ser flexível. Quanto à flexibilidade, os analistas poderão acrescentar ou retirar os indicadores de sustentabilidade (KPI), conforme as necessidades da empresa. Pode-se citar por exemplo, a utilização da norma SW846 - *Test methods for evaluating solid waste* (USEPA, 1986), em substituição à Norma ABNT NBR 10.004, sem descaracterizar a ferramenta de medição.

d) Tal propositura poderá ser integrada a um sistema tipo ERP (*Enterprise Resource Planning*), que terá, como resultado esperado, a comunicação entre diferentes departamentos da empresa a fim de obter-se as variáveis dos processos produtivos as suas interferências nos aspectos de gestão sustentável, possibilitando seu gerenciamento e produzindo ações em tempo real. Além desta vantagem, a metodologia também poderia ser integrada a um sistema IoT (*Internet of Things*), que opera interligado em cooperação em ambientes fechados, por meio de redes de dados globais ou locais, podendo ser identificados individualmente e interagir uns com os outros. Dessa forma, o modelo aqui proposto seria alimentado automaticamente na medida em que diversos setores da empresa alimentassem os dados. De maneira geral, os impactos gerados por uma sistematização dos conceitos da gestão da sustentabilidade provocarão contribuições nos indicadores de produção da empresa, tornando-a mais competitiva. A conectividade, a digitalização dos processos industriais e a interação entre pessoas e máquinas, a descentralização da tomada de decisão e a necessidade de adotar práticas sustentáveis, formarão uma base para o entendimento da necessidade influência do uso de novas tecnologias no processo produtivo em para o de uma manufatura sustentável.

e) No tocante ao TBL, referindo-se à perspectiva econômica, é possível alcançar um aumento da competitividade de uma empresa, não só pelos aspectos de produzir com menores custos, mas também do ponto de vista da valorização de seus produtos e serviços. Em relação à dimensão ecológica, vários benefícios serão possíveis, entre eles a valorização do produto e serviços para os clientes finais, além da transparência da demanda e dos processos sustentáveis. Considerando aspectos de eficiência energética e hídrica, de redução de emissões e resíduos e políticas de reuso são contemplados nos planejamentos e em simulações de processo. Na dimensão social, vários benefícios para os empregados são nomeados, como: i) satisfação no trabalho, devido ao aprimoramento da aprendizagem humana através de sistemas de assistência inteligentes, ii) interfaces homem-máquina que geram menos acidentes e trabalhos mais dignos, iii) aperfeiçoamento profissional relacionado à melhoria na remuneração. Sob os aspectos legais, eliminar possibilidades de sanções oriundas de órgãos oficiais ambientais e trabalhistas, além da redução ações judiciais, que

podem ser obtidas por meio de controles inteligentes. Por fim, a contribuição do pilar tecnológico promove nas empresas uma evolução contínua.

f) A escolha de KPIs com base na EC, como um novo paradigma para as gestões sustentáveis, contribui nesta propositura com a compreensão contemporânea e suas aplicações práticas para a evolução de processos industriais. Como exemplo da influência deste paradigma, foi criado o KPI Emissão de Águas Residuais, no qual se objetiva a identificação destes poluentes. Na linha da EC foi acrescentado o KPI Descarte de Águas Residuais que visa a prática de reutilização deste poluente. Sob o mesmo raciocínio, foram acrescentados os seguintes KPIs: Eficiência no Uso de Água, Eficiência no Uso de Energia Elétrica, Programa 5S, Programa Kaizen, Motores de Alta Performance, Gestão da Qualidade e Gestão da Manutenção.

g) Considera-se que a depender da organização, pode-se, por estratégia da empresa, ponderar como mais importante alguns KPIs em relação aos demais. Neste contexto a propositura permite, a critério da empresa, que alguns KPIs poderão receber pesos distintos, agregando mais valor para a organização à luz de sua estratégia, conforme sugerem alguns autores como Kwatra *et al.* (2016), Schrippe e Ribeiro (2018).

h) Em relação ao gerenciamento, uma avaliação dos relatórios apresentados nas Figura 4.1 e 4.5, proporciona ao executivo um plano de ação para melhorias em seu processo de fabricação. Como exemplo, pode-se elencar o nível de sustentabilidade de cada KPI, na avaliação do item KPI Ações Trabalhistas do processo SMAW, o qual obteve avaliação 1 e o processo FCAW que obteve mensuração 5. Tal discrepância nos resultados alertam a empresa em aspectos de melhorias em relação à satisfação dos trabalhadores, a custos oriundos destas ações entre outras melhorias a serem desenvolvidas pela gestão da empresa. Em comparação à avaliação no nível de pilar, nota-se que o processo SMAW obteve 2,6 o que remete a uma possibilidade de ações neste campo, que podem ser mobilizadas por meio de um investimento em tecnologias.

Em relação à aplicação em chão de fábrica, o modelo proposto aplicado em uma empresa do setor sucroalcooleiro, com o objetivo de comprovar e demonstrar sua execução, apresentou resultados superiores para o processo FCAW, ou seja, aquele aplicado de forma automatizada, como pode ser apreciado nas Figuras 4.1 a 4.4, nas quais foram apresentados os resultados individuais de cada KPI. Já os resultados por pilar e índice de sustentabilidade geral são apresentados na Figura 4.5.

De modo forma geral, em resumo, os destaques para o processo FCAW, foram:

a) Em relação aos aspectos sociais, como o processo é automatizado, ele possibilita o emprego de menos funcionários, apesar deste receber um salário superior o custo para a empresa foi melhor. O emprego de um número menor de funcionários melhora

os índices de acidentes e doenças ocupacionais, uma vez que expõe menos o funcionário ao risco. Como se trata de uma operação que necessita de maior grau de conhecimento, o grau de motivação dos operadores foi maior. Dentre todos os pilares analisado este foi o que apresentou maior discrepância em favor ao FCAW.

b) Em relação aos aspectos econômicos, apesar do aporte financeiro inicial ser superior (mão de obra, equipamentos, insumos), este processo se apresentou sendo mais viável que o processo manual, principalmente quando se computa os custos com desperdícios.

c) Em relação aos aspectos ambientais, os resultados se basearam na geração de resíduos.

d) Em relação aos aspectos tecnológicos, o processo automatizado se destacou pelas tecnologias empregadas que refletia em todos os outros pilares.

e) Em relação aos aspectos legais, o processo automatizado levou uma grande vantagem, especificamente devido ao emprego de menor número de funcionários.

CAPITULO V

Conclusões

De um modo geral o processo FCAW foi superior quando comparado SMAW, se apresentando como mais sustentável. O que demonstra que o processo realizado de forma automatizada se apresenta como mais sustentável, segundo a propositura apresentada neste estudo. Como um dos destaques, o emprego do processo automatizado comparado ao manual, reflete ao emprego quantidades distintas de operadores, no qual o processo SMAW emprega 12 e o FCAW apenas um, e esse fato traz implicações como possibilidade de aumento de acidentes, implicações nos custos operacionais, fatores relacionados a gestão de pessoas (rotatividade, absenteísmos, satisfação trabalhadores), entre outras provocadas pelo gerenciamento de um número maior de funcionários.

Nesta mesma linha, além de analisar o custo no emprego de mais colaboradores e somando a este o custo operacional para a execução do processo FCAW, que se apresentou inicialmente como mais oneroso, quando se analisa as consequências destes nas melhores eficiências obtidas no emprego de tecnologias mais modernas, nota-se uma redução no custo e no benefício. Tais melhorias de eficiência refletem também na geração de menos resíduos, emissões e vantagens energéticas. Estes contextos apresentados, levam a corroborar como processos mais sustentáveis sob a ótica do paradigma TBL.

Em relação ao modelo de mensuração de índices de sustentabilidade, a propositura se apresenta como uma evolução dos modelos existentes e atende a hipótese formulada neste estudo que objetivou desenvolver uma metodologia que:

- Seja alicerçada nos conceitos do TBL e Economia Circular; que foram fatores determinantes para as escolhas dos KPIs desta propositura.

- Possa ser avaliada de forma mais estratificada em cada dimensão, promovendo ações gerenciais que tragam melhorias e agreguem mais valor para a empresa e para o produto final.

- Forneça modelo que independe do tipo de processo, visto que, muitos modelos limitam-se às aplicações restritas de um segmento específico, assim esta proposta traz um modelo que pode ser aplicado a qualquer tipo de empresa.

- Inclua um modelo de mensuração flexível e de rápida aplicação com possibilidade de informatização dentro de sistemas de redes corporativas.

- Leve em consideração o processo. O processo FCAW obteve índices superiores em todos os pilares e para o índice geral de sustentabilidade obteve 4,0 contra 3,2 do processo SMAW. Tal fato é ratificado pelo nível de significância das médias de IS que obteve $p = 0,0014$, caracterizando-se como estatisticamente representativos para confiabilidade de 95%.

O atendimento às condições propostas neste estudo emergiu como novidade e contribuição para a produção sustentável dos processos de fabricação além de lançar luz à ciência, tecnologia e inovação.

CAPÍTULO VI

Proposta para Trabalhos Posteriores

Durante a elaboração deste estudo surgiram algumas ideias que seguem a linha de metodologias para análise de manufatura sustentável, como estas não faziam parte do planejamento inicial deste trabalho, ficarão como sugestões para trabalhos futuros, dentre as quais:

- a) Incorporação à metodologia desenvolvida fatores para a ponderação dos KPIs, como por exemplo *Analytic Hierarchy Process* (AHP) ou *Fuzzy Analytic Hierarchy Process* (F-AHP). Metodologias que confirmam aos clientes de IS priorização dos indicadores de sustentabilidade. Aqui se pode inserir pesos aos cinco pilares de sustentabilidade, abordados neste estudo.
- b) Informatização do modelo proposto neste estudo e integração a sistemas de gerenciamento global da manufatura (MRP II – *Manufacturing Requirements Planning*).
- c) Estudar as interferências e impactos dos KPIs no resultado final da mensuração do Índice de Sustentabilidade Geral, por metodologias *Rebound Effect*.
- d) Ampliar a metodologia desenvolvida para a planta da fábrica, abrindo do espectro da manufatura para a fábrica.

CAPÍTULO VII

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14280 (2001): Cadastro de acidente do trabalho - Procedimento e classificação. 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 26000 (ABNT, 2002): Diretrizes para a responsabilidade social. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14031 (ABNT, 2004a): Gestão ambiental - avaliação de desempenho ambiental – diretrizes. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS 10004 (ABNT, 2004b): Resíduos sólidos–classificação. Rio de Janeiro, p. 9-11, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS 14001 (ABNT, 2008): Requisitos com orientações para uso de sistemas de gestão ambiental. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR ISO 14040 (ABNT, 2009a): Gestão ambiental-avaliação do ciclo de vida-princípio e estrutura. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR ISO 14044 (ABNT, 2009b): Gestão ambiental-avaliação do ciclo de vida-requisitos e orientações. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR ISO 18801 (ABNT, 2010): Requisitos para sistemas de gestão da segurança e saúde no trabalho. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR ISO 50001 (ABNT, 2011): Sistema de gestão de energia: requisitos com orientação para uso. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT ISO 14067:2013 - Gases do efeito estufa - Pegada de carbono de produtos - Requisitos e diretrizes para quantificação e comunicação, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR ISO 9001 (ABNT, 2015): Requisitos para sistemas de gestão da qualidade. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR ISO 45001 (ABNT, 2018): Requisitos com orientações para uso de sistemas de gestão em saúde e segurança ocupacional. Rio de Janeiro, 2018.

AMRINA, E.; VILSI, A. L. Key performance indicators for sustainable manufacturing evaluation in cement industry. *Procedia CIRP*, v. 26, p. 19–23, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.07.173>.

ARAUJO, J. B. Desenvolvimento de método de avaliação de desempenho de processos de manufatura considerando parâmetros de sustentabilidade. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2010.

AZAPAGIC, A. Developing a framework for sustainable development indicators for the mining and minerals industry. *Journal of cleaner production*, v. 12, n. 6, p. 639-662, 2004. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(03\)00075-1](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(03)00075-1).

AZAPAGIC, A.; PERDAN, S. Indicators of sustainable development for industry: a general framework. *Process Safety and Environmental Protection*, v. 78, n. 4, p. 243-261, 2000.

BAČIĆ, M. et al. Physical workload while working with hedging bill and battery cutter in tending of pedunculate oak. In: 7th International Ergonomics Conference ERGONOMICS 2018- Emphasis on Wellbeing. 2018.

BARBIERI, J. C. *Gestão Ambiental Empresarial*. São Paulo: Saraiva, 2002.

BASSO, T. P.; BASSO, L. C. (Ed.). *Fuel Ethanol Production from Sugarcane*. BoD–Books on Demand, 2019.

BM&FBOVESPA (2018). Índice de Sustentabilidade Empresarial– ISE. Disponível em: http://www.bmfbovespa.com.br/pt_br/institucional/sustentabilidade/na-bolsa/apresentacao/ Acesso em: maio 2018.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, DF, 2010.

BUCHANAN, V. E.; SHIPWAY, P. H.; MCCARTNEY, D. G. Microstructure and abrasive wear behaviour of shielded metal arc welding hardfacings used in the sugarcane industry. *Wear*, v. 263, n. 1-6, p. 99-110, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2006.12.053>.

CASANOVA, F.; AGUILAR, Y. A study on the wear of sugar cane rolls. *Wear*, v. 265, n. 1-2, p. 236-243, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2007.10.008>.

CASTRO, S., B. , ANDRADE, S.A.; Tecnologia do Açúcar, Edição Universitária da UFPE, 2006.

CEZARINO, L. O.; MURAD, Q. M.; REZENDE, P. V.; FALCO SALES, W., 2020. Being green makes me greener? An evaluation of sustainability rebound effects. *Journal of Cleaner Production*, 121436. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121436>.

CHEN, D. et al. A state-of-the-art review and evaluation of tools for factory sustainability assessment. *Procedia CIRP*, v. 9, p. 85–90, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2013.06.173>.

CHEN, D. *et al.* Direct digital manufacturing: definition, evolution, and sustainability implications. *Journal of Cleaner Production*, v. 107, p. 615-625, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.009>.

CHIAVENATO, I. Recursos humanos. 7.ed. São Paulo: Atlas, p. 157-165; p.323-359. 2002.

CICCO, F., FANTAZZINI, M. L. Tecnologias Consagradas de Gestão de Risco, São Paulo: Risk Tecnologia, 2003.

CRIFO, P., FORGET, V.D., TEYSSIER, S., 2015. The price of environmental, social and governance practice disclosure: an experiment with professional private equity investors. *J. Corp. Fin.* 30, 168e192. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jcorpfin.2014.12.006>.

DEDINI S.A. Catálogo de Produtos – Moenda 10.p, 2013.

DESPEISSE, M. et al. Industrial ecology at factory level—a conceptual model. *Journal of cleaner production*, v. 31, p. 30-39, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.02.027>.

DESPEISSE, Mélanie; OATES, Michael R.; BALL, Peter D. Sustainable manufacturing tactics and cross-functional factory modelling. *Journal of Cleaner Production*, v. 42, p. 31-41, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.11.008>.

DJSI (2018), Dow Jones Sustainability Indexes. Disponível em: <http://www.sustainability-index.com/07_html/publications/guidebooks.html>. Acesso em: maio 2018.

DREHER, J. et al. General motors metrics for sustainable manufacturing. Laboratory for Sustainable Business, Massachusetts Institute of Technology, 2009.

ELKINGTON, J. Cannibals with forks. *Cannibals with Forks: The triple bottom line of 21st century*, n. April, p. 1–16, 1997.

ELHUNI, R. M.; AHMAD, M. M. Key performance indicators for sustainable production evaluation in oil and gas sector. *Procedia Manufacturing*, v. 11, p. 718-724, 2017.

<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.172>.

EMPRAL Empral Engenharia Industrial. Disponível em:
<http://www.dsempral.com.br/processo+extracao+moenda.html>. Acessado em: 01 de janeiro de 2018.

FAULKNER, W.; BADURDEEN, F. Sustainable Value Stream Mapping (Sus-VSM): methodology to visualize and assess manufacturing sustainability performance. *Journal of cleaner production*, v. 85, p. 8-18, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.042>.

GODINHO FILHO, M. Paradigmas Estratégicos de Gestão da Manufatura (PEGEMs): Elementos-chave e Modelo Conceitual. n. July, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-530X2005000300005>.

FTSE4GOOD (2018). FTSE4Good Index Series. Disponível em:
<https://www.ftse.com/products/indicess/FTSE4Good>. Acesso em: junho de 2018.

FUNDACENTRO - Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho. NHO 01: avaliação da exposição ocupacional ao ruído. São Paulo; 2001a.

FUNDACENTRO - Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho. NHO 06: avaliação da exposição ocupacional ao calor. São Paulo; 2001b.

FUNDACENTRO - Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho. NHO 08: coleta de material particulado sólido suspenso no ar de ambientes de trabalho. São Paulo; 2008.

FUNDACENTRO - Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho. NHO 02: análise qualitativa de vapores orgânicos. São Paulo; 2017.

FUNDACENTRO - Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho. NHO 09: avaliação da exposição ocupacional a vibração de corpo inteiro. São Paulo; 2013a.

FUNDACENTRO - Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho. NHO 10: avaliação da exposição ocupacional a vibração em mão e braços. São Paulo; 2013b.

FUNDACENTRO - Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho. NHO 03: método de ensaio de determinação gravimétrica de aerodispersóides. São Paulo; 2001c.

FUNDACENTRO - Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho. NHO 04: método de coleta e análise de fibras em locais de trabalho. São Paulo; 2001d.

GARBIE, I. H. Integrating sustainability assessments in manufacturing enterprises: a framework approach. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, v. 20, n. 3,

p. 343, 2015.

GEISSDOERFER, M. et al. The Circular Economy—A new sustainability paradigm?. *Journal of cleaner production*, v. 143, p. 757-768, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>.

GHARFALKAR, M.; ALI, Z.; HILLIER, G. Measuring resource efficiency and resource effectiveness in manufacturing. *International Journal of Productivity and Performance Management*, v. 67, n. 9, p. 1854-1881, 2018. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-11-2017-0282>.

GHISELLINI, P.; CIALANI, C.; ULGIATI, S. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner production*, v. 114, p. 11-32, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>.

GOODSON, R. E. Read a plant-fast. *Harvard business review*, v. 80, n. 5, p. 105-113, 2002.

GRI (2018). Global Reporting Initiative. Disponível em: <http://www.globalreporting.org>. Acesso em: junho de 2018.

GUPTA, S.; DANGAYACH, G. S.; SINGH, A. K. Key determinants of sustainable product design and manufacturing. *Procedia CIRP*, v. 26, p. 99–102, 2015.

HALLSTEDT, S. I. Sustainability criteria and sustainability compliance index for decision support in product development. *Journal of Cleaner Production*, v. 140, p. 251–266, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.06.068>.

HILL, D. C.; SEABROOK, K. A. *Safety & Sustainability: Understanding the Business Value*. American Society of Safety Engineers, 2013.

HUANG, A.; BADURDEEN, F. Metrics-based approach to evaluate sustainable manufacturing performance at the production line and plant levels. *Journal of Cleaner Production*, v. 192, p. 462-476, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.234>.

HUANG, A.; BADURDEEN, F. Metrics-Based Hierarchical Approach for Sustainable Manufacturing Systems Performance Evaluation. *DEStech Transactions on Engineering and Technology Research*, n. Icpr, p. 672–677, 2017. <https://doi.org/10.12783/dtetr/icpr2017/17690>.

HUGOT, E. *Handbook of Cane Sugar Engineering*. Third edition. Ed. Elsevier. New York, 1986.

HUTCHINGS, I. M. *Tribology: Friction and wear of engineering materials*. CRC Press Inc., Boca Raton, USA, 273 p. 1992.

ICHEME - Institution of Chemical Engineers. The sustainability metrics: sustainable development progress metrics recommended for use in the process industries, Institution of

Chemical Engineers, Warwickshire, (2002). Disponível em: <https://www.icheme.org/sustainability>.

INTERNATIONAL LABOUR STANDARDS ON OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH – ILO. Geneva: International Labour Office (ILO). Vol.1. 1971.

ISE (2018). Índice de Sustentabilidade Empresarial. Disponível em: http://www.bmfbovespa.com.br/pt_br/produtos/indicess/indicess-de-sustentabilidade/indices-de-sustentabilidade-empresarial-ise.htm. Acesso em: junho de 2018.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO 14031 (ISO, 1999): Environmental management—environmental performance evaluation. Brussels: CEN European Committee for Standardization, 1999.

JAWAHIR I.S.; DILLON JR, O.W. Sustainable manufacturing processes: new challenges for developing predictive models and optimization techniques. Proceedings of the first international conference on sustainable manufacturing. Montreal, Canada, pp. 1–15, 2007.

JAWAHIR, I. S.; BRADLEY, R. Technological Elements of Circular Economy and the Principles of 6R-Based Closed-loop Material Flow in Sustainable Manufacturing. *Procedia CIRP*, v. 40, p. 103–108, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.067>.

JOUNG, C. B. et al. Categorization of indicators for sustainable manufacturing. v. 24, p. 148–157, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.05.030>.

JOVANE, F.; WESTKAMPER, E.; WILLIAMS, D. *The Manufuture Road: Towards Competitive and Sustainable High-Adding-Value Manufacturing*, Springer. 2008.

KHAN, F. I.; SADIQ, R.; VEITCH, B. Life cycle iNdeX (LInX): a new indexing procedure for process and product design and decision-making. *Journal of Cleaner Production*, v. 12, n. 1, p. 59-76, 2004. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(02\)00194-4](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(02)00194-4).

KOHO, M. et al. Towards manufacturing system sustainability assessment: an initial tool and development plans. In: *Advances in Sustainable Manufacturing*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011. p. 309-314. https://doi.org/10.1007/978-3-642-20183-7_44.

KOREN, Y. et al. Sustainable Living Factories for Next Generation Manufacturing. *Procedia Manufacturing*, v. 21, p. 26–36, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.091>.

KRAJNC, D.; GLAVIČ, P. A model for integrated assessment of sustainable development. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 43, n. 2, p. 189-208, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2004.06.002>.

KWATRA, S. et al. Benchmarking sustainability using indicators: An Indian case

study. *Ecological indicators*, v. 61, p. 928-940, 2016.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.10.049>.

LEAL, M. R. L. V. *et al.* Outras matérias-primas para a produção de etanol. Bioetanol de Cana-de-Açúcar: P&D para produtividade e Sustentabilidade. São Paulo: Blucher, 2010.

LIEDER, M.; RASHID, A. Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. *Journal of cleaner production*, v. 115, p. 36-51, 2016.

LIMA, A., FERRARSI, V. Análise da Microestrutura e da Resistência ao Desgaste de Revestimento Duro Utilizado pela Indústria Sucroalcooleira, *Soldagem & Inspeção*, SP, Vol. 12. 2009.

LIU, X. *et al.* Comparing national environmental and economic performances through energy sustainability indicators: Moving environmental ethics beyond anthropocentrism toward ecocentrism. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 58, p. 1532-1542, 2016.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.188>.

LOURENÇO, I. C.; BRANCO, M. C. Determinants of corporate sustainability performance in emerging markets: The Brazilian case. *Journal of Cleaner Production*, v. 57, p. 134–141, 2013.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.06.013>.

LU, T. *et al.* A framework of product and process metrics for sustainable manufacturing. In: *Advances in Sustainable Manufacturing*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011. p. 333-338.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-20183-7_48.

LU, T. A metrics-based sustainability assessment of cryogenic machining using modeling and optimization of process performance. 2014.

MOLDAN, B. *et al.* Composite indicators of environmental sustainability. *Statistics, Knowledge and Policy*, v. 1, n. 2, p. 1-10, 2004.

MOLDAVSKA, A.; WELO, T. The concept of sustainable manufacturing and its definitions: A content-analysis based literature review. *Journal of Cleaner Production*, v. 166, p. 744-755, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.006>.

MORAES; A. J. I. M. Proposta de um Método de Avaliação do Nível de Sustentabilidade em Processos de Manufatura. Tese de Doutorado, Universidade Metodista de Piracicaba, SP, 2016.

MINISTERIO DO TRABALHO E EMPREGO DO BRASIL - MTE - Normas Regulamentadoras. Brasília. Disponível em: <http://trabalho.gov.br/index.php/seguranca-e-saude-no-trabalho/normatizacao/normas-regulamentadoras>. Acesso em julho de 2019.

MURAD, M. Q. *et al.* Aplicação de chapisco em moenda de cana de açúcar com o processo FCAW. 2015. <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/20880>.

NANNAPANENI, S.; MAHADEVAN, S.; RACHURI, S. Performance evaluation of a manufacturing process under uncertainty using Bayesian networks. *Journal of Cleaner Production*, v. 113, p. 947-959, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.003>.

NASR, N.; HILTON, B.; GERMAN, R. *Advances in Sustainable Manufacturing*. Springer Science & Business Media p. 189–190, 2011.

NIOSH. Identifying high-risk small business industries: the basis for preventing occupational injury, illness, and fatality. Cincinnati: National Institute for Occupational Safety and Health, 1999

OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development. “Eco-Innovation in Industry: enabling green growth,” OECD Publishing, Paris, France, 2010.

OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development. *Environmental Indicators—Development, Measurement and Use*. OCDE, Paris, 2003.

OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development. *Green Growth Indicators 2017*, OECD Green Growth Studies, OECD Publishing, Paris. Acesso em: maio 2018. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264268586-en>.

OECD - Organization for Economic Co-operation and Development. *OECD Sustainable Manufacturing Indicators (2011)*. Acessado em setembro de 2019. <http://www.oecd.org/innovation/green/toolkit/oecd sustainable manufacturing indicators.htm>.

PAYNE, J.H.; Operações Unitárias na Produção de Açúcar de Cana. São Paulo: Editora Nobel, STAB, 1989.

PEARCE, D. W.; TURNER, R. K. *Economics of natural resources and the environment*. JHU Press, 1990.

PHILIPP JR, A.; MALHEIROS, T. F. *Indicadores de Sustentabilidade e Gestão Ambiental*. Barueri: Manole; 2012.

PICCHIAI, D.; FERNANDES, R. Treinamento nos micros e pequenas empresas e rotatividade de pessoal. *Novos Cadernos NAEA*, v. 22, n. 1, 2019.

POHL, Eva. *Towards Corporate Sustainable Development: The ITT Flygt Sustainability Index*. 2006. Tese de Doutorado. Institutionen för Samhällsteknik.

PRESCOTT-ALLEN, Robert. *Barometer of Sustainability: Measuring and communicating wellbeing and sustainable development*. IUCN, Gland, CH, 1997.

RENN, O. et al. A normative-functional concept of sustainability and its indicators. *International Journal of Global Environmental Issues*, v. 9, n. 4, p. 291–317, 2009.

RIVAS, J. S.; CORONADO, J. J.; GÓMEZ, A. L. Tribological aspects for the shafts and bearings of sugar cane mills. *Wear*, v. 261, n. 7-8, p. 779-784, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2006.01.026>.

RIZZO, G. V; BATOCCHIO, A. Manufatura Sustentavel: Estudo e Análise da Adopção Articulada das Técnicas de Produção Mais Limpa e Produção Enxuta. *Proceedings of 3rd International Workshop Advances in Cleaner Production*, p. 9, 2011.

ROCA, L. C.; SEARCY, C.: An analysis of indicators disclosed in corporate sustainability reports, *Journal of Cleaner Production*, v. 20, p. 103-118, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.08.002>.

ROKHMawatia, A.; SATHYEB, M.; SATHYEC, S. The Effect of GHG Emission, Environmental Performance, and Social Performance on Financial Performance of Listed Manufacturing Firms in Indonesia. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. vol. 211, p. 461–470, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.11.061>.

SARKAR, P. et al. Sustainable Manufacturing Indicator Repository. Volume 2: 31st Computers and Information in Engineering Conference, Parts A and B, v. 2, n. PARTS A AND B, p. 943–950, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.05.030>.

SCHMIDT, W. P.; TAYLOR, A. Ford of Europe's product sustainability index. In: *Proceedings of 13th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering*. Leuven May 31st–June 2nd. 2006. p. 5-10.

SCHRIPPE, P.; RIBEIRO, J. L. D. Corporate sustainability assessment heuristics: A study of large Brazilian companies. *Journal of Cleaner Production*, v. 188, p. 589–600, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.232>.

SHUAIB, M. *et al.* Product Sustainability Index (ProdSI) A Metrics-based Framework to Evaluate the Total Life Cycle Sustainability of Manufactured Products. *Journal of Industrial Ecology*, v. 18, n. 4, p. 491-507, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.234>.

STEINGRÍMSSON, J. G. et al. Business Strategies for Competition and Collaboration for Remanufacturing of Production Equipment. In: *Advances in Sustainable Manufacturing*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011. p. 91-97.. https://doi.org/10.1007/978-3-642-20183-7_14.

STOCK, T.; SELIGER, G. Opportunities of sustainable manufacturing in industry 4.0. *Procedia Cirp*, v. 40, p. 536-541, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.129>.

- SU, B. *et al.* A review of the circular economy in China: moving from rhetoric to implementation. *Journal of Cleaner Production*, v. 42, p. 215-227, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.11.020>.
- VELEVA, V.; ELLENBECKER, M. Indicators of sustainable production: framework and methodology. *Journal of cleaner production*, v. 9, n. 6, p. 519-549, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(01\)00010-5](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(01)00010-5).
- WACKERNAGEL, M., REES, W.E. *Our ecological footprint: reducing human impact on the Earth*. Gabriola Island, New Society Publishers, 1996.
- WAL-MART SPI (Sustainable Product Index) (2009), *Supplier Sustainability Assessment: 15 Questions for Suppliers*, <http://walmartstores.com/download/3863.pdf>.
- WINROTH, M., ALMSTRÖM, P., & ANDERSSON, C. Sustainable indicators at factory level-a framework for practical assessment. In *IIE Annual Conference. Proceedings* (p. 1). Institute of Industrial and Systems Engineers (IISE), 2012.
- WANIGARATHNE, P. C. *et al.* Assessment of process sustainability for product manufacture in machining operations. In: *Proceedings of the Global Conference on Sustainable Product Development and Life Cycle Engineering*, Berlin, Germany. 2004. p. 305-312.
- WU, H. *et al.* Effectiveness of the policy of circular economy in China: A DEA-based analysis for the period of 11th five-year-plan. *Resources, conservation and recycling*, v. 83, p. 163-175, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.10.003>.
- YUAN, C.; ZHAI, Q.; DORNFELD, D. A three dimensional system approach for environmentally sustainable manufacturing. *CIRP annals*, v. 61, n. 1, p. 39-42, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2012.03.105>.
- ZANUTO, R. D. S. *Avaliação de parâmetros de sustentabilidade de processos de usinagem*. p. 101, . Tese de Doutorado. Universidade de Campinas, 2016.
- ZHANG, H.; HAAPALA, K. R. Integrating sustainable manufacturing assessment into decision making for a production work cell. *Journal of Cleaner Production*, v. 105, p. 52-63, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.038>.
- ZHOU, Z. *et al.* Sustainable production line evaluation based on evidential reasoning. *Sustainability*, v. 9, n. 10, p. 1811, 2017. <https://doi.org/10.3390/su9101811>.
- ZUM GAHR, K. H. *Microstructure and Wear of Materials*. Tribology Series, v. 10, Elsevier Science Publishers, Amsterdam. 560 p. 1987.

Apêndice 1- Pesquisa

Nome:

Empresa:

Permite a divulgação de seu nome e empresa? Sim () não ()

O objetivo desta pesquisa é verificar a relevância dos KPIs escolhidos para compor a base do Índice de sustentabilidade, que é uma proposta de doutorado a ser defendida em marco de 2020. Para isso foram escolhidos 9 especialistas, sendo eles 3 pesquisadores, 3 consultores de empresas e 3 diretores de empresa. A Figura 3.1 apresenta os pilares dos índices de sustentabilidade proposto e os KPIs de cada pilar.

Figura 3.1. Estrutura da proposta do indicador de sustentabilidade

Pesquisa:

Conforme o seu entendimento classifique a relevância do KPI que servirá como base para a mensuração do Índice de Sustentabilidade de etapas de produção industrial.

Legenda: (1) Nenhuma Relevância, (2) Fraca Relevância, (4) significativa relevância e (5) Forte relevância.

1. KPI Insalubridade

O conceito de insalubridade visa identificar atividades ou operações insalubres que se desenvolvem, acima dos limites de tolerância na presença de agentes como ruído contínuo ou intermitente, ruídos de impacto, exposição ao calor, radiações ionizantes, poeiras, condições hiperbáricas, agentes químicos, agentes biológicos, radiações não ionizantes, vibrações, frio e umidade.

() *Nenhuma Relevância* () *Fraca Relevância* () *significativa relevância* () *Forte relevância*

2. KPI Risco de Acidentes

A mensuração do conceito de risco de acidente, será realizada por uma técnica clássica de gerenciamento de risco, conhecida como Análise Preliminar de Riscos (APR)

() *Nenhuma Relevância* () *Fraca Relevância* () *significativa relevância* () *Forte relevância*

3. KPI Treinamento

Investimentos no campo da gestão de pessoal, treinamento e desenvolvimento que gerem resultados gerenciais

() *Nenhuma Relevância* () *Fraca Relevância* () *significativa relevância* () *Forte relevância*

4. KPI Nível de Escolaridade

Referentes a formação escolar dos trabalhadores que atuam na etapa do processo analisado

() *Nenhuma Relevância* () *Fraca Relevância* () *significativa relevância* () *Forte relevância*

5. KPI Taxa de Gravidade

Visa identificar o nível de gravidade dos acidentes ocorridos na etapa do processo analisado.

() *Nenhuma Relevância* () *Fraca Relevância* () *significativa relevância* () *Forte relevância*

6. KPI Taxa de Frequência de Acidentes

Taxa de frequência de acidentes ocorridos na etapa de processo

() *Nenhuma Relevância* () *Fraca Relevância* () *significativa relevância* () *Forte relevância*

7. KPI Grau de Satisfação

Com base na clássica Avaliação de Desempenho 360°

() *Nenhuma Relevância* () *Fraca Relevância* () *significativa relevância* () *Forte relevância*

8. KPI Nível Salarial

Corresponde à média dos salários dos trabalhadores, em porcentagem, comparados aos demais trabalhadores da empresa

() *Nenhuma Relevância* () *Fraca Relevância* () *significativa relevância* () *Forte relevância*

9. KPI Periculosidade

Considerando que o risco a saúde e a segurança do trabalhador aumenta com a quantidade de exposição simultânea a vários perigos

() *Nenhuma Relevância* () *Fraca Relevância* () *significativa relevância* () *Forte relevância*

10. KPI Ergometria

Avaliação da carga física de trabalho

() *Nenhuma Relevância* () *Fraca Relevância* () *significativa relevância* () *Forte relevância*

11. KPI Nível de Rotatividade

É baseado no volume de entradas e saídas de pessoal em relação aos recursos humanos disponíveis nas empresas

() Nenhuma Relevância () Fraca Relevância () significativa relevância () Forte relevância

12. KPI Nível de Absenteísmo

Reflete a porcentagem de tempo perdido (não trabalhado) devido às ausências de colaboradores

() Nenhuma Relevância () Fraca Relevância () significativa relevância () Forte relevância

13. KPI Custo com Acidentes

A metodologia adotada é baseada na proposta da NIOSH (1999)

() Nenhuma Relevância () Fraca Relevância () significativa relevância () Forte relevância

14. KPI Custo com Absenteísmo

Reflete diretamente no custo da empresa, em decorrência das ausências em relação ao volume de atividade planejada.

() Nenhuma Relevância () Fraca Relevância () significativa relevância () Forte relevância

15. KPI Custo com Rotatividade

Semelhante ao absenteísmo, o Custo relativo a rotatividade.

() Nenhuma Relevância () Fraca Relevância () significativa relevância () Forte relevância

16. Custo com Treinamento

Custo relativo ao treinamento necessário para a execução da operação desta etapa de produção.

() Nenhuma Relevância () Fraca Relevância () significativa relevância () Forte relevância

17. KPI Custo com Não Conformidade

Retrabalho de produtos ou serviços

() Nenhuma Relevância () Fraca Relevância () significativa relevância () Forte relevância

18. KPI Custo com Mão de Obra

Custo relativo a mão de obra

() Nenhuma Relevância () Fraca Relevância () significativa relevância () Forte relevância

19. KPI Consumo de energia elétrica

Custo relativo ao consumo elétrico

() Nenhuma Relevância () Fraca Relevância () significativa relevância () Forte relevância

20. KPI Custo com Consumo de Água

Custo relativo ao consumo de água

() Nenhuma Relevância () Fraca Relevância () significativa relevância () Forte relevância

21. KPI Custo com Matéria Prima e Insumos

Custo relativo ao custo de matéria prima

() Nenhuma Relevância () Fraca Relevância () significativa relevância () Forte relevância

22. KPI Nível de Automação

Considerando o nível de automação, sendo uma prática contribui para a sustentabilidade do processo, uma vez que proporciona benefícios aos operadores, a redução de resíduos e em consequência em vantagens econômicas

() Nenhuma Relevância () Fraca Relevância () significativa relevância () Forte relevância

23. KPI Programa 5S ou Similar

A filosofia 5S, em uma empresa, tem por princípio à manutenção da limpeza e organização de todas as áreas e recursos a elas inerentes, envolvendo de um modo geral todos os funcionários envolvidos no processo, independente do seu nível hierárquico.

() Nenhuma Relevância () Fraca Relevância () significativa relevância () Forte relevância

24. KPI Programa Kaizen ou Similar

A filosofia Kaizen, em uma empresa, promove constantes melhorias, através de um conjunto de valores que orientam o comportamento dos colaboradores.

() Nenhuma Relevância () Fraca Relevância () significativa relevância () Forte relevância

25. KPI Gestão da Manutenção

Implantação de planos de ação, orientados para a manutenção industrial, são capazes de proporcionar ganhos de eficiência, como i) redução da taxa de acidentes pessoais; ii) elevação das disponibilidades físicas das plantas; iii) redução no orçamento da manutenção e iv) redução de resíduos e retrabalhos

() Nenhuma Relevância () Fraca Relevância () significativa relevância () Forte relevância

26. KPI Gestão da Qualidade

Gerenciamento da qualidade

() Nenhuma Relevância () Fraca Relevância () significativa relevância () Forte relevância

27. KPI Motores de Alta Performance

Adoção de motores de alto rendimento em substituição aos da linha tradicionais, são principalmente justificadas na redução do consumo de energia elétrica, além de se destacarem nas vantagens relacionadas a custos de manutenção.

() Nenhuma Relevância () Fraca Relevância () significativa relevância () Forte relevância

28. Treinamento Operacional

Treinamentos de uma equipe para obter um grau de excelência

() Nenhuma Relevância () Fraca Relevância () significativa relevância () Forte relevância

29. KPI Atendimento a NR12 (Item 12.4)

Segundo o item 12.4 da Norma Regulamentadora 12, são consideradas medidas de proteção, a ser adotadas nessa ordem de prioridade: a) medidas de proteção coletiva; b) medidas administrativas ou de organização do trabalho; e c) medidas de proteção individual (MTE, 2019).

() Nenhuma Relevância () Fraca Relevância () significativa relevância () Forte relevância

30. Ações Trabalhistas

Quantidade de ações trabalhistas impetradas a empresa, exclusivas ao processo estudado

() Nenhuma Relevância () Fraca Relevância () significativa relevância () Forte relevância

31. KPI Atuações pelo Ministério do Trabalho e Emprego (MTE)

O KPI atuações pelo MTE será mensurada pela quantidade de multas recebidas, exclusivas ao processo estudado

() Nenhuma Relevância () Fraca Relevância () significativa relevância () Forte relevância

32. KPI Atuações pelo Ministério do Meio Ambiente (MA)

O KPI atuações pelo MA é mensurada pela quantidade de multas recebidas, exclusivas ao processo estudado

() Nenhuma Relevância () Fraca Relevância () significativa relevância () Forte relevância

33. Treinamento Relativo a Segurança do Trabalho

Capacitação providenciada pelo empregador e compatível com suas funções, que aborde os riscos a que estão expostos e as medidas de proteção existentes e necessárias

() Nenhuma Relevância () Fraca Relevância () significativa relevância () Forte relevância

34. KPI Treinamento em Aspectos Ambientais

Treinamento operacional, é mensurada pela quantidade de horas de treinamento específicos em ações que contribuam com a preservação do meio ambiente, relativas para a etapa de processo estudada

() Nenhuma Relevância () Fraca Relevância () significativa relevância () Forte relevância

35. KPI Resíduos Perigosos

Conforme norma ABNT NBR 10.004 (ABNT, 2004b), a classificação de resíduos sólidos perigosos, são aqueles que apresentam periculosidade, associadas as características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade e patogenicidade.

() Nenhuma Relevância () Fraca Relevância () significativa relevância () Forte relevância

36. KPI Resíduos Inertes e Não Inertes

Segundo a Norma ABNT NBR 10.004 (ABNT, 2004b), a classificação de resíduos sólidos não perigosos, são subdivididos em duas classes, os produtos inertes e não inertes.

() Nenhuma Relevância () Fraca Relevância () significativa relevância () Forte relevância

37. KPI Emissão Atmosférica

Os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos estão dentro das normas vigentes

() Nenhuma Relevância () Fraca Relevância () significativa relevância () Forte relevância

38. KPI Plano de Emergência

O Plano de Ação de Emergência (PAE) é um conjunto de planos de ação previamente elaborados para atender a ocorrência de acidentes com produtos químicos.

() Nenhuma Relevância () Fraca Relevância () significativa relevância () Forte relevância

39. KPI Eficiência no Uso de Água

Deteção de ações que contribuam com eficiência no uso de água, na presença de desperdícios (como vazamentos) e na existência em mecanismo de reuso.

() Nenhuma Relevância () Fraca Relevância () significativa relevância () Forte relevância

40. KPI Geração de Águas Residuais

Geração de água residuais.

() Nenhuma Relevância () Fraca Relevância () significativa relevância () Forte relevância

41. KPI Descarte de Águas Residuais

Descarte de águas residuais

() Nenhuma Relevância () Fraca Relevância () significativa relevância () Forte relevância

42. KPI Emissão de GEE

Calculado utilizando a metodologia ABNT ISO/TS 14067 (ABNT, 2015).

() Nenhuma Relevância () Fraca Relevância () significativa relevância () Forte relevância

Apêndice 2 – Resumo da Pesquisa

KPIs	C1	C2	C3	E1	E2	P1	P2	%
1	5	4	5	5	5	5	5	97%
2	5	2	5	5	5	5	4	89%
3	5	4	5	5	5	4	2	86%
4	2	5	1	4	5	4	1	63%
5	5	4	2	5	4	4	2	74%
6	5	2	5	5	5	4	4	86%
7	5	5	5	5	3	4	4	89%
8	5	4	5	4	4	2	4	80%
9	4	2	5	5	5	5	5	89%
10	4	2	5	5	3	5	5	83%
11	4	2	4	5	5	4	4	80%
12	5	4	4	4	4	4	4	83%
13	5	1	2	5	5	4	4	74%
14	5	1	2	5	5	4	4	74%
15	4	1	2	4	5	2	4	63%
16	4	4	2	4	4	2	2	63%
17	4	4	2	5	5	2	5	77%
18	4	2	2	4	5	2	4	66%
19	4	5	2	4	5	2	4	74%
20	5	5	2	4	4	2	5	77%
21	2	5	2	5	5	4	4	77%
22	4	4	5	4	5	4	4	86%
23	4	4	2	5	5	4	4	80%
24	4	1	2	5	4	5	4	71%
25	5	1	5	5	5	5	4	86%
26	5	2	5	4	4	5	2	77%
27	4	4	4	4	4	4	4	80%

28	5	2	5	5	5	5	2	83%
29	5	4	4	5	5	4	2	83%
30	5	5	4	4	5	5	2	86%
31	5	4	4	5	5	4	2	83%
32	5	5	4	5	4	4	2	83%
33	5	4	4	5	5	4	2	83%
34	5	2	4	5	5	5	2	80%
35	5	2	5	4	5	5	4	86%
36	4	5	5	5	5	5	4	94%
37	5	5	5	5	5	5	4	97%
38	5	2	5	5	5	4	2	80%
39	5	5	5	5	5	5	4	97%
40	5	5	5	5	5	5	4	97%
41	5	5	5	5	5	5	4	97%
42	5	5	5	5	5	5	4	97%
Note: Average of relevance pointed out by the interviewees 82,1%								