

UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA
CAMPUS TAQUARAL
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

MODELO DE AVALIAÇÃO DE PROCESSOS DE USINAGEM
SOB A ÓTICA DA ECONOMIA CIRCULAR E DO LEAN
MANUFACTURING

LUIZ VICENTE NETO

ORIENTADOR: PROF. DR. FERNANDO CELSO DE CAMPOS

PIRACICABA

2022

UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA
CAMPUS TAQUARAL
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

MODELO DE AVALIAÇÃO DE PROCESSOS DE USINAGEM
SOB A ÓTICA DA ECONOMIA CIRCULAR E DO LEAN
MANUFACTURING

LUIZ VICENTE NETO

ORIENTADOR: PROF. DR. FERNANDO CELSO DE CAMPOS

Texto para Defesa de Tese apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Metodista de Piracicaba – UNIMEP, como requisito para obtenção do Título de Doutor em Engenharia de Produção.

PIRACICABA

2022

Ficha Catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da UNIMEP
Bibliotecário: Fábio Henrique dos Santos Corrêa – CRB: 8/10150

N469 Neto, Luiz Vicente
Modelo de avaliação de processos de usinagem sob a ótica da economia circular e do Lean Manufacturing. /Luiz Vicente Neto – 2022.
185 fls.; il.; 30 cm.

Orientador (a): Prof. Dr. Fernando Celso de Campos
Tese (Doutorado) – Universidade Metodista de Piracicaba, Engenharia de Produção, Piracicaba, 2022.

1. Circularidade. 2. Lean Manufacturing . 3. Usinagem. I. Neto, Luiz Vicente. II. Título.

CDD – 620

MODELO DE AVALIAÇÃO DE PROCESSOS DE USINAGEM SOB A ÓTICA DA ECONOMIA CIRCULAR E DO LEAN MANUFACTURING

LUIZ VICENTE NETO

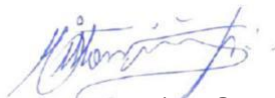
Tese de Doutorado defendida e aprovada em 10 de março de 2022, pela Banca Examinadora constituída pelos Professores:



Prof. Dr. Fernando Celso de Campos - (Presidente e Orientador)
(PPGEP - UNIMEP)



Prof. Dr. Daniel Luis Garrido Monaro (PPGEP - UNIMEP)



Prof. Dr. Milton Vieira Junior (PPGEP - UNIMEP)



Prof. Dr. Antonio Carlos de Francisco (PPGEP – UFTPR)



Prof. Dr. Otávio José de Oliveira (PPGEP – UNESP)

Às pessoas que me ajudaram tanto nesse caminho, Samira, esposa, companheira e amiga de todas as horas. À Ana Luiza e Maria Laura minhas filhas amadas, e aos amigos do PPGEF e de toda Unimep, e IFSP que tanto me ajudam a ter forças para continuar crescendo e aprendendo.

Dedico

Às principais pessoas em minha vida, José Luiz (*in memoriam*), Marilda e Gisele que são minha família e que me inspiraram, formaram e me fizeram seguir o reto caminho superando minhas limitações e todos os obstáculos para atingir meus objetivos.

Ofereço

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo Dom da Vida, pela graça em Jesus Cristo e pela vocação concedida na construção desse trabalho, que tem o fim último de honrá-lo e exaltá-lo.

À minha esposa Samira ("sem sua presença e companheirismo, eu não teria conseguido") e às minhas filhas Ana Luiza, Maria Laura meus pais José Luiz (*in memorian* – obrigado por ter sempre depositado em mim sua confiança) e Marilda (por todo seu apoio e orações ontem, hoje e sempre), minha irmã Gisele, meus amigos e toda minha família, pela compreensão e dedicação constantes, os meus sinceros agradecimentos.

Ao amigo e orientador, professor Dr. Fernando Celso de Campos, pelos ensinamentos transmitidos, pelas orações, palavras, pela atenção, pela paciência e pela dedicação dispensada no desenvolvimento deste trabalho.

Professor Dr. Daniel Luís Garrido Monaro, agradeço a amizade, atenção, ensinamentos, ajuda e dedicação no desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço aos membros da banca examinadora, pelo interesse, disponibilidade e se dispuseram a estar aqui trazendo uma contribuição técnica e uma visão especializada sobre o trabalho.

Ao IFSP e a toda equipe do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Metodista de Piracicaba, aos professores e amigos do programa.

Às empresas que aceitaram participar das aplicações, e aos profissionais.

A Capes – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela concessão da bolsa de estudos.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

“...ALIÁS NÓS SABEMOS QUE TUDO
CONCORRE PARA O BEM DOS QUE
AMAM A DEUS, QUE SÃO
CHAMADOS SEGUNDO O SEU
DESÍGNIO...”

(Rm 8, 28.)

VICENTE NETO, Luiz. **Modelo de Avaliação de Processos de Usinagem sob a Ótica da Economia Circular e do Lean Manufacturing** 2022. 183 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) Universidade Metodista de Piracicaba, Campus Taquaral, Piracicaba, S.P.

RESUMO

A economia circular (EC) está se tornando um conceito global contendo elementos importantes que podem ser aplicados nas diferentes áreas do conhecimento. Os padrões de consumo e crescimento desordenado estão levando a sociedade para o esgotamento dos recursos naturais prejudicando o ecossistema. No entanto, mesmo com inúmeros indicadores a EC não contempla, diretamente, os processos de usinagem, quesitos estes que podem contribuir para as práticas voltadas à sustentabilidade. A adoção do *Lean Manufacturing* (LM) tem permitido que empresas em todo o mundo melhorem seu desempenho operacional, com a melhor utilização dos recursos de produção, a redução do desperdício e o aumento do valor agregado para cliente, que são pensamentos que possuem uma sinergia com a EC. O objetivo geral deste trabalho consistiu em criar um modelo de avaliação com enfoque conjunto entre a EC e o LM para as empresas aferirem os processos de usinagem. A abordagem metodológica consistiu em uma revisão bibliográfica, a elaboração de um modelo teórico - conceitual e uma aplicação de ilustração. A partir disso, foi proposto um modelo de avaliação. Os possíveis resultados alcançados com a aplicação desse modelo são: (a) melhorar a produtividade dos recursos da manufatura, reduzindo os desperdícios, reduzir o impacto ambiental e manter o valor agregado dos componentes nos processos de usinagem; (b) Reduzir dos Recursos Naturais Investidos; (c) reduzir os resíduos gerados; (d) aumentar o tempo de permanência dos recursos no processo. Conclui-se que a contribuição acadêmica veio da integração da EC e LM no modelo proposto. A contribuição para a gestão/ aplicação foi demonstrada nos processos de usinagem em três empresas metal mecânica, melhorando o desempenho organizacional e ambiental.

PALAVRAS-CHAVE: CIRCULARIDADE, LEAN MANUFACTURING, USINAGEM, SISTEMA DE INDICADORES, MODELO DE AVALIAÇÃO

VICENTE NETO, Luiz. **Machining Process Assessment Model from the Perspective of Circular Economy and Lean Manufacturing** 2022. 183p. Thesis (Doctorate Degree in Production Engineering) – Methodist University of Piracicaba, Campus Taquaral, Piracicaba, S.P.

ABSTRACT

The circular economy (CE) is becoming a global concept containing important elements that can be applied in different areas of knowledge. Consumption patterns and disordered growth are leading society to deplete natural resources, harming the ecosystem. However, even with numerous indicators, EC does not directly address the machining processes, which can contribute to practices aimed at sustainability. The adoption of Lean Manufacturing (LM) has allowed companies around the world to improve their operational performance, with better use of production resources, reducing waste and increasing customer value, which are thoughts that have a synergy with EC. The general objective of this work is to create an evaluation model with a joint focus between EC and LM for companies to assess machining processes. The methodological approach consisted of a literature review, the development of a theoretical-conceptual model and an application of illustration. From this, an evaluation model was proposed. The possible results achieved with the application of this model are: (a) Improve the productivity of manufacturing resources, reducing waste, reducing the environmental impact and maintaining the added value of components in the machining processes; (b) Reduce the Natural Resources Invested; (c) Reduce waste generated; (d) Increase the time that resources remain in the process. It is concluded that the academic contribution came from the integration of EC and LM in the proposed model. The contribution to management/application was demonstrated in the machining processes in three metalworking companies, improving organizational and environmental performance.

KEYWORDS: CIRCULARITY, LEAN MANUFACTURING, MACHINING, INDICATOR SYSTEM, EVALUATION MODEL

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	I
LISTA DE QUADROS	II
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	IV
1. INTRODUÇÃO	6
1.1. OBJETIVOS DA PESQUISA.....	10
1.2. JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA.....	11
1.3. CONTRIBUIÇÃO DO TRABALHO.....	13
1.4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	14
1.5. DELIMITAÇÃO DO TRABALHO	16
1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO	16
2. REVISÃO DA LITERATURA	18
2.1. PROCESSOS DE USINAGEM	18
2.3.1 – USINAGEM VERDE	23
2.2. ECONOMIA CIRCULAR	26
2.1.1 – A EVOLUÇÃO TÉCNICA DA ECONOMIA CIRCULAR	32
2.1.2 – ECONOMIA CIRCULAR: PRINCÍPIOS, OBJETIVOS E CARACTERÍSTICAS.....	34
2.1.3 – IMPLANTAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DA ECONOMIA CIRCULAR.....	41
2.3. LEAN MANUFACTURING.....	43
2.3.1 - FERRAMENTAS E TÉCNICAS LEAN.....	47
2.3.2 – IMPLANTAÇÃO DOS PRINCÍPIOS E TÉCNICAS DO LEAN MANUFACTURING	54
2.4. INTEGRAÇÃO ENTRE OS CONCEITOS	55
3. ABORDAGEM METODOLÓGICA	67
3.1. CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	67
3.2. FLUXO METODOLÓGICO	68
4. MODELO DE AVALIAÇÃO CONCEITUAL INTEGRADOR - MACI	70
4.1. ESTRUTURA GERAL E ELEMENTOS-CHAVES DO MACI.....	71
4.2. ROTEIRO DE IMPLANTAÇÃO DO MACI	80
4.2.1 – AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA – (F ₀)	81
4.2.2 – F ₁ – IMPLANTAÇÃO DOS CINCO NÍVEIS DO MACI	96
4.2.3 – RESULTADOS POSSÍVEIS APÓS IMPLANTAÇÃO DO MACI	109
5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	112
6. CONCLUSÃO	148
6.1 PROPOSTA PARA TRABALHOS FUTUROS	149
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	151

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – VISÃO GERAL DA ESTRUTURA DO TRABALHO.....	15
FIGURA 2 – CLASSIFICAÇÃO DOS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO.....	19
FIGURA 3 – CONTROLE DE ENTRADAS E SAÍDAS DE RECURSOS NA EC.....	32
FIGURA 4 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO MODELO DE EC.	38
FIGURA 5 – MCI: REPRESENTAÇÃO DOS FLUXOS DE MATERIAIS	62
FIGURA 6 – FLUXO METODOLÓGICO DO TRABALHO	69
FIGURA 7 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO MACI.....	71
FIGURA 8 - NÍVEIS DE IMPLANTAÇÃO DO MACI.....	74
FIGURA 9 – APLICAÇÃO DO MACI NA FASES DE PRODUÇÃO E CONSUMO NO PROCESSO DE USINAGEM	76
FIGURA 10 - AS 5 ETAPAS DO MODELO DE AVALIAÇÃO CONCEITUAL INTEGRADOR (MACI).....	77
FIGURA 11 – DETALHAMENTO ILUSTRATIVO DAS ENTRADAS, SAÍDAS E ÍNDICES DA USINAGEM.....	79
FIGURA 12 – DETALHAMENTO DA AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA – F ₀	82
FIGURA 13 – FERRAMENTAS PARA O DIRECIONAMENTO DA PERFORMANCE OPERACIONAL E AMBIENTAL APÓS A AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA – F ₀	94
FIGURA 14 – N ₁ : INICIANTE.....	97
FIGURA 15 – N ₂ : INTERMEDIÁRIO	100
FIGURA 16 – N ₄ : RUMO A ECONOMIA CIRCULAR	103
FIGURA 17 – N ₄ : EXPERTS	106
FIGURA 18 – N ₅ : EXCELÊNCIA EM ECONOMIA CIRCULAR.....	108
FIGURA 19 – LINHA DE USINAGEM DE CAMISAS.....	137
FIGURA 20 - CONDIÇÃO DA LINHA APÓS A APLICAÇÃO DA EC INICIANDO COM O MÉTODO 3R.	144

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: DEFINIÇÕES MAIS UTILIZADAS NA EC	29
QUADRO 2: PRINCÍPIOS DA EC.....	36
QUADRO 3: OBJETIVOS DA EC	38
QUADRO 4: CARACTERÍSTICAS PARA OS PROCESSOS DA EC.....	39
QUADRO 5: GRUPOS DE DESPERDÍCIOS.....	45
QUADRO 6: FERRAMENTAS DO LM.....	48
QUADRO 7: DESPERDÍCIOS DO LM VS DESPERDÍCIOS GREEN.....	53
QUADRO 8: VISÃO GERAL DOS INDICADORES DE EC	58
QUADRO 9: VISÃO GERAL DOS INDICADORES DE LM E GM COM SINERGIA COM EC.....	65
QUADRO 10: DIMENSÕES E MÉTRICAS PARA UMA USINAGEM SUSTENTÁVEL	66
QUADRO 11: ESCALA DE NÍVEL COM PONTUAÇÃO PARA AS MELHORES PRÁTICAS... ..	84
QUADRO 12: ASPECTOS DA AVALIAÇÃO DO PERFIL ORGANIZACIONAL.	85
QUADRO 13: EXEMPLO DA DETERMINAÇÃO DA PONTUAÇÃO	86
QUADRO 14: ASPECTOS DA AVALIAÇÃO GLOBAL DA EC.....	87
QUADRO 15: EXEMPLO DA DETERMINAÇÃO DA PONTUAÇÃO DA AVALIAÇÃO GLOBAL DA EC.....	88
QUADRO 16: ASPECTOS DA AVALIAÇÃO GLOBAL DO LM.	90
QUADRO 17: VISÃO GERAL DAS PRÁTICAS EC, LM E GM PARA O DIRECIONAMENTO DA PERFORMANCE PRODUTIVAS.....	95
QUADRO 18: N ₁ – INICIANTE: QUADRO DE INDICADORES	99
QUADRO 19: N ₂ – INTERMEDIÁRIO: QUADRO DE INDICADORES	102
QUADRO 20: N ₃ – RUMO A EC: QUADRO DE INDICADORES	104
QUADRO 21 - N₄ - EXPERTS – QUADRO DE INDICADORES	107
QUADRO 22: N ₅ - EXCELÊNCIA EM ECONOMIA CIRCULAR – QUADRO DE INDICADORES	109
QUADRO 23 – RESULTADO DO PERFIL ORGANIZACIONAL - “EMPRESA A”	112
QUADRO 24 – RESULTADO DA AVALIAÇÃO GLOBAL DA EC – EMPRESA “A”	113
QUADRO 25 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO GLOBAL DO LM - “EMPRESA A”	114
QUADRO 26 – RESULTADO DA AVALIAÇÃO DA NÍVEL N ₁ - INICIANTE – EMPRESA “A”	116
QUADRO 27 – AVALIAÇÃO DA ETAPA N ₂ – INTERMEDIÁRIO – EMPRESA “A”	118
QUADRO 28 - AVALIAÇÃO DA ETAPA N ₃ – RUMO A EC – EMPRESA “A”	119
QUADRO 29 - AVALIAÇÃO DA ETAPA N ₄ – EXPERTS – EMPRESA “A”	120
QUADRO 30 - AVALIAÇÃO DA ETAPA N ₅ – EXCELÊNCIA EM EC – EMPRESA “A”.....	121
QUADRO 31 – RESULTADO DO PERFIL ORGANIZACIONAL - “EMPRESA B”	122
QUADRO 32 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO GLOBAL DA EC - “EMPRESA B”	123
QUADRO 33 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO GLOBAL DO LM - “EMPRESA B”	123
QUADRO 34 – RESULTADO DA AVALIAÇÃO DA ETAPA N ₁ - INICIANTE	127
QUADRO 35 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DA ETAPA N ₂ - INTERMEDIÁRIO	128
QUADRO 36 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DA ETAPA N ₃ – RUMO A EC.	129
QUADRO 37 – RESULTADO DA AVALIAÇÃO DA ETAPA N ₄ - EXPERTS	130
QUADRO 38 – RESULTADO DA AVALIAÇÃO DA ETAPA N ₅ – EXCELÊNCIA EM EC.	131
QUADRO 39 – AVALIAÇÃO DO PERFIL ORGANIZACIONAL – EMPRESA “C”.....	133

QUADRO 40 – AVALIAÇÃO GLOBAL DA EC – EMPRESA “C”	134
QUADRO 41 – AVALIAÇÃO GLOBAL DO LM – EMPRESA “C”	135
QUADRO 42 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DA ETAPA N ₁ – INICIANTE.....	138
QUADRO 43 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DA ETAPA N ₂ – INTERMEDIÁRIO	139
QUADRO 44 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DA ETAPA N ₃ – RUMO A EC.	140
QUADRO 45 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DA ETAPA N ₄ – EXPERTS.	141
QUADRO 46 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DA ETAPA N ₅ – EXCELÊNCIA EM EC.....	142

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária

BSI - *British Standards Institution*

CAM - *Computer Aided Manufacturing* - Manufatura Auxiliada por Computador

CEO - *Chief Executive Officer* - Diretor Executivo

CNC - Comando Numérico Computadorizado

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

EC - Economia Circular

EMF - *Ellen MacArthur Foundation*

EPA - Agência de Proteção Ambiental dos EUA

LCA - Avaliação do Ciclo de Vida

LM - *Lean Manufacturing* – Produção Enxuta

MFCA - Contabilidade de Custos de Fluxo de Material

NIST - Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia dos EUA

NR - Norma Regulamentadoras

OECD - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

ONU - Organização das Nações Unidas

PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

PSS - *Product Service System* - Sistemas Produto-Serviço

RESOLVE - *REgenerate* - regenerar, *Share* - compartilhar, *Optimise* - otimizar,
Loop - ciclos, *Virtualise* - virtualizar e *Exchange* – substituir /
trocar

RSU - Resíduos Sólidos Urbanos

SAE - Sociedade dos Engenheiros Automotivos

STP - Sistema Toyota de Produção

TBL - *Triple Bottom Line*

WIP – *Work in Process* - trabalho em andamento

1. INTRODUÇÃO

O homem desenvolveu formas variadas para satisfazer suas necessidades (RIBEIRO e SILVA, 2002), criar facilidades, conforto, apropriando-se de recursos naturais (BRAUNGART e MCDONOUGH, 2009) e, posteriormente, convertendo-os em bens e serviços (HENAO, SARACHE e GÓMEZ, 2019).

A complexidade dos desafios contemporâneos sob o paradigma do processo produtivo tem direcionado as organizações a inovar (KAMPERMAN *et al.*, 2018), gerenciar mudanças e promover o surgimento de novos modelos de negócios (BJØRNBET *et al.*, 2021).

O crescimento de consumo de recursos naturais e a poluição, aliado à escassez dos recursos ecossistêmicos (GEORGE *et al.*, 2015), para satisfazer as necessidades da sociedade, tem causado uma pressão sobre a biosfera e, ao mesmo tempo, impactando os custos dos *commodities*, da energia e gerando a volatilidade de seus preços de mercado (CILIBERTO *et al.*, 2021).

Na história, nunca houve um crescimento do consumo e da produção maior do que o provocado pelas revoluções industriais (MOKTADIR, *et al.*, 2020). Apesar de ter causado crescimento econômico (aumento do capital e máxima eficiência) para as empresas, é importante ressaltar os impactos ambientais negativos provenientes da relação do homem com a natureza que, ao perceber que os recursos eram abundantes e disponíveis em grande escala (YADAV *et al.*, 2020), conduziu à contínua degradação ambiental e ao crescente aumento de resíduos (Reis *et al.*, 2021).

O aquecimento global, o agravamento do efeito estufa e seus impactos despertaram mais atenção para a sustentabilidade, impulsionada também pelos resultados negativos originários do sistema econômico linear – extrair, processar/transformar, consumir e descartar (PNUMA, 2011). Diante desses fatores, a busca pela sustentabilidade ganhou destaque como uma alternativa

para enfrentar e minimizar os problemas provocados pelo homem ao meio ambiente (KRISTENSEN e MOSGAARD, 2020).

De acordo com Mortazavi e Ivanov (2019), as indústrias de manufatura estão entre os maiores consumidores de recursos naturais. Eles estão no centro da crítica global, em particular, em relação às preocupações com o desempenho sustentável. Conseqüentemente, estas indústrias estão enfrentando um grande desafio para melhorar seu desempenho, além de aprimorar seus produtos e seus processos (WANG *et al.*, 2019).

Segundo Lahane, Prajapati e Kant, 2021, “*é um sistema econômico que utiliza uma abordagem sistêmica para manter o fluxo circular dos recursos, por meio da adição, retenção e regeneração de seu valor, contribuindo para o desenvolvimento sustentável*”, cujo objetivo é a geração de uma gestão eficiente dos recursos naturais existentes, ou seja, mantendo os produtos, componentes e materiais no mais alto nível de utilidade e valor ao longo do tempo por meio da integração dos processos.

Na prática, pode-se observar que as três dimensões do *triple botton line* (TBL) são insuficientes para solucionar os problemas ambientais, econômicos e sociais da contemporaneidade (EMF, 2012). Neste sentido, o conceito de Economia Circular (EC) tem sido ampliado e paulatinamente adotado por organizações e entidades governamentais do mundo (FIKSEL, SANJAY e RAMAN, 2021), sendo possível encontrar, nas fontes científicas e na mídia, editoriais que tratam o assunto como algo que contribui com o cotidiano das organizações (FOGARASSY e FINGER, 2020). Esses editoriais propõem concretas mudanças desde o projeto até o descarte dos produtos e seus resíduos (GENG, SARKIS, e BLEISCHWITZ, 2019), e que podem ser uma alternativa ao modelo econômico atual (economia linear) (ROMERO e ROSSI, 2017; MILLAR, MCLAUGHLIN, e BÖRGER, 2019).

Para Moktadir *et al.* (2020) a EC pode ser considerada um facilitador de econômico, ambiental, social. Isso se deve à adoção de práticas colaborativas, reaproveitamento, a reciclagem, processos de produção, *eco-design* de

produtos, minimização de resíduos, extensão do seu fim de vida e a otimização de recursos naturais que redefinem o modelo de negócios corporativo (KALMYKOVA *et al.*, 2018).

Kirchherr, Reike e Hekkert (2017), afirmaram que o conceito de EC está atrelado a um “sistema econômico” que substitui o conceito de "fim de vida" por redução, reutilização, reciclagem e recuperação de materiais na produção/processos de distribuição e consumo, operando no nível micro (produtos, empresas e consumidores), nível meso (parques eco industriais) e nível macro (cidades, regiões, nações), com o objetivo de alcançar prosperidade econômica e igualdade social gerando benefícios para as gerações atuais e futuras.

Murray, Skene e Haynes (2017), indicam que a EC é caracterizada pela interdisciplinaridade, ou seja, somente por meio da integração de diferentes ferramentas, disciplinas e ramos do conhecimento poder-se-á obter produtos economicamente viáveis que atendam às exigências de um mercado em constante evolução, sem agredir o meio ambiente e a sociedade (PANG e ZHANG, 2019)

Em paralelo a estas considerações, existe o conceito *Lean Manufacturing* – LM – ou Produção Enxuta), que consiste em produzir sem desperdícios (*wastes*) (WOMACK, JONES e ROSS, 2007), com maior eficiência e com foco no "valor" - que só pode ser definido pelo cliente final (WOMACK e JONES, 2015).

A implementação de práticas de LM integradas a outros conceitos e ferramentas proporcionam vantagens competitivas, como melhorias na qualidade do produto, produtividade, tempo, redução dos custos e dos impactos ambientais, saúde e segurança do trabalhador e satisfação do cliente em diversos países (YADAV *et al.*, 2020).

Nadeem (2019) argumentam que a combinação da EC com os princípios do LM parece um caminho natural a seguir, pois, da perspectiva enxuta, o valor é visto do ponto de vista do cliente, enquanto o pensamento circular enfatiza a

preservação do capital natural, a otimização dos rendimentos de recursos naturais e a promoção da eficácia do sistema.

Nota-se que a EC e o LM têm em comum os objetivos de eliminar os desperdícios, promover a geração de valor e a eficiência dos processos como estratégias competitivas, desempenhando um papel importante na organização contemporânea (KURDVE e BELLGRAN, 2021).

Ambas as estratégias EC e LM apresentam uma série de relações com o chão de fábrica (TSENG *et al.*, 2021), uma área potencial na qual há um bom escopo de melhorias em tornar o processo mais sustentável é a de processos de fabricação, especialmente na operação de usinagem, otimizando os parâmetros de corte (LA FÉ PERDOMO *et al.*, 2019), consumo de energia, custo dos insumos (fluido de corte, lubrificante, insertos etc.), reduzindo os custos, aumentando a eficiência e a competitividade empresarial (SEN *et al.*, 2021).

Os processos de usinagem contribuem para o impacto ambiental, quando se leva em consideração os produtos, seu ciclo de vida e seus resultados (DANIYAN *et al.*, 2021). Assim, a minimização do impacto é uma prioridade e deve ser realizada reorientando a forma como a usinagem interage com os critérios sustentáveis, permitindo a criação de valor social, qualidade de vida, bem-estar dos trabalhadores e preservando a diversidade do planeta (ÁLVAREZ, BÁRCENA, e GONZÁLEZ, 2017).

Kristensen e Mosgaard (2020), relatam que não existe uma compreensão detalhada de como medir e documentar o progresso em direção a uma economia circular, especialmente em um nível micro, sendo essa uma barreira tanto para os produtores que desejam fornecer produtos e serviços circulares quanto para os consumidores que desejam saber como comparar produtos, por isso, a necessidade de padronizar uma abordagem de nível micro (HEDLUND *et al.*, 2020).

Para De Oliveira, Dantas e Soares (2021), muitas pesquisas cobrem grande quantidade de informações sobre os indicadores de EC, o que resulta em avaliações superficiais por meio de indicadores pouco compreensivos.

Em uma revisão crítica de Roos Lindgreen, Salomone e Reyes (2020), torna-se necessária uma colaboração mais próxima entre a ciência e os profissionais para considerar as necessidades do usuário final no projeto de abordagens de avaliação no nível micro da EC. A partir desse contexto, surge o problema de pesquisa:

Como elaborar um conjunto de indicadores sistematizados que permita avaliar um processo de usinagem sob o enfoque conjunto da EC e do LM?

1.1. OBJETIVOS DA PESQUISA

O objetivo geral deste trabalho consistiu em criar um modelo de avaliação com enfoque conjunto entre a EC e o LM para as empresas aferirem os processos de usinagem.

Para atingir este objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Selecionar, a partir da literatura, indicadores de circularidade e do LM para compor o modelo de avaliação;
- Apresentar o Modelo de Avaliação com os indicadores de circularidade e do LM;
- Aplicar o modelo de avaliação em uma empresa de destaque no cenário industrial brasileiro e em outras duas com potencial de desenvolvimento organizacional.

1.2. JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

Yadav *et al.* (2020), afirmaram que existe uma necessidade urgente de reduzir os impactos ambientais corporativos negativos e, ao mesmo tempo, melhorar suas finanças e os benefícios sociais, buscando implementar os sistemas de melhoria contínua, a manufatura enxuta, a manufatura sustentável e circular e o seis sigma. Todas essas abordagens são valiosas, se implementado dentro de uma estrutura apropriada.

O conhecimento orientado às operações e às práticas industriais não estão completamente desenvolvidas (TSENG *et al.*, 2021), tal que a manufatura sustentável é tratada de forma muito ampla, sem uma consideração aprofundada dos impactos sobre a fabricação de produtos, processos e a integração com os sistemas utilizados (ENYOGHASI e BADURDEEN, 2021).

Awan, Sroufe e Shahbaz (2021), afirmaram que este é um excelente momento para desenvolver as práticas circulares (reuso, reutilização e a reciclagem) como uma ferramenta de inovação. Assim, adotar a EC com base no modelo de negócios, significaria tentar preencher a lacuna existente na literatura sobre a possibilidade de construção de novos modelos de negócios como ferramenta de gestão estratégica (LÜDEKE-FREUND, GOLD e BOCKEN, 2019).

A integração dos conceitos de EC e LM podem representar a transição do modelo de negócio linear para um modelo circular, permitindo aumentar o valor agregado, reduzir os desperdícios (HEDLUND *et al.*, 2020), introduzir a economia de compartilhamento, os princípios da servitização, o aumento da vida útil dentre outros ganhos (CHÁVEZ *et al.*, 2019).

Existem estudos explorando as práticas de manufatura enxuta no desempenho operacional (AGYABENG-MENSAH *et al.*, 2020), desempenho de manufatura (KOVÁCS, KŐ e DEMETER, 2020), financeiro (CENTOBELLI *et al.*, 2019), desempenho de inovação (ABDALLAH, DAHIYAT e MATSUI, 2019) e desempenho verde (BELHADI, TOURIKI e EL FEZAZI, 2018) que relataram resultados inconsistentes (MARODIN *et al.*, 2018). É necessário explorar mais o

impacto das práticas de gestão enxuta (desenvolvimento e manufatura enxuta de produtos no desempenho, incluindo identidade organizacional e desempenho alvo da economia circular).

Finalmente, na avaliação da EC realizada por Kristensen e Mosgaard, (2020); Sassanelli *et al.* (2019); Lahane, Prajapati e Kant, (2021); Rincón-Moreno *et al.*, (2021); Harris, Martin e Diener, (2021); Peralta, Luna e Soltero, (2020), dentre outros, ainda há falta de métodos padrões para mensurar a circularidade dos processos produtivos. Vinante *et al.* (2021), identificou um grande número de métricas da EC nos níveis micro, meso e macro de diferentes setores (DE OLIVEIRA, DANTAS e SOARES, 2020).

Para Schmitt *et al.* (2021), a combinação e a compreensão aprofundam a integração entre a EC e o LM e podem levar a benefícios econômicos e ambientais, bem como a guias práticos para a implementação de "práticas circulares" no contexto de manufatura enxuta.

Kurdve e Bellgran (2021), analisaram que o pensamento enxuto e a circularidade estão focados nas operações do chão de fábrica. No entanto, existe a falta de estudos empíricos abordando os conceitos da EC e do LM com foco nos sistemas, processos e produtos (NADEEM *et al.*, 2019).

Daniyan *et al.* (2021), afirmaram que é importante que os processos de usinagem comecem a alinhar os requisitos, os padrões e as ferramentas para alcançar a EC. Com esse pensamento, pode-se diminuir o consumo de recursos naturais nesse processo.

A partir dessas reflexões, pode-se verificar a necessidade da criação de um Modelos ou *Frameworks* de Avaliação para Processos de Usinagem com enfoque Conjunto entre a EC e o LM para as empresas aferirem suas práticas produtivas de forma a considerar, principalmente, os processos e sua integração com o ecossistema organizacional.

Entende-se que a integração entre LM e EC no modelo de avaliação pode ser útil para a proliferação de ações circulares das empresas, trazendo uma

inovação, contribuindo para o fortalecimento da sustentabilidade em longo prazo e promovendo o avanço da linha do conhecimento na área de gestão de processos de usinagem.

Nesse contexto, a relevância desse trabalho consistiu na possibilidade de atingir as três dimensões da sustentabilidade: a dimensão ambiental, o aumento do tempo de permanência dos recursos no sistema, a redução dos resíduos gerados e a redução dos recursos naturais investidos, dentre outros. Na dimensão econômica pode-se listar alguns resultados possíveis, como melhorar a produtividade, reduzir os desperdícios e manter o valor agregado por mais tempo, reduzir o *lead time* da manufatura e aumentar a colaboração e integração entre os fornecedores e consumidores. Para Mies e Gold (2021), alguns resultados possíveis na dimensão social são a geração de novos modelos de negócios (novos empregos), saúde e segurança do trabalho, acesso à educação e treinamento (GALL *et al.*, 2020), justiça social, igualdade e inclusão de grupos sociais marginalizados, acordos contratuais ou oportunidades iguais de carreira, bem-estar e a satisfação no trabalho (JABBOUR *et al.*, 2019), dentre outros.

Assim, uma abordagem baseada nos valores do LM e da EC, pode ser um caminho para a transição para um sistema econômico sustentável.

1.3. CONTRIBUIÇÃO DO TRABALHO

Diante do exposto, a contribuição do trabalho está focada:

- i)* na estruturação geral de um modelo de avaliação de processos de usinagem na visão circular e enxuta, composta de fases e níveis;
- ii)* na identificação e seleção de indicadores de EC e LM reconhecidos e utilizados pelas empresas que possam ser implementados nessa estrutura do modelo de avaliação;

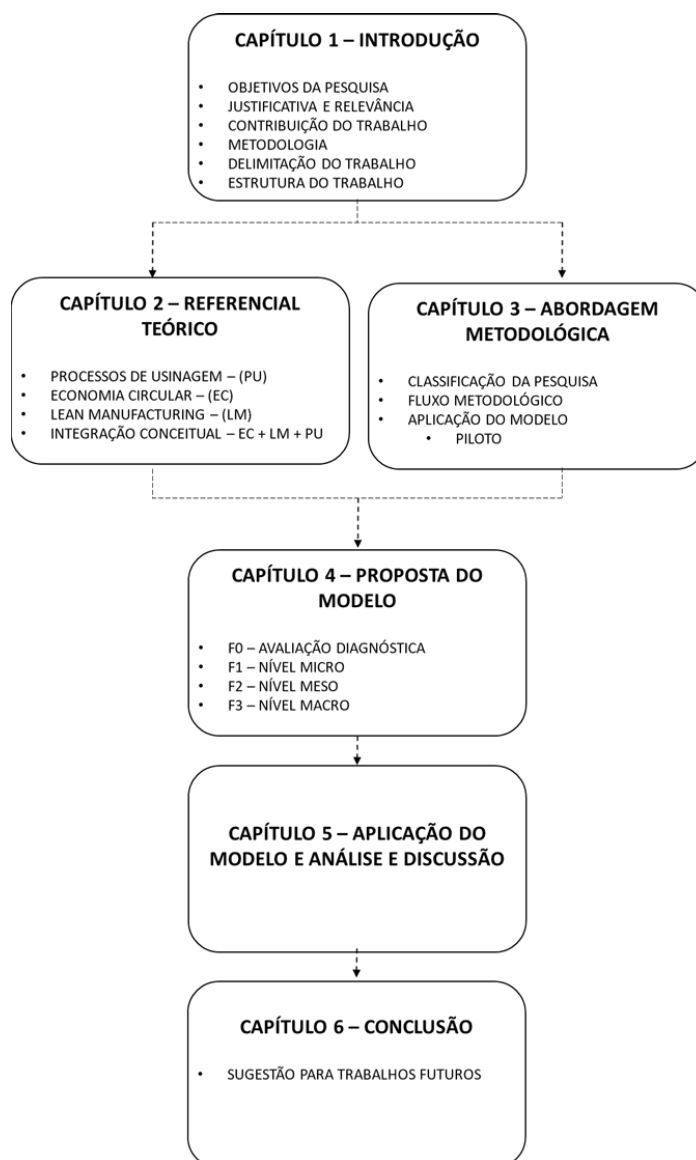
- iii) na criação de quesitos de EC e LM ainda não contemplados no setor de usinagem.

1.4. OUTLINE DE PESQUISA

A partir da questão de pesquisa e dos objetivos, seguiu-se um fluxo metodológico composto por etapas: revisão da literatura, desenvolvimento do modelo e aplicação.

A Figura 1 apresenta uma visão geral da estrutura do trabalho e as principais etapas de procedimentos metodológicos são detalhadas no capítulo 3 – Abordagem Metodológica.

FIGURA 1 – VISÃO GERAL DA ESTRUTURA DO TRABALHO.



FONTE: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR.

Detalhando as etapas desenvolvidas, o presente trabalho foi assim elaborado:

- O capítulo 1 da pesquisa consistiu na delimitação do seu foco, a partir do problema de pesquisa e a definição dos seus objetivos. Nessa etapa, foi decidido pela pesquisa conceitual integrando ao Processos de Usinagem aos conceitos da EC e do LM;

- Capítulo 2 apresenta os conceitos balizadores da pesquisa que são (1) processos de usinagem (PU); (2) os conceitos e os indicadores das Economia Circular (EC); (3) *Lean Manufacturing* (LM) as ferramentas, os conceitos e a sua associação a modelo “*Green*” são abordados para alicerçar a formação teórica; (4) a integração dos conceitos (PU) + (EC) + (LM) para compor as bases do modelo de avaliação.
- O Capítulo 3 demonstra a Abordagem Metodológica dividida em: (A) Classificação da Pesquisa; (B) Fluxo Metodológico; (C) Aplicação do Modelo;
- A proposta do modelo é apresentada no Capítulo 4, iniciando-se pela Avaliação Diagnóstica (F_0), seguindo para os critérios de avaliação da linha de usinagem baseado nos níveis micro (F_1); meso (F_2) e macro (F_3);
- No Capítulo 5 – será realizado a verificação da aplicabilidade do modelo em uma empresa de destaque no cenário industrial brasileiro por seus processos de usinagem.
- Após a aplicação do modelo, realizou-se uma análise dos resultados e, subsequentemente, uma discussão seguindo com as conclusões do trabalho e as sugestões de trabalhos futuros no Capítulo 6.

1.5. DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho concentra-se na proposição e construção de um modelo de avaliação de uma linha de usinagem baseado na EC e LM. Trata-se, portanto, da construção de uma ferramenta de diagnóstico.

Não é objetivo deste trabalho comparar as organizações por meio da aplicação de levantamentos do tipo *survey* ou condução de estudos de caso. Entretanto, foram realizadas aplicações que serviram como mecanismo de coleta de dados para o refinamento do modelo e para elucidação da sua aplicação.

1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO

A pesquisa deste trabalho está estruturada em seis capítulos, incluindo este introdutório:

- Capítulo 1: é composto pela introdução, objetivo da pesquisa, justificativa do trabalho, contribuição, procedimentos metodológicos, delimitação do trabalho e estrutura do trabalho.
- Capítulo 2: é designado a revisão da literatura sobre os temas que sustentam o desenvolvimento deste estudo: Economia Circular, *Lean Manufacturing* e Processos de usinagem;
- Capítulo 3: descreve a abordagem metodológica, apresentando a classificação da pesquisa e detalhamento do método de pesquisa adotado.
- Capítulo 4: apresenta todas as etapas da construção do modelo (MACI), além da descrição das etapas de implantação.
- Capítulo 5: aplicação de ilustração com a finalidade de verificar a aplicabilidade do modelo e discussão de todos os resultados obtidos.
- Capítulo 6: estão apresentadas as conclusões obtidas no desenvolvimento do estudo e as sugestões de trabalhos futuros.
- Capítulo 7: apresenta as referências bibliográficas que foram usadas no desenvolvimento desta pesquisa.

2. REVISÃO DA LITERATURA

O tema sustentabilidade está atingindo muitas áreas da sociedade, chegando também ao sistema de manufatura, apontado por dados recentes apresentados no capítulo 1 como um dos responsáveis pelo atual cenário ambiental, consumindo grande quantidade de recursos naturais e gerando poluição.

Para Schmitt *et al.* (2021), a conexão entre o LM e circularidade está centrada em operacionalizar o conceito de EC no nível do chão de fábrica, alinhando os processos, os produtos e os sistemas (KURDVE e BELLGRAN, 2021), incluindo suas interdependências visando desenvolver estruturas conceituais para melhorar o meio ambiente a competitividade organizacional (NADEEM *et al.*, 2019).

Desta forma, esta seção aborda conceitos teóricos sobre Processos de Usinagem (PU), Economia Circular (EC) e *Lean Manufacturing* (LM), com o intuito de apresentar uma base referencial que auxilie o atendimento do objetivo proposto pelo estudo.

2.1. PROCESSOS DE USINAGEM

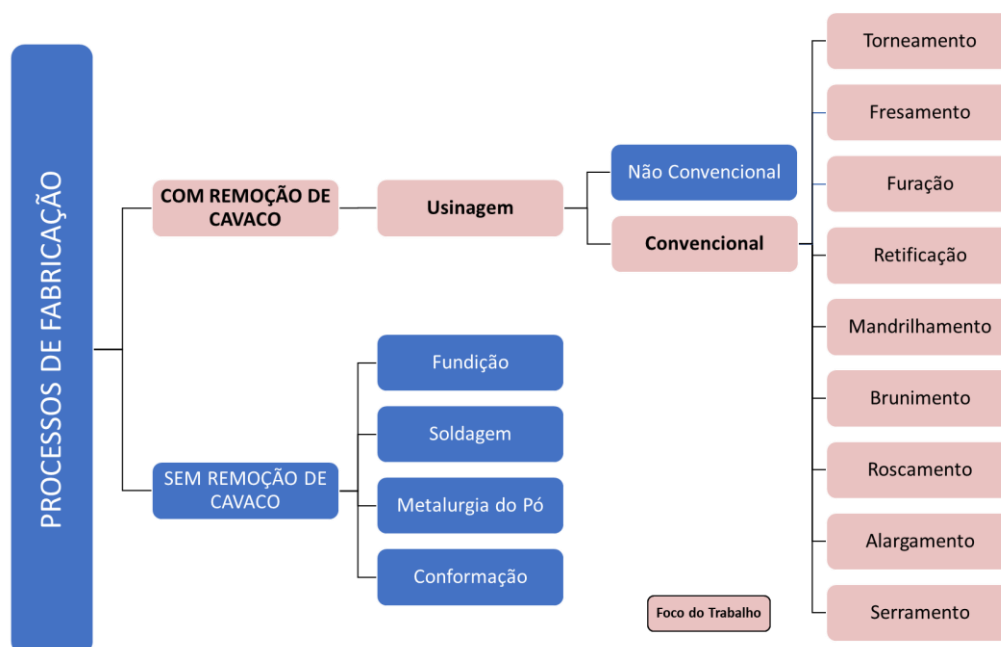
Os processos de fabricação de metais e ligas metálicas em peças para a utilização em produtos e conjuntos mecânicos são inúmeros e variados: pode-se fundir, soldar, utilizar a metalurgia em pó ou usinar o metal a fim de obter a peça desejada. Evidentemente, vários fatores devem ser considerados quando se escolhe um processo de fabricação. Como por exemplo:

- forma e dimensão da peça;
- material a ser empregado e suas propriedades;

- quantidade de peças a serem produzidas;
- tolerâncias e acabamento superficial requerido;
- custo total do processamento.

Os processos de fabricação podem ser divididos em: com remoção de cavaco, e os sem remoção de cavaco. A Figura 2 mostra a classificação dos processos de fabricação, destacando as principais operações do processo de usinagem (foco do trabalho).

FIGURA 2 – CLASSIFICAÇÃO DOS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO



FONTE: ADAPTADO FERRARESI (1977) BASEADO NA NORMA DIN 8580.

Segundo Ferraresi (1977, p. 25), “Como operações de usinagem entendemos aquelas que, ao conferir à peça, ou as dimensões ou o acabamento, ou ainda uma combinação qualquer destes três itens, produzem cavaco.” Já o cavaco, é definido como “[...] a porção de material da peça, retirada pela ferramenta, caracterizando-se por apresentar forma geométrica irregular.”

Assim, durante a usinagem, o atrito gerado entre a ferramenta corte e a peça gera um aumento da temperatura, atuando diretamente na vida da ferramenta

de corte e dilatação térmica da peça, podendo influenciar negativamente nos limites de tolerância (SCHROETER e LINDOLFO, 2002). Sabe-se que a velocidade de corte tem influência na transferência de calor do sistema ferramenta de corte/peça/cavaco (AGOSTINHO, VILELLA e BUTTON, 2004).

Cerca de 80% de todos os produtos manufaturados passam pelo processo de usinagem, indicando que é um dos processos de fabricação mais utilizados nas organizações de manufatura (MIRANDA, 2012).

Dentre os processos envolvidos neste trabalho, foram definidos:

- Torneamento – Processo mecânico destinado a obtenção de superfícies de revolução com auxílio de uma ou mais ferramentas monocortantes. Para tanto, a peça gira em torno de seu eixo principal de rotação da máquina e a ferramenta se desloca simultaneamente segundo uma trajetória coplanar com o referido eixo (MACHADO *et.al*, 2015);
- Furação – destinado a obtenção de um furo geralmente cilíndrico em uma peça, com o auxílio de uma ferramenta geralmente multicortante (MACHADO *et.al*, 2015). Para tanto, a ferramenta, ou a peça, gira e, simultaneamente, se desloca segundo uma trajetória retilínea, coincidente ou paralela ao eixo principal da máquina (FERRARESI, 2018, p. 29);
- Fresamento – Processo mecânico de usinagem destinado à obtenção de superfícies quaisquer com o auxílio de ferramentas geralmente multicortantes (FERRARESI, 2018). Para tanto, a ferramenta gira e a peça, ou a ferramenta, se desloca segundo uma trajetória qualquer. (FITZPATRICK, 2013).

Para que a usinagem seja realizada, é necessária a ocorrência de movimentos simultâneos, como o da ferramenta em relação à peça, para a retirada de material e como o movimento de giro da peça em relação à ferramenta. Estes movimentos possuem algumas propriedades como direção, sentido, velocidade e percurso (FITZPATRICK, 2013).

Os principais parâmetros relacionados a estes movimentos são à velocidade de corte (V_c), avanço (F), velocidade de avanço (V_f), e tempo efetivo de corte (t_c). Estes parâmetros podem ser definidos como:

- V_c - velocidade de corte: “[...] é a velocidade tangencial instantânea resultante da rotação da ferramenta em torno da peça, para as operações do tipo torneamento, fresamento ou furação [...]” (DINIZ et al, 2001, p. 17);
- F - Avanço: “[...] é o percurso de avanço em cada volta ou em cada curso da ferramenta” (DINIZ et al, 2001, p. 19);
- V_f - velocidade de avanço: “[...] é a velocidade instantânea da ferramenta segundo a direção e sentido de avanço” (FERRARESI, 2018, p. 5);
- T_c - tempo de corte: “[...] resume a totalidade dos tempos ativos, pois ele representa o tempo em que os movimentos de corte ou de avanço estão efetivamente ocorrendo” (DINIZ et al, 2001, p. 17).
- F_z – Em fresamento onde se utiliza ferramentas multicortantes, existe ainda a grandeza avanço por dente (F_z), que “[...] é o percurso de avanço por dente e por volta ou curso da ferramenta, medido na direção do avanço” (DINIZ et al, 2001, p. 23).

Durante o processo de usinagem, a ação de cisalhamento da ferramenta sobre peça gera esforços que consomem potência da máquina. As duas principais componentes de força que atuam sobre a ferramenta de corte são a força de corte, F_c , e a força de avanço, F_f , por meio das quais são calculadas as potências de corte, P_c , e de avanço, P_f . Os valores da F_c , e da P_c podem ser estimados determinando os valores da largura (b) e da espessura de corte (h) (MACHADO et. al., 2015).

Todos esses parâmetros indicados anteriormente são utilizados como base teórica para estimar a vida útil da ferramenta de corte (inserto). Isto, provavelmente, está associado a diferença existente entre o critério determinante de fim de vida utilizado pelo fabricante da ferramenta e, as

condições reais existentes encontradas no ambiente fabril. Além disso, a usinagem é um processo sobre o qual muitos fatores de influência incidem, sendo, por este motivo, difícil a extrapolação de resultados ou utilização de dados publicados nos catálogos dos fabricantes (ZANUTO, 2016).

Desta forma, a otimização do processo de usinagem consiste no conhecimento prático e teórico dos parâmetros de corte para conseguir a redução de custos e de tempos de fabricação, por meio do emprego de novas tecnologias de fabricação, ou, por meio da adequação das condições de corte (BORGES, 2019).

A aquisição de equipamentos, ferramentais e *softwares* de apoio mais evoluídos nem sempre é possível devido ao seu alto custo, assim, as técnicas mais utilizadas consistem na implementação de novas ferramentas, novos dispositivos de fixação, ou no auxílio de ferramentas computacionais para a escolha da estratégia de corte da ferramenta, como em sistemas CAM - *Computer Aided Manufacturing* - manufatura auxiliada por computador (JANG, JUNG e SEOK, 2016).

Uma análise dos parâmetros de corte, antes da substituição do ferramental, pode resultar redução de custos sem a necessidade da geração de dispêndios. No mundo, muitos tornos em operação trabalham abaixo de seus limites, o que demonstra um campo a ser explorado e que deve receber atenção cada vez maior por parte de pesquisadores e de profissionais da indústria (PAWAR e RAO, 2013).

A otimização das operações de usinagem foi realizada por muitos anos com base em tecnologia e considerações econômicas. Além disso, a necessidade da busca de condições de corte que satisfaçam ambos os critérios e o consumo de energia, eficiência dos recursos (ferramenta e máquina) e ciclo produtivo precisam ser totalmente contabilizados (RAJEMI, MATIVENGA e ARAMCHAROEN, 2010).

Para Schultheiss *et al.* (2013), aumentar a eficácia da utilização da ferramenta de corte diminui a necessidade de novas ferramentas, bem como os recursos e energia necessários para produzir novas ferramentas de corte. Os resultados do estudo mostraram que é possível aumentar a vida útil total da ferramenta entre 50% e 100% em comparação com operações de usinagem convencionais equivalentes. O aumento na vida útil da ferramenta pode diminuir o tempo do ciclo de produção em aproximadamente 15% e reduzir o consumo de energia em 12% em comparação com processos de usinagem convencionais.

2.3.1 – USINAGEM VERDE

A usinagem tem grande representatividade na indústria de manufatura e no mercado e com uma disputa do mercado está cada vez mais acirrada. O crescimento da concorrência faz com que os processos produtivos das empresas se transformem para se adaptar a um novo ambiente. Tendo como um dos principais objetivos a redução de custo de produção dentro de uma empresa, deve-se observar a importância das ferramentas de corte na prática de uma manufatura mais eficiente, especificamente nos processos de usinagem. Visando a busca por processos que geram menores impactos ambientais e mais eficientes, estudos indicam que as despesas com a lubrificação e refrigeração representam de 7-20% dos custos totais de produção, e o custo com ferramentas de corte cerca de 4 - 6% (GOINDI e SARKAR, 2017).

Além dos custos indicados anteriormente as despesas com fluidos de corte estão relacionadas com os custos de instalação, gerenciamento, controle de micro-organismos e descarte correto do efluente líquido. Juntamente com o crescimento tecnológico, as legislações ambientais ficaram mais restritivas e o consumidor mais exigente (JANG, JUNG e SEOK, 2016).

Além dos gastos com lubrificação e com ferramentas de corte, deve-se considerar o consumo energético, uma vez que a tarifa média industrial de energia no Brasil corresponde a uma fatia significativa dos custos operacionais quando comparada a outros países (DE SOUZA, PAES e TIBA, 2020).

Diante do atual contexto, a busca por processos de usinagem mais sustentáveis pode ser um diferencial competitivo no mercado. Observa-se a necessidade de estreitar a relação de uso mais eficiente de insumos (matéria-prima, ferramentas de corte, refrigeração) e energia, além da avaliação dos impactos ambientais envolvidos na usinagem, refletindo em processos de fabricação mais eficientes (AGGARWAL *et. al.*, 2020).

Além disso, tem-se o cavaco, o subproduto dos processos de usinagem que é um resíduo sólido composto do material usinado, fluido refrigerante (quando aplicado) e outras partículas do processo. De acordo com o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA 362 (2005), os lubrificantes usados ou contaminados devem ser destinados corretamente. A ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) classifica os óleos lubrificantes pela NBR-10004 (2004) como resíduos de classe I, perigosos, por apresentar toxicidade. Por este motivo, os resíduos de óleos lubrificantes demandam de tratamento ambientalmente correto antes de serem descartados (CASTRO, 2010; GUPTA *et. al.*, 2020).

Os produtos e resíduos gerados durante os processos de usinagem podem afetar a condição social, e a qualidade de vida do operador. Os fluidos de corte podem se tornar tóxicos quando diluídos em água, tornando-o um meio propício ao desenvolvimento de bactérias e fungos. Apesar dos fluidos de corte de base vegetal serem considerados produtos mais sustentáveis, sua alta taxa de matéria orgânica deixa-os mais susceptíveis a degradação, comportando-se como meio de cultivo e facilmente atacados por microrganismos.

De acordo com a Resolução nº176 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA de 2000, as degradações dos produtos afetam a qualidade e seu desempenho, tornando-o impróprio para o uso, reduzindo sua vida útil. Além de gerar grande volume de resíduo a ser tratado e um ambiente de interesse para a saúde ocupacional.

A NR-15 estabelece as atividades que devem ser consideradas insalubres, apresenta indicadores que podem ser utilizados para verificar se o ambiente de trabalho possui a Síndrome do Edifício Doente (SED) no qual ocupantes do prédio podem apresentar doenças respiratórias, dores de cabeça, fadiga, falta de concentração e náuseas, gerando uma alta taxa de absenteísmo (falta do trabalhador por atestados médicos), implicando diretamente na produtividade industrial (WICKRAMASINGHE *et al.*, 2020).

Assim, há uma visão mais global de como os pilares da sustentabilidade (econômicos, ambiental e social), devem ser acopladas aos indicadores de produtividade (relação entre saída por unidade de recursos utilizados) e a intensidade (relação entre o consumo de recursos no uso por unidade de saída) de recursos, na tentativa de dissociar a conexão direta entre o uso de recursos para fabricação e a degradação ambiental. Sendo assim, do ponto de vista da sustentabilidade, o objetivo é maximizar a produtividade dos recursos, minimizando a intensidade de recursos (DORNFELD *et. al.*, 2013).

Faulkner e Badurdeen (2014) sugerem uma evolução natural (melhoria contínua), migrando de um estágio da manufatura para o outro, em que se observa as melhores práticas utilizadas em um estágio e como as mesmas podem ser adaptadas e evoluídas aos novos conceitos, ou seja, de uma manufatura tradicional para uma enxuta, em que a produção continuou padronizada e automatizada, sendo agregado, no entanto a questão da redução de desperdícios.

Na visão do LM em conjunto com o pensamento *Green*, aplicado aos processos de usinagem, além da preocupação com a redução de desperdícios, otimização dos parâmetros devem incorporados os conceitos

3R's, e à medida que os processos evoluem e começam a demonstrar resultados positivos é interessante incorporar aos processos de usinagem (HEGAB, DARRAS e KISHAWY, 2018), mais 3R's, recuperar, reprojeter e repensar, totalizando 6R's, considerando além das questões econômicas (presente desde o início do capitalismo) e ambientais (incorporada com a manufatura verde), também as questões sociais (WICKRAMASINGHE *et al.*, 2020).

A preservação e aprimoramento do capital natural, a atimização do rendimento dos recursos, produtos, componentes e materiais em uso no mais alto nível de utilidade o tempo todo, juntamente com a efetividade do pensamento sistêmico do sistema produtivo possibilita contextualizar a discussão, inserindo o tema da EC para quantificar o potencial econômico do modelo circular e desenvolver abordagens para o aproveitamento desse valor nos processos de usinagem.

2.2. ECONOMIA CIRCULAR

A escassez de recursos é um tópico recorrente na literatura desde meados do século XX. Nos últimos anos, este tema tem ganhado atenção devido aos problemas ambientais, sociais e financeiros que a sociedade enfrenta. A Economia Circular (EC) é um novo paradigma dentro da sustentabilidade (GEISSDOERFER *et al.*, 2017), um sistema de produção e consumo que visa manter produtos, componentes, materiais e energia em circulação para continuar agregando (ESPOSITO, TSE e SOUFANI, 2018), recriando e mantendo seu valor por um longo período que também busca focar na eficiência dos recursos em prol do meio ambiente (HOPKINSON *et al.*, 2018), na coesão social e possibilita novas oportunidades de negócios (DE SOUSA JABBOUR *et al.*, 2018).

O termo EC foi mencionado pela primeira vez em 1990 por Pearce e Turner (HEVNER, *et al.*, 2004; ANDERSEN, 2007). Eles argumentaram que a visão

clássica do sistema econômico era muito focada no crescimento, e que as interações com o sistema ecológico limitado eram negligenciadas. A segunda lei da termodinâmica também inspirou Pearce e Turner em sua premissa fundamental ao afirmar que a economia é um processo que aumenta a entropia dos materiais. Em vez disso, dizem que o sistema econômico é caracterizado por uma relação circular com o meio ambiente; uma economia circular (SU *et al.*, 2013).

Suas bases conceituais também podem ser encontradas na Teoria Geral de Sistemas e na Ecologia Industrial (GHISELLINI *et al.*, 2016) que relatam que a EC surgiu como resposta aos graves problemas ambientais (SU *et al.*, 2013).

Com a revolução industrial e o desenvolvimento da economia, o homem passou a enfrentar diversos problemas, como a redução de recursos, escassez de energia, destruição ecológica, poluição ambiental, agravamento do aquecimento global e extinção de muitas espécies (SHEN e QI, 2012). Com isso, o sistema econômico linear passou a ser repensado, buscando estabelecer um novo sistema de desenvolvimento econômico que preserve, dentre outros, a natureza (DE SOUSA JABBOUR *et. al.*, 2018).

De acordo com Korhonen *et al.* (2018), resultados como a expansão do deserto, aumento populacional e esgotamento da biodiversidade também contribuíram em grande escala para o repensar do atual sistema econômico.

As diferentes escolas de pensamento dão origem às bases conceituais da EC. Foi a partir da década de 1970 que essas escolas começaram a ficar voltadas aos ecossistemas de ciclos fechados (GHISELLINI *et al.*, 2016).

Dentre as escolas de pensamento que impulsionaram o desenvolvimento da EC, podem-se citar (EMF, 2015; GEISSDOERFER *et al.*, 2018):

- economia de serviços (ou economia do desempenho);
- Design Regenerativo - Desenvolvido Estados Unidos, John T. Lyle;

- Economia de Performance - Walter Stahel, arquiteto e economista, em 1976 esboçou em seu relatório de pesquisa para a Comissão Europeia, a visão de uma economia em ciclos (ou economia circular) e seu impacto na criação de emprego;
- *Cradle to Cradle* – Do berço ao berço. O químico alemão e visionário, Michael Braungart, continuou a desenvolver, em conjunto com arquiteto americano Bill McDonough, o conceito e o processo de certificação *Cradle to Cradle*™ (BRAUNGART e MCDONOUGH, 2009);
- Ecologia Industrial - é o estudo dos fluxos de materiais e energia nos sistemas industriais. Concentrando-se em conexões entre operadores dentro do “ecossistema industrial”, essa abordagem visa a criação de processos de ciclo fechado nos quais os resíduos servem como insumo, eliminando assim a noção de um subproduto indesejável (WIJFFELS, 2013);
- *Blue Economy* - Iniciado pelo ex CEO (Chief Executive Officer - Diretor Executivo) da Ecover e empresário belga Gunter Pauli, é um movimento *open source*, que reúne estudos de casos concretos, inicialmente compilado em um relatório homônimo e entregue ao Clube de Roma. Como afirma o manifesto oficial, “*usando os recursos disponíveis em sistemas em cascataeamento (...) os resíduos de um produto se tornam insumos para criar um fluxo de caixa*” (EMF, 2012).

Diante dos problemas ambientais e da escassez de recursos, os ambientalistas despertaram para a necessidade de contemplar a terra como um sistema econômico fechado: processo em que a economia e o meio ambiente não devem ser considerados por interligações lineares, mas por uma relação circular (GHISELLINI *et al.*, 2016). Por meio de uma análise sobre a relação entre as políticas econômicas e os sistemas naturais (WARODELL e LINDHOLM, 2016), eles propuseram um ciclo fechado de material, nomeado como economia circular (DE SOUSA JABBOUR, 2018).

Muitos países como China, Alemanha, Reino Unido, França, Canadá, Finlândia e Japão tiveram iniciativas de promover o desenvolvimento de políticas para a EC, inclusive com a criação de leis e políticas específicas para esse novo modelo de economia (GENG *et al.*, 2013).

A China foi o primeiro país do mundo a adotar uma lei específica para a economia circular, em 2008, com vigência a partir de 2009 (KORHONEN *et al.*, 2018).

Em 2010, a ambientalista e velejadora Ellen Patrícia MacArthur criou na Inglaterra, a Fundação Ellen MacArthur, que estuda e estimula a implantação efetiva da EC, buscando novas alternativas que promovam a preservação do planeta – preservação ambiental, controle da poluição, geração de novos modelos de negócios, geração de empregos e o desenvolvimento sustentável (EMF, 2014; LI, 2012).

Para Petit-Boix e Leipold (2018), a crescente popularidade da EC no mundo está na promessa de criar negócios e projetos sustentáveis. Ganhando impulso e superando o paradigma existente entre a economia e meio ambiente (POMPONI e MONCASTER, 2017).

No Quadro 1 são apresentadas as definições de EC mais utilizadas na literatura acadêmica, com base em Kirchherr *et al.* (2017).

QUADRO 1: DEFINIÇÕES MAIS UTILIZADAS NA EC

AUTOR / ANO	DEFINIÇÃO
LI <i>et al.</i> , 2010	<i>“CE é um sistema de desenvolvimento e crescimento econômico para integrar a economia com recursos e fatores ambientais é baseado no modo de metabolismo material “resource-product-regenerated resource - recurso regenerado por produto de recurso”, que incorpora um mecanismo de uso eficiente de recursos e feedback do fluxo de resíduos, enquanto seu metabolismo é compatível com todo o ecossistema”.</i>
PRESTON, 2012	<i>“CE é uma abordagem que transforma a função dos recursos na economia. Resíduos de fábricas se tornam uma entrada valiosa para outro processo e os produtos poderiam ser reparados, reutilizados ou atualizados em vez de descartados”.</i>

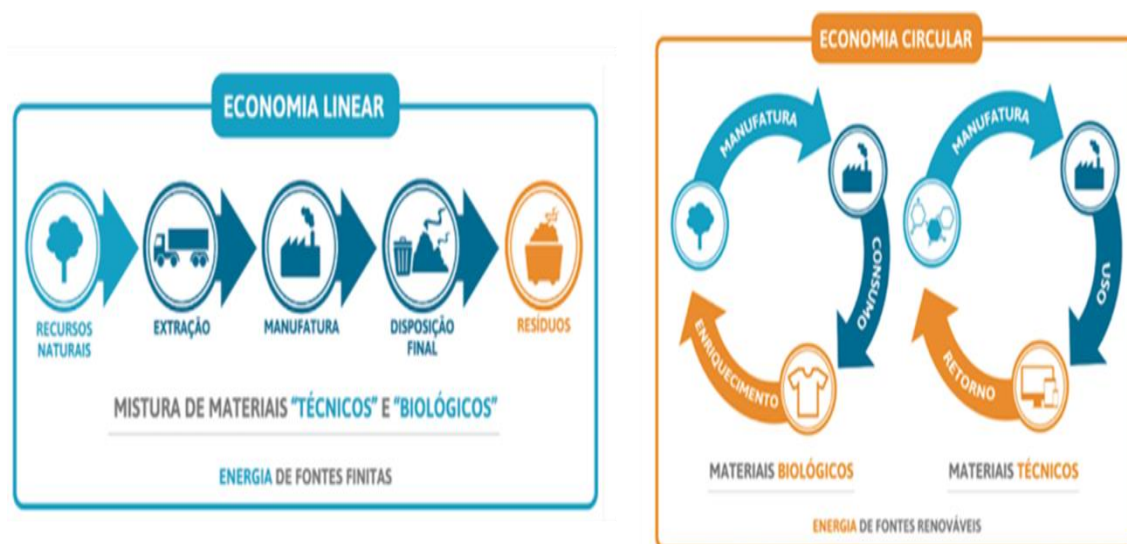
SHEN e QI, 2012	<i>“CE é a integração das atividades de redução, reutilização e reciclagem durante a produção, a troca e o consumo”.</i>
EMF, 2012	<i>“CE um sistema industrial que é restaurador ou regenerativo por intenção e design. Substitui o conceito de 'fim de vida' por restauração, utiliza energia renovável, elimina o uso de produtos químicos tóxicos, que prejudicam a reutilização, e visa a eliminação de resíduos por meio do design superior de materiais, produtos, sistemas, e, dentro disso, modelos de negócios”</i>
EMF, 2013	<i>“Uma economia circular é restauradora e regenerativa por design, e visa manter produtos, componentes e materiais em sua maior utilidade e valor o tempo todo. O conceito distingue entre ciclos técnicos e biológicos. Conforme previsto pelos originadores, uma economia circular é um ciclo de desenvolvimento positivo contínuo que preserva e aprimora o capital natural, otimiza a produção de recursos e minimiza os riscos do sistema gerenciando estoques finitos e fluxos renováveis. Funciona com eficácia em todas as escalas.”</i>
GHISELLIN et al., 2016	<i>“Neste tipo de economia, considera-se que os produtos e processos são redesenhados para maximizar o valor dos recursos, de forma a dissociar o crescimento econômico da utilização deles”</i>
AURDAHL et al., 2016	<i>“EC como uma economia restauradora, que foca na utilização de energia renovável, na eliminação do uso de produtos químicos tóxicos e na erradicação do desperdício”.</i>
MICHELINI et al., 2017	<i>“A EC comporta a ideia de restauração e circularidade, por isso busca a substituição do tradicional conceito de fim de vida para o uso de energias de fontes renováveis, e elimina o uso de produtos químicos tóxicos e de resíduos por meio do design superior do material, produtos, sistemas e modelos comerciais”.</i>

FONTE: ADAPTADO DE KIRCHHERR ET AL. (2017).

Para Kirchherr *et al.* (2017), o modelo econômico (EC) indica a combinação entre os 3R's (reduzir, reutilizar e reciclar), como uma base para iniciar a transformação do processo linear em circular.

A seguir, a Figura 3 mostra a diferença entre a economia linear e a economia circular.

FIGURA 3 - ECONOMIA LINEAR VS ECONOMIA CIRCULAR

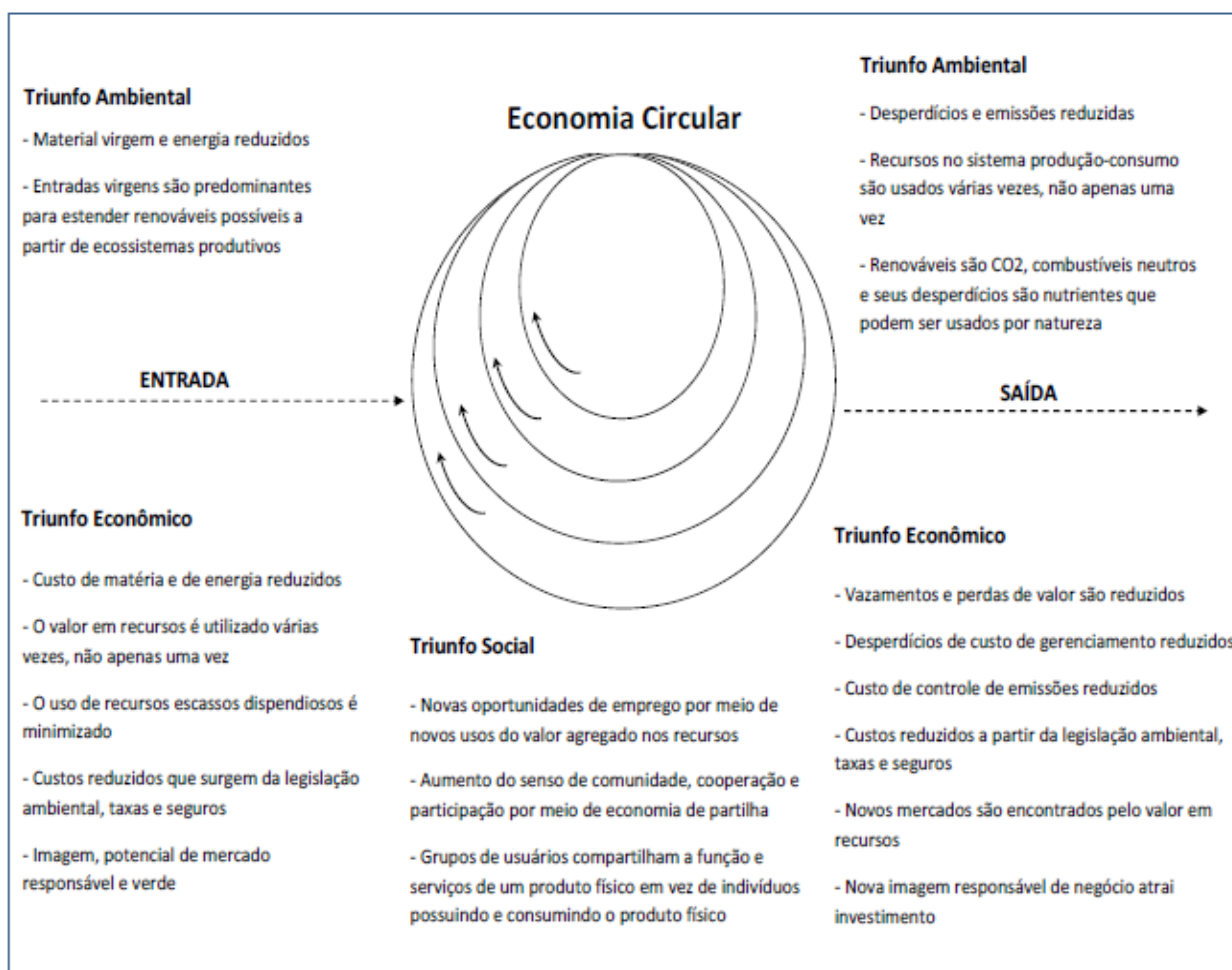


FONTE: ARLINDO ET AL., 2017

A EC adota padrões de produção em ciclos fechados (materiais ou nutrientes biológicos e materiais ou nutrientes técnicos), desta forma, aumentando a eficiência da utilização dos recursos, com uma atenção voltada especialmente para os resíduos de origem industrial e urbano, buscando o equilíbrio entre as 3 dimensões da sustentabilidade (econômico, ambiental e social) (EMF, 2013; ARLINDO *et al.*, 2017).

Para Ghisellini *et al.* (2016), a EC contribui positivamente para o processo de desenvolvimento sustentável, pois auxilia no equilíbrio das 3 dimensões e promovendo a melhor maneira de controlar os recursos de entradas e saídas, o que pode ser observado na Figura 4.

FIGURA 3 – CONTROLE DE ENTRADAS E SAÍDAS DE RECURSOS NA EC.



FONTE: ADAPTADO DE KORHONEN ET AL. (2018, P. 40)

A Figura 4 sugere que o controle das entradas e saídas de recursos bem-sucedida contribui para as três dimensões do desenvolvimento sustentável, econômicas, ambientais e sociais. A EC deve se adaptar aos ciclos naturais do ecossistema e utilizá-los em ciclos econômicos (materiais, energia e nutrientes) respeitando suas taxas de reprodução natural a um nível que a natureza tolere (KORHONEN *et al.*, 2018).

2.1.1 – A EVOLUÇÃO TÉCNICA DA ECONOMIA CIRCULAR

O conceito de circuito fechado ou *closed loop, multi-cycling* (base da EC) não é tão novo quanto parece, uma vez que os exemplos dirigidos datam do final do

século 19, por isso possui uma longa história, mais notavelmente na Europa (COOPER, 2011). A Segunda Guerra Mundial, trouxe a perspectiva da economia globalizada, em que a ascensão do consumo e o gerenciamento de resíduos se tornou cada vez mais problemático, podendo destacar a importância da sua regulamentação (MURRAY, SKENE e HAYNES, 2017)

Para Carter (2018), a publicação do relatório do Clube de Roma (1972) introduziu o pensamento de controlar e reduzir a poluição, mas ainda faltavam abordagens integrativas de com a gestão de resíduos (MEADOWS, 1972).

Para lidar com a os resíduos, a adoção dos 3R's (reduzir, reutilizar e reciclar), é o início das 3 fases em que a economia circular pode ser dividida: (i) EC 1.0 (1970 aos anos 1990); (ii) dos anos 1990 a 2010, chamada de EC 2.0; (iii) e a partir de 2010, denominada de EC 3.0 (REIKE *et al.*, 2018).

A partir de 1970, os EUA e a Europa desenvolveram ações para lidar com os resíduos e a emissão de agentes poluidores apoiando-se nos movimentos ambientais com o conceito de 3R's. A gestão vem ocorrendo por meio da regulação de aterros sanitários e de incineração bem como a preocupação com os resíduos sendo despejados em países menos favorecidos (GERTSAKIS e LEWIS, 2003). Nessa fase, os conceitos preventivos e focados no pensamento do ciclo de vida, são introduzidos pela primeira vez e começam a contribuir para o pensamento em sistemas, dando origem às bases do que é chamado de EC 1.0 (BERGSMA *et al.*, 2014).

Em meados dos anos de 1990, com as crescentes taxas de reciclagem, começou a existir uma maior preocupação por parte das empresas com a gestão e reciclagem de resíduos. Nesse período, houve maior integração entre as medidas preventivas e seus resultados, com ganho mútuo entre as atividades comerciais e o meio ambiente, conforme propõe o relatório de Brundtland (REIKE *et al.*, 2018).

Assim, os problemas ambientais e sociais começaram a serem vistos como oportunidades econômicas e os conceitos como ecologia industrial (IUNG e

LEVRAT, 2014), ciclo de vida, biodiversidade, *design* dos produtos e aumento da eficiência tornam-se princípios de ação, da EC 2.0 (MURRAY, SKENE e HAYNES, 2017).

A chamada EC 3.0, busca a retenção da maximização de valor na era do esgotamento dos recursos. Assim, a partir 2010, cresceu o posicionamento, a aplicação e a validade da EC surgindo o questionamento: “é um conceito novo ou remodelado”? Respondendo: a EC, vai além do que propõe a produção limpa, a reciclagem e a ecologia industrial, combinando modelos de negócios, seus produtos e serviços de forma a envolver todos os *stakeholders* reconhecendo que as medidas preventivas e de circularidade dependem decisivamente das ações desenvolvidas pelas organizações (REIKE *et al.*, 2018).

Michelini *et al.* (2017), propôs a implementação de um sistema que integrasse produto-serviço (denominado de PSS - *Product Service System*) orientado a resultados, em que o cliente pagasse apenas pelo fornecimento dos resultados desejados e não pela posse de um produto. O PSS apresenta formas de mensurar a circularidade dos produtos e, conseqüentemente, a eficiência do uso dos recursos evoluindo no a ideia da EC 3.0.

Os "*modelos de negócios que substituam a propriedade por pagamentos com base no desempenho são fundamentais na tradução de produtos projetados para reutilização em propostas de valor atraentes*" (EMF, 2015, p. 17). A transformação do consumidor em usuário, proposta pelo modelo de negócio PSS. leva a mudança de paradigma. Novos modelos poderão surgir e expandir ao longo do tempo a proposta de valor do PSS (EMF, 2013).

2.1.2 – ECONOMIA CIRCULAR: PRINCÍPIOS, OBJETIVOS E CARACTERÍSTICAS

A EC é um sistema industrial restaurador ou regenerativo por natureza, que vem para substituir o conceito de "fim de vida", dando a possibilidade de reaproveitar, regenerar ou reutilizar mantendo o valor dos produtos que são projetados (sem desperdícios) e otimizados para um ciclo de desmontagem (EMF 2013), com utilização de energias renováveis e que possam ser classificados em um ciclo

técnico ou biológico, de forma a minimizar os impactos de poluição ambiental (LI, 2012).

Os materiais biodegradáveis, ao serem absorvidos pelo meio ambiente, passam a ser conhecidos com nutrientes biológicos (ciclo biológico), ou seja, tornam-se alimento para a natureza, pois são considerados recursos renováveis.

Já os materiais sintéticos, metais ou minerais, podendo ser reutilizados em um ciclo fechado, tornando matéria prima de outros processos e atendendo ao que propõe o ciclo técnico (nutrientes técnicos), não são considerados rejeitos no processo e são chamados de recursos não renováveis (BRAUNGART *et al.*, 2007).

Aurdahl (2016), relata que os objetivos econômicos não podem estar desconectados dos objetivos social e ecológico, por isso, a EC se torna uma alternativa para economia atual, tendo implicações teórico-práticas com o objetivo de encontrar métodos e princípios que contribuam para melhorar a utilização dos recursos naturais, de forma a satisfazer as necessidades humanas e das organizações. Portanto, novos modelos econômicos surgem como oportunidades com a implantação da EC (ELIA *et. al.*, 2017), gerando um *“conjunto de novos e maiores lucros, maior segurança da oferta e nova demanda por serviços empresariais, com o consequente aumento da resiliência (EMF, 2015, p.14)”* para as organizações.

Para Bocken *et. al.* (2013), a transformação de uma economia linear em circular não será possível se os modelos de negócios e as estratégias não “caminharem juntas”, ou seja, criando valor com base na gestão de recursos e oferecendo às organizações uma sintonia com os princípios da sustentabilidade (LEITÃO, 2015).

No entanto, a maioria das empresas tem suas estratégias enraizadas em uma abordagem linear, o que dificulta a implantação de novas oportunidades oferecidas pela EC. A adoção dos seus princípios pode gerar vantagens competitivas, estratégias de crescimentos afirma Lacy e Rutqvist (2015).

Para isso, Ghisellini *et al.* (2016), indicaram que para rumar à economia circular três principais ações são necessárias adotar inicialmente, que são os chamados princípios 3R's:

- Reduzir – é busca contínua em minimizar a entrada de energia, matérias-primas e resíduos por meio da melhoria da eficiência produtiva e dos processos de consumo;
- Reutilizar – se refere ao reuso de produtos ou componentes que não são resíduos, onde requer menos energia e menos mão de obra quando comparado à fabricação de produtos novos;
- Reciclar – refere-se ao reprocessamento dos resíduos de produtos, materiais ou substâncias para o mesmo produto ou para outros fins. A principal característica da reciclagem é a diminuição dos resíduos.

Em meio a esse cenário Saidani *et al.* (2019) recomendaram os princípios da EC para cumprir as metas do desenvolvimento sustentável (DS), permitindo às empresas avaliarem o desempenho de um serviço, um produto ou delas mesmas no contexto da EC, possibilitando estimarem o quanto avançaram na jornada de transição do modelo linear para a circular.

A Fundação Ellen MacArthur (2015) fundamentou a EC em três princípios naturais, conforme resumido no Quadro 2.

Desse modo, parte-se da ideia de preservação e fluxo de recursos renováveis, segue-se para otimização de rendimento de recursos nos dois ciclos projetando-se a remanufatura, renovação e reciclagem, finalizando com o estímulo à efetividade do sistema repercutindo em vários aspectos da vida humana e suas interações com o meio ambiente.

QUADRO 2: PRINCÍPIOS DA EC.

PRINCÍPIOS DA EC	RESUMO
-------------------------	---------------

PRINCÍPIO - 1	<i>Preservar e aprimorar o capital natural controlando estoques finitos e equilibrando os fluxos de recursos renováveis, desmaterializando produtos e serviços com entrega virtual sempre que possível. Quando não for possível, os recursos devem ser selecionados de forma a apresentar maior renovação</i>
PRINCÍPIO - 2	<i>Otimizar o rendimento de recursos fazendo circular produtos, componentes e materiais no mais alto nível de utilidade, tanto no ciclo técnico quanto biológico, de forma a projetar a remanufatura, a renovação e a reciclagem amentando ao máximo a circulação dos produtos</i>
PRINCÍPIO - 3	<i>Estimular a efetividade do sistema, revelando e excluindo as externalidades negativas desde o princípio, o que inclui a redução de danos a sistemas e áreas como alimentos, habitação, educação, saúde.</i>

FONTE: ADAPTADO DE EMF ET AL. (2015, P.7).

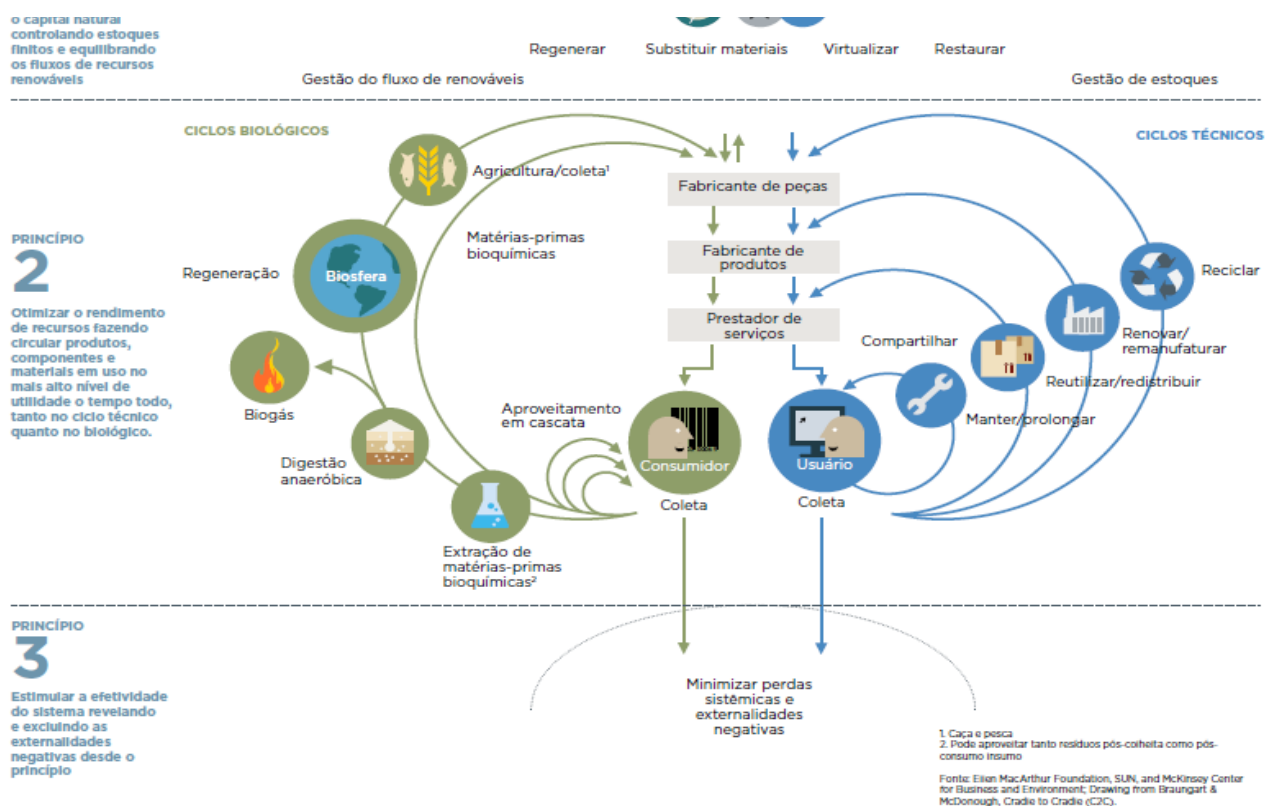
O processo se inicia com a chamada desmaterialização de produtos e serviços, envolvendo sempre tecnologias, virtualização e processos que utilizem recursos renováveis ou que melhorem o desempenho organizacional, indicado no Princípio 1.

No Princípio 2, deve-se priorizar o *design* (projeto) de produtos visando o conceito dos 3R's, de forma que os materiais técnicos utilizados circulem o máximo possível para contribuir ao desenvolvimento da economia.

Enquanto o Princípio 3, a efetividade dos recursos tende a reduzir os desperdícios, evitando que uma gestão ineficiente interfira de forma negativa no desenvolvimento da EC (EMF, 2013; EMF, 2015).

O diagrama de Borboleta ou "*butterfly diagram circular economy*" expressa graficamente os princípios e os processos da EC, conforme apresentado na Figura 5.

FIGURA 4 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO MODELO DE EC.



FONTE: EMF, 2015.

Para Manninen *et al.* (2018), os 3 princípios da EC podem ser um direcionador para a sustentabilidade, promovendo e apoiando a criação de novos modelos organizacionais e inovadores que incorporem, em suas práticas, recursos reciclados os reutilizados, otimização dos processos e efetividade na utilização dos materiais e equipamentos.

De acordo com a EMF (2013), a EC apresenta os seguintes seis objetivos como resumido no Quadro 3.

QUADRO 3: OBJETIVOS DA EC

RESUMO

1 - Manter produtos, componentes e materiais em seu mais alto nível de utilidade e valor o tempo todo, fazendo distinção entre os ciclos técnicos e biológicos.

2 - Restaurar a riqueza da natureza, reutilizando e reciclando recursos o máximo possível para evitar a extração de materiais virgens.

3 - Reduzir os custos com matéria-prima a fim de explorar os recursos em seu nível máximo de capacidade.

4 - Estimular o crescimento econômico inteligente, sustentável e integrador.

5 - Melhorar a qualidade do produto / serviço

6 - Eliminar o uso de produtos químicos tóxicos.

FONTE: ADAPTADO DE EMF (2013).

A EMF (2015) e EMF (2017), apresentam as seguintes características para os processos de EC indicados no Quadro 4.

QUADRO 4: CARACTERÍSTICAS PARA OS PROCESSOS DA EC

RESUMO

1 - Pensamento sistêmico, de forma que diferentes partes deverão estar fortemente ligadas a cada uma das outras.

2 - Geração de vantagem competitiva para as organizações por meio de novas possibilidades de mercados e da criação de novos negócios.

3 - Geração de novos empregos, resultado do aumento dos gastos estimulado por preços mais baixos em todos os setores e ao uso intensivo de mão de obra para as atividades de reciclagem e remanufatura.

4 - Abordagem promissora para redução dos problemas ambientais e sociais, garantindo melhor qualidade de vida à sociedade.

5 - Eliminação do desperdício em todos os processos de produção, com o intuito de que todos os materiais possam ser reaproveitados, acarretando redução dos custos com matéria-prima.

6 - Eficiência na utilização de materiais e energia, assegurando crescimento econômico menos dependente dos recursos naturais e a diminuição e/ou eliminação da geração de resíduos.

7 - Design sem resíduos, criando produtos que sejam projetados para a remanufatura, renovação e reciclagem.

8 - Economia restauradora com a utilização de energia renovável e a eliminação do uso de produtos químicos tóxicos.

9 - *Transitar para o uso de energia proveniente de fontes renováveis, reduzindo a dependência de novos recursos.*

10 - *O poder do uso em cascatas, diversificando o reuso de um produto em toda a cadeia de valor para que um mesmo produto possa ser reutilizado várias vezes por vários usuários até explorar seu valor máximo. Após isso, é devolvido com segurança para a biosfera.*

11 - *Desenvolvimento por meio de um ciclo técnico, de forma que o consumo seja substituído pelo uso e os materiais sejam recuperados e restaurados, onde o que antes era tido como resíduo, torna-se matéria prima de outro processo.*

12 - *Desenvolvimento por meio de um ciclo biológico, onde, após o uso ou consumo, parte do material seja reconduzido à natureza como fonte de nutrientes, de modo a transformá-los em nutrientes biológicos.*

13 - *Sistema regenerativo e restaurativo por natureza possibilitando que as operações industriais se desenvolvam conforme o ciclo biológico da natureza, tido como um fluxo cíclico, reduzindo a procura por matéria-prima, o consumo excessivo de energia e, conseqüentemente, a produção de resíduos não reaproveitáveis, seja de maneira técnica ou biológica.*

14 - *Abordagem das três dimensões: ambiental, econômica e social de maneira que todas trabalhem de forma simultânea.*

15 - *Sofre influências diretas por meio da mudança de padrões de consumo.*

16 - *Apoia-se nos conceitos de ecologia industrial, no sentido em que a produção industrial aconteça de forma a preservar o meio ambiente.*

17 - *Integração de atividades de redução, reutilização e reciclagem durante a produção, troca e consumo explorando ao máximo as potencialidades de cada produto para substituir o conceito do fim de vida útil.*

18 - *Desenvolvimento da resiliência por meio da diversidade*

19 - *Substituição do conceito de consumidor para usuário de forma a repensar a propriedade, seguindo um modelo onde os produtos passem a ser alugados aos consumidores que, por sua vez, se tornarão utilizadores de um serviço.*

FONTE: ADAPTADO DE EMF (2015) E EMF (2017).

Vinculado aos princípios, objetivos e às características anteriormente apresentadas, EMF (2015) existem quatro fontes de criação de valor dentro da EC e que contribuem para o seu fortalecimento:

- O poder dos círculos menores: quanto mais fechado o ciclo, mais valiosa é a estratégia;
- O poder dos círculos mais longos: significa maximizar o número de ciclos e/ou tempo de cada ciclo para o produto, como reutilizar um produto por várias vezes mantendo o seu “valor percebido”. O prolongamento desse ciclo evita o consumo de material, mão de obra, energia e outros recursos.
- O poder do uso em cascata: Diversificar o reuso de um produto em toda a cadeia de valor.
- O poder dos insumos puros: A eficiência da coleta e distribuição aumenta com a utilização de materiais não contaminados, mantendo a qualidade dos materiais técnicos, ampliando a longevidade do produto e, conseqüentemente, aumentando sua produtividade.

2.1.3 – IMPLANTAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DA ECONOMIA CIRCULAR

Até maio de 2017, as organizações não tinham orientação oficial sobre os princípios, estratégias, implementação e monitoramento da EC, assim, a *British Standards Institution* (BSI) lançou então a norma “BS 8001: 2017 – *“Framework for implementing the principles of the circular economy in organizations – Guide”* - Framework para implementar os princípios da EC nas organizações”.

A norma BS 8001:2017 traz uma lista abrangente de termos e definições de EC, um conjunto de princípios gerais, uma estrutura de gerenciamento flexível para implementar estratégias de EC nas organizações e uma descrição detalhada de questões econômicas, ambientais, de *design*, *marketing* e jurídicas relacionadas à EC.

A principal iniciativa da norma é auxiliar as organizações e indivíduos no conhecimento e na implantação das práticas mais circulares e sustentáveis para uma ampla gama de organizações, de diferentes tamanhos e com vários níveis de conhecimento e compreensão da EC.

A BS 8001: 2017 é dividida em duas áreas:

- Na compreensão do que é a EC e como pode ser relevante trabalhar com esse modelo de operação;
- Como implementar os princípios da EC em um contexto organizacional, utilizando três elementos que são classificados como: (i) Princípios orientadores; (ii) Estrutura flexível; e (iii) Apoio e orientação.

A norma descreve no seu capítulo 0.6 que a EC é uma abordagem holística de todos os processos, enquanto o Lean Manufacturing (LM) tem suas bases com foco na melhoria contínua para criar mais valor para os clientes com menos recursos, menos materiais, menos tempo, menos energia e espaço para produzi-los (conforme detalhamento no próximo subtópico). Focando na demanda do cliente e no desenvolvimento de produtos e serviços de alta qualidade da maneira mais circular e econômica.

Para a norma BS 8001:2017: *“Se abordado com a mentalidade correta, a EC pode ser uma extensão natural do pensamento enxuto”*. Muitas das ferramentas e técnicas defendidas pelo LM (por exemplo, a eliminação de desperdícios, análise de fluxo de valor e VSM) têm potencial para serem adaptados para os princípios da EC.

Para Niero e Rivera (2018), existem desafios que precisam ser enfrentados para promover a implementação de EC na indústria, como por exemplo no alinhamento da visão da EC e a estratégia da organização.

De acordo com Pauliuk (2018), a norma BS 8001:2017 permanece vaga, pois estipula que as organizações são as únicas responsáveis pela escolha dos indicadores de EC e que sozinhas as organizações não capturem todo o potencial de EC, como por exemplo, a norma não consegue demonstrar as ligações entre o monitoramento da estratégia de EC e as ferramentas quantitativas já padronizadas de avaliação do ciclo de vida (LCA) e contabilidade de custos de fluxo de material (MFCA).

Pesce *et al.* (2020), ressaltaram que a norma BS 8001: 2017 foi a mais adequada para o estudo deles, pois permitiu operar no nível micro já que as organizações são livres para determinar seu nível de alinhamento, seus indicadores de acordo com os seus princípios, modelos de negócios e suas estratégias (MORONE e YILAN, 2020).

Existe o projeto de outra norma a ISO/TC 323 que visa à padronização no campo da EC para desenvolver quadros, orientação, ferramentas de apoio e requisitos para a implementação de atividades de todas as organizações envolvidas, para maximizar a contribuição para o DS. Ela também busca cobrir todos os aspectos de uma EC, incluindo compras, produção, distribuição e fim da vida do produto, bem como áreas mais amplas, como mudança comportamental na sociedade, com um conjunto de comitês (possui 61 membros participantes e 14 membros de fiscalização) que apoiam as iniciativas da EC.

2.3. LEAN MANUFACTURING

Os princípios do *Lean Manufacturing* (LM) tem a sua origem no Japão pós-guerra, apoiado nas ideias do Sistema Toyota de Produção (STP), sendo difundido com a publicação do livro “A Máquina que mudou o Mundo”, apesar de o termo Manufatura Enxuta não ser de sua criação (essa expressão foi definida pelo pesquisador John Krafcik), foi ele (WOMACK *et al.*, 2007) quem a tornou mundialmente popular.

Comparada com a produção em massa, o LM exige menos esforços humanos, espaço, capital investido para a aquisição de recursos e tempo na produção, além de os produtos apresentarem um percentual de conformidade maior com as especificações impostas pela satisfação dos clientes (LIKER, 2005; MORGAN e LIKER, 2020; KUMAR e MATHIYAZHAGAN, 2020).

A implementação do LM começou na indústria automobilística, sua aplicação foi rapidamente adotada por outras indústrias de outros segmentos, sendo um dos segredos do LM a simplificação, buscando conhecimento profundo do processo, integração com outras técnicas, métodos interdisciplinares (KARIM e ARIF-UZ-

ZAMAN, 2013), mas é preciso que sejam levados em consideração alguns aspectos, como:

- O comprometimento da alta direção;
- A disciplina, o treinamento e o comprometimento do corpo funcional;
- A flexibilidade para o realinhamento da cultura da organização;
- O entendimento adequado do pensamento Lean.

Ao longo das últimas décadas, o LM está provando ser um sistema de base eficaz para a realização da excelência operacional e da manufatura, pois consiste em utilizar uma produção otimizada, alta qualidade, com maior eficiência, redução de *lead time*, gerando valor e com a aplicação de ferramentas que atuam para eliminar os desperdícios, isto é, conseguido por meio da melhoria contínua dos processos e com a formação de equipe com competências sobre cultura LM (AMJAD, RAFIQUE e KHAN, 2021).

Em termos gerais, o LM é descrito por cinco princípios essenciais para geração de valor (WOMACK e JONES, 2007):

- Especificar valor: definir o valor com precisão sob a perspectiva do cliente final, em termos de produto específico, com recursos específicos oferecidos em um momento específico;
- Identificar fluxos de valor: identificar todo o fluxo de valor para cada produto ou família de produto e eliminar o desperdício;
- Fazer fluxo de valor: fazer o valor restante criando etapas de fluxo;
- Deixar o cliente puxar o valor: projetar e fornecer o que o cliente quer apenas quando o cliente quer;
- Buscar a perfeição: fazer um esforço para alcançar a perfeição através da remoção contínua de camadas sucessivas de desperdício na medida em que elas são expostas.

Ohno (1988) propôs que as perdas presentes no sistema produtivo fossem classificadas em sete grandes grupos:

- Superprodução - Produzir mais do que é necessário de uma só vez;
- Transporte - Transporte desnecessário ou mais longo do que o necessário de peças ou produtos;
- Movimentação - Movimentações desnecessárias ou mais longas do que as necessárias de pessoas ou máquinas;
- Processamento extra - Usar o tempo ou outros recursos em etapas de processamento que não agregam valor ao produto;
- Espera - Pessoas à espera de peças de uma operação anterior;
- Estoque - O dinheiro está parado em um "WIP – *Work in Process* - trabalho em andamento"; os bens construídos não se tornam valor pois não são sendo puxados por um pedido específico de cliente;
- Defeitos - Os produtos que não atendem às especificações de qualidade precisam de tempo para reformulação e/ou descarte de peças defeituosas.

Liker (2005, p. 47-48) soma aos sete desperdícios "clássicos" uma oitava grande perda o desperdício da criatividade dos funcionários: perdas de tempo, ideias, habilidades, melhorias e oportunidades de aprendizagem por não envolver ou ouvir seus funcionários.

Ainda de acordo com Ohno (1988), as tarefas, atividades e processos analisados devem ser classificados em dois grupos mostrados no Quadro 5, para nortear os tipos de ações de melhorias a serem tomadas.

QUADRO 5: GRUPOS DE DESPERDÍCIOS

ATIVIDADES	CLASSIFICAÇÃO	AÇÃO
------------	---------------	------

AGREGAM VALOR	Atividades centrais, processos <i>core</i> .	Manter e estudar ações de melhorias para buscar a perfeição
NÃO AGREGAM VALOR	Desperdícios Necessários - por motivos técnicos, legais ou estratégicos.	Sempre questionar se ainda são necessários e se podem ser feitos de forma diferente, mais simples, ágeis e automatizadas
	Desperdícios Desnecessários	Eliminar Total e definitivamente

FONTE: ADAPTADO DE OHNO. (1988).

O primeiro grupo, os agregam valor são as atividades centrais do negócio, que precisam possuir processos sólidos e bem conhecidos pelos colaboradores para que problemas possam ser identificados preventivamente e devidamente tratados. As atividades do segundo grupo, por definição, são desperdícios por não gerarem valor ao cliente final. Em sendo desperdícios, estas atividades deveriam ser eliminadas total e definitivamente. Mas atentando que dentro deste grupo, há atividades que precisam ser realizadas, motivadas por necessidades, técnica, gerencial, estratégica ou para atender às exigências legais (LIKER, 2005).

Segundo Panwar *et al.* (2015), desperdícios são identificáveis em todas as áreas, ramos de atividades, tanto nas áreas industriais como nas de serviços, inclusive nas organizações que não visam lucros.

Synnes e Welo (2016) acrescentaram que a forma como o cliente percebe o Valor deve ser mapeado, conhecido e entendido desde a concepção inicial do produto ou serviço, evitando de antecipadamente a inclusão de características excessivas e desnecessárias ao produto, que aumentariam os custos, pelo aumento da complexidade na sua fabricação, ou seja, eliminar desperdícios desde a fase de desenvolvimento.

Katayama (2017) indica uma forma complementar de avaliar os desperdícios, o chamado 3M's (*do japonês, Muda, Muri, Mura*) e ainda recomenda ainda que *Muri* e *Mura* sejam tratados tão logo sejam detectados pois geralmente são os tipos de desperdícios que causam a *Muda*, sendo eles:

- *Muda*, significa literalmente desperdício em japonês, lastreado nos oito tipos de desperdícios descritos anteriormente;
- *Muri*, pode ser traduzido como esforço excessivo e refere-se a super utilização das máquinas e da capacidade dos indivíduos, para além dos limites naturais, provocando quebras e desgastes excessivo das máquinas, defeitos nos produtos por erros das pessoas, além do risco de causar lesões físicas nos trabalhadores;
- *Mura*, significa instabilidade, provocada pela não continuidade dos processos devido a variações inesperadas no planejamento de produção ou devido a outras causas internas como paradas de máquinas por processos não estáveis ou a falta de insumos.

2.3.1 - FERRAMENTAS E TÉCNICAS LEAN

A importância da correta escolha e uso das ferramentas LM, com objetivos de solucionar problemas operacionais específicos, bem como a forma de se transportar os conceitos da filosofia enxuta para as aplicações práticas expandiu para outras áreas e evoluiu de modelos de produção para modelos estratégicos de gestão (HINES e RICH, 1997; ZHOU, 2016).

Emiliani e Emiliani, (2013) e Hines, Taylor e Walsh (2020), ressaltaram que uma transformação baseada somente na aplicação das ferramentas é, em geral, muito criticada. Há insucesso de muitos casos de transformação LM devido ao entendimento equivocado dos conceitos, esperando resultados imediatos usando-se exclusivamente as ferramentas. Esta prática pode até trazer algum resultado pontual, mas não conseguem sustentação por não

estarem integradas com os demais processos da organização e nem com a estratégia corporativa.

Esses fatos esclarecem quanto às necessidades de adequar, adaptar e desenvolver novas ferramentas para atender novas situações e também são enriquecidas quando agregaram ferramentas de outros modelos de gestão como o 6 sigma e TPM (*Total Productive Maintenance*), filosofias como a sustentabilidade, além de agregar soluções de Tecnologias da Informação como o ERP (sistemas de gestão integrados) e MRP (gerenciamento de recursos para a manufatura) e da Indústria 4.0 alinhados aos princípios fundamentais e estratégicos LM (PAGLIOSA, TORTORELLA e FERREIRA, 2019; KAMBLE, GUNASEKARAN e DHONE, 2020).

Segundo Hines, Taylor e Walsh (2018), as transformações culturais e organizacionais do LM quando sustentadas por uma estratégia organizacional alinhada com a filosofia enxuta, podem começar pela aplicação de ferramentas que proporcionarão melhorias nos desempenhos imediatos, ajudando a treinar e quebrar eventuais barreiras na aplicação da filosofia.

A sustentação é conseguida à medida que a estratégia permite que as pessoas aprendam, desenvolvam e façam a organização evoluir (BELHADI, *et al.*, 2020), integrando a busca por melhorias contínua dos processos e à agregação de valor ao cliente final, suportando a continuidade do aprendizado LM até a sua consolidação na cultura da empresa.

As principais ferramentas LM abordadas neste trabalho estão listadas e comentadas no Quadro 6.

QUADRO 6: FERRAMENTAS DO LM.

FERRAMENTAS DO LM	RESUMO	AUTOR(ES)
----------------------	--------	-----------

KAIZEN	<p><i>A tradução de Kaizen remete a busca e a implantação melhorias em ciclos contínuos e infindáveis, buscando a perfeição. Kaizen é uma técnica que está na base do STP e dos modelos LM, sendo mais do que uma ferramenta e sim uma técnica para gerenciar as melhorias constantes nos processos e atividades. Usualmente, um programa Kaizen age em 2 frentes, uma com ações no fluxo de geração de valor e é desenvolvido junto com o corpo gerencial e outra que envolve processos localizados em que as próprias equipes de trabalho coordenam as melhorias, sendo que ambas as frentes precisam obrigatoriamente interagir e estar alinhadas às estratégias da empresa.</i></p>	Kumar, Dhingra e Singh (2018)
VSM - Mapeamento do fluxo de valor	<p><i>Ferramenta que permite visualizar, compreender e documentar dois fluxos fundamentais dentro da cadeia de suprimentos, o fluxo dos materiais e o de informações, para possibilitar identificar e analisar as atividades geradoras de valor e as que não geram valor. quatro fases:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • 1) escolhe-se um processo ou uma família de produto; • 2) Desenha-se o estado atual, identificando as atividades que geram e não geram valor; • 3) Desenha-se o estado futuro pensando num fluxo ideal para materiais e informações otimizando a geração de valor e com todos os desperdícios eliminados; • 4) Prepara-se o plano de ações para atingir o estado futuro. 	Andreadis, Reyes e Kumar (2017); Shou et al., (2017):
5 Why	<p><i>Método para a detecção da causa raiz de um problema, consiste em perguntar “por que?” para o problema detectado inicialmente e repetir o mesmo procedimento para as respostas subsequentes, por até 5 vezes. A última resposta obtida seria a causa raiz, que uma vez eliminada, resolveria também os problemas decorrentes.</i></p>	Braglia, Frosolini e Gallo (2017)
A3	<p><i>É uma ferramenta visual e um documento único utilizada para conduzir a implantação de projetos de melhorias e para dar</i></p>	Raudberget e Bjursell (2014); Meiling, Sandberg e

	<i>direcionamento ao planejamento das ações de melhorias, em alinhamento com a estratégia corporativa.</i>	<i>Johnsson (2014)</i>
SMED	<i>(SMED - Single Minute Exchange of Die ou Troca de ferramentais em menos de 10 minutos. Esta ferramenta permite a redução do tempo de fluxo de produção, possibilitando que pequenos lotes de produtos sejam produzidos frequentemente, ação necessária para reduzir os estoques, sem prejudicar a disponibilidade de produtos para o cliente final. O princípio da ferramenta, propõe realizar a análise sistemática das atividades do setup para otimizá-las e viabilizar a transformação de atividades internas em externas, modificando equipamentos, padronizando encaixes ou modularizando os ferramentais.</i>	<i>Braglia, Frosolini e Gallo, (2017); Tokola, Niemi e Kyrenius (2017).</i>
TPM	<i>A Manutenção Produtiva Total - TPM e do LM terem origens diferentes, ambas metodologias possuem grande conexão entre seus princípios e objetivos, ou seja, reduzir desperdícios e melhorar a performance das empresas, como demonstram As perdas combatidas pelo TPM são: (i) perdas em decorrência da quebra de equipamentos; (ii) por necessidade de setup; (iii) pequenas paradas; (iv) redução no ritmo de produção da máquina; (v) provocar defeitos que necessitam de retrabalhos; e (vi) as perdas na inicialização das linhas. O TPM trabalha uma mudança de mind set, integrando totalmente as áreas produtivas e de manutenção com compartilhamento de informações e aprimoramento dos conhecimentos dos colaboradores. Tem foco na eficiência da produção, mas preza pela segurança, qualidade, compromissos com as entregas, custos e em manter a motivação do pessoal.</i>	<i>Mostafa et al. (2015); Andersson, Manfredsson e Lantz (2015); Panwar, Jain e Rathore (2015); Singh e Ahuja (2017);</i>
Trabalho Padronizado	<i>O trabalho padronizado permite obter processos estáveis com resultados previsíveis, consistentes e sem variações, características fundamentais para uma organização Lean poder analisar melhorias. Sugere-se também que os processos devem ser desenvolvidos e padronizados prevendo a capacidade de absorção de certos níveis de variação nos processos e incertezas de mercado, considerando a aplicação em plantas altamente automatizadas, característica marcante nas indústrias de manufatura por processamento.</i>	<i>Liker (2005); Lu e Yang (2015);</i>

	<p><i>Ferramenta utilizada para organizar o ambiente de trabalho, para muitos autores o primeiro passo de uma transformação LM, por propor conceitos de organização, começando pelo posto de trabalho e expandindo para todas as áreas da empresa com ganhos perceptíveis na eliminação de desperdícios.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Seiri, Separar: Dividir os materiais, ferramentas, peças, documentos em 3 tipos. (i) Os itens necessários e de uso frequente que precisam estar sempre à mão; (ii) os materiais necessários, mas de uso esporádico que devem ser guardados em local estabelecido; e os (iii) desnecessários que devem ser colocados à disposição e se não despertar interesse, devem ser corretamente descartados.</i> • <i>Seiton, organizar o que sobrou. Definir um lugar para cada coisa e colocar cada coisa em seu lugar;</i> • <i>Seiso, Senso de Limpeza;</i> • <i>Seiketsu, Padronizar as boas práticas resultantes da introdução dos S anteriores;</i> • <i>Shitsuke, Disciplina para manter os quatro primeiros "S" implantados.</i> 	<p><i>Jiménez et al. (2015); Islam et al. (2015)</i></p>
<p>Heijunka e Heijunka Box</p>	<p><i>Nivelamento da produção ou das atividades de uma área e a ferramenta visual. Esta ferramenta foi inicialmente utilizada na produção para indicar o que, quando e quanto produzir durante um certo período fixo de tempo, permitindo um nivelamento da produção e que os pedidos dos clientes pudessem ser atendidos eficientemente, ao mesmo tempo em que se evita excessos de estoque e permite reduções de custos, mão-de obra e lead time de produção em todo o fluxo de valor. O Heijunka box, que permite o gerenciamento visual do andamento do plano heijunka, tanto na fabricação como nas áreas administrativas.</i></p>	<p><i>Wilson e Ali (2014); Ko e Kuo (2015)</i></p>
<p>Gemba Walk ou "Go see, ask why, show respect"</p>	<p><i>Observação direta, a principal e mais simples das ferramentas, a rotina de circular por onde as coisas acontecem, ou seja, por onde os valores são gerados. "Go see, ask why, show respect" é o princípio desta ferramenta voltada principalmente para as lideranças de quaisquer níveis e serve para todas as</i></p>	<p><i>Womack, (2015); Tyagi et al. (2015)</i></p>

organizações e atividades. A prática propicia duas vantagens: (i) aproximação voluntária, que quebra barreiras e dá a possibilidade de discutir problemas diretamente com os times, incentivando a construção da mentalidade de melhorias; (ii) é a comunicação direta e transparente, proporcionando a chance de alinhar as estratégias e as ações de melhorias, encorajando o time a continuar sempre na busca da perfeição.

FONTE: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR.

O conceito ampliado de LM, não é limitado ao produto, mas estendido à qualidade, entrega de valor ao cliente, ao meio ambiente e a todas as atividades e processos na cadeia de suprimentos integrada. As pessoas deixam de ser um custo fixo e passam a ser os protagonistas da mudança e do sucesso operacional.

Para Zhang, Narkhede e Chaple (2017), o LM como objetivos estratégicos e ponto central da transdisciplinaridade é ainda pouco explorado, que pode estar comprometendo o desenvolvimento e o sucesso das reais melhorias sustentáveis.

O LM é uma abordagem de tomada de decisão para processos de melhoria, a redução do desperdício, envolvimento de todos e ‘produzir mais com menos’ e está diretamente relacionada à economia e aos benefícios ambientais (CAMPOS *et al.*, 2016; DE OLIVEIRA, SOUSA e DE CAMPOS, 2019).

Biggs (2009), afirma que LM pode ajudar a tornar práticas “*Green*” mais eficazes, expondo desperdício escondido e eliminando-o. Existem pontos de sinergia entre o LM e o *Green* (CAMPOS e VAZQUEZ-BRUST, 2016). Biggs (2009), também identificou a relação entre os sete tipos clássicos de desperdícios Lean com os desperdícios *Green*, apresentados no Quadro 7.

QUADRO 7: DESPERDÍCIOS DO LM VS DESPERDÍCIOS GREEN

DESPERDÍCIOS DO LM	DESPERDÍCIOS LM	DESPERDÍCIOS GREEN
DEFEITOS	Sucata, retrabalho, produção de reposição, inspeção	Matérias-primas utilizadas na fabricação produtos defeituosos. Componentes defeituosos exigem a reciclagem ou eliminação necessitando de mais espaço para retrabalho e reparação. Com isso, aumenta o uso de energia para aquecimento, resfriamento e iluminação.
ESPERA	Falta de produtos, muito atraso no processamento, tempo ocioso das máquinas, estrangulamento da capacidade.	Possível deterioração do material ou danos aos componentes causando desperdício de energia no aquecimento, resfriamento e iluminação durante paradas na produção.
SUPERPRODUÇÃO	Itens produzidos para o qual não há pedidos.	Mais matérias-primas utilizadas na fabricação de produtos desnecessários. Produtos adicionais podem estragar ou tornarem-se obsoletos exigindo eliminação através de promoções e/ou descarte de produtos.
MOVIMENTAÇÃO	Movimentações humanas que são desnecessárias ou excessivas, carregamento para longas distancias, transporte.	Mais emissões causadas pelo transporte. Mais espaço necessário para movimentação aumentando a demanda de iluminação, aquecimento, resfriamento e consumo de energia e mais embalagens são necessárias para proteger os componentes durante a movimentação.
ESTOQUE	Matéria-prima, o material em fase de processamento (WIP), ou produtos acabados excedentes.	Mais embalagens para armazenar o material em fase de processamento. Desperdício causado pela deterioração ou danos ao material

		em fase de processamento armazenado mais energia usada para aquecer, resfriar e iluminar a área de armazenamento.
COMPLEXIDADE	Mais peças, mais etapas do processo, ou mais tempo do que o necessário para atender as necessidades dos clientes	Mais peças e matérias-primas utilizadas por unidade de produção, mais processamento desnecessário e aumenta o uso de energia e de emissões.
CRIATIVIDADE NÃO UTILIZADA	Tempo, ideias, habilidades, melhorias e sugestões dos funcionários não aproveitados	Poucas sugestões de prevenção de poluição e oportunidades de minimização de desperdício.

FONTE: BIGGS (2009).

A convergência entre atributos do LM com o pensamento *Green* apresenta consequências para outros atributos, como: funcionários, resíduos CAMPOS e VAZQUEZ-BRUST, 2016), estrutura organizacional, cadeia de suprimentos, relacionamento com fornecedores e clientes (DÜES *et al.*, 2013), fornecimento de matérias primas, inventários, técnicas para redução de desperdícios, transporte, *KPI*, Ferramenta/Prática, e Fim da vida. (JABOUR *et al.*, 2013).

2.3.2 – IMPLANTAÇÃO DOS PRINCÍPIOS E TÉCNICAS DO LEAN MANUFACTURING

A norma SAE J4000 de 1999, intitulada “*Identification and Measurement of Best Practice in Implementation of Lean Operation* - Identificação e mensuração de melhores práticas na implementação de uma operação enxuta” em uma organização industrial” (MELO, 2021), complementada em novembro de 1999 pela SAE J4001, sendo denominada de “*Implementation of Lean Operation User Manual* - Manual do usuário para a implementação de uma operação enxuta” fornece instruções para avaliar o nível de atendimento das organizações a norma SAE J4000 e em 2021 (SAE, 2021), ela foi reafirmada pelo Comitê de Melhoria de Processos e Qualidade Automotiva da SAE (*Society for Automotive Engineers* - Sociedade dos

Engenheiros Automotivos). Essa norma lista os critérios pelos quais a LM poderá ser alcançada, sempre focando na minimização e/ou eliminação de desperdícios, geração de valor e na melhoria contínua. A seção principal da norma é composta de 52 componentes divididos em 6 elementos que avaliam o grau de implantação dos princípios de operações enxutas em uma empresa (LUCATO *et al.*, 2019).

Cada elemento da norma tem como objetivo avaliar um aspecto da organização, a saber:

- Elemento 1 - Ética e Organização;
- Elemento 2 - Pessoas e Recursos Humanos;
- Elemento 3 - Sistema de Informação;
- Elemento 4 - Relação Cliente/Fornecedor e Organização;
- Elemento 5 - Produto e Gestão do Produto;
- Elemento 6 - Produto e Fluxo de Processos

O estágio de implementação de cada componente é associado aos requisitos de cada um dos seis elementos considerados, assim a implantação e operacionalização LM são definidas como processos de eliminação das perdas existentes na cadeia de valor, identificando e medindo as melhores práticas nas organizações.

2.4. INTEGRAÇÃO ENTRE OS CONCEITOS

Para enfrentar os desafios atuais, é necessário combinar diferentes técnicas para fornecer soluções eficientes, produtivas, ecológicas e econômicas (SARIKAYA *et al.*, 2021).

Da perspectiva enxuta, o valor é visto do ponto de vista do cliente, enquanto a filosofia circular enfatiza a preservação do capital natural, a otimização dos

rendimentos de recursos e a promoção da eficácia do sistema (SCHMITT *et al.*, 2021).

As interconexões entre os sistemas enxuto e circular está centrada em operacionalizar os conceitos de EC e LM no chão de fábrica (Kurdve e Bellgran, 2021), consideram necessário conhecer os conceitos, as características da EC, de maneira que permita uma discussão produtiva, para o desenvolvimento de uma organização. Sendo que o ponto de partida (*kickoff meeting*) para um negócio é pensar em qual modelo de negócio pretende-se construir. Dessa forma, se o mercado busca um novo sistema de economia, deve-se atrelá-lo a uma nova forma de fazer negócios.

Assim, Bocken *et al.* (2014), alega que a transição de um negócio linear para um negócio circular apresenta uma série de desafios, visto que o modelo tradicional está enraizado no cotidiano das organizações. Logo, questiona-se qual deve ser a estratégia para começar a desenvolver um novo modelo de negócio circular.

Visando a transição da economia linear para a circular, EMF (2015, p.10), pesquisou junto a especialistas um conjunto de seis ações específicas a serem adotadas por empresas e governos. Tal conjunto de ações formam a estrutura RESOLVE (*REgenerate* - regenerar, *Share* - compartilhar, *Optimise* - otimizar, *Loop* - ciclos, *Virtualise* - virtualizar e *Exchange* – substituir / trocar), com o enfoque de proporcionar para as empresas e governos uma ferramenta que contribua para geração de estratégias circulares e iniciativas voltadas ao crescimento (MANNINEN *et al.*, 2018).

Logo, a adoção de indicadores permite que as empresas avaliem o desempenho de um produto, serviço ou da própria empresa como um todo no contexto da EC, possibilitando analisar a evolução do modelo linear para a circular (EMF; GRANTA, 2015a).

Essa avaliação do desempenho do produto ou empresa pode ser feita nos três principais níveis (micro, meso e macro) a partir de um indicador (qualitativo ou quantitativo), que fornece uma forma simples e confiável de mensurar algo, levar

à reflexão de mudanças relacionadas a uma intervenção, ou para auxiliar na avaliação de desempenho organizacional ou governamental (OECD, 2014).

Para Jacobi *et al.* (2018), a necessidade de avaliar a performance de circularidade, a duração dos recursos materiais precisa ser direcionada, ou seja, customizado para o atendimento das necessidades estabelecidas para cada segmento industrial.

Saidani *et al.* (2019), identificaram 55 indicadores de circularidade no mercado, essa ampla gama de indicadores foi desenvolvida nos últimos anos e, devido a essa grande variedade, é importante entender o que cada um representa para usar adequadamente aquele que atende à necessidade da empresa.

Nas suas pesquisas Niero (2019) menciona que, no nível do produto (micro), o uso de diferentes tipos de indicadores para avaliar o desempenho da EC foi testado em apenas um conjunto limitado de setores, como energia (SAIDANI *et al.*, 2017), manufatura (WALKER *et al.*, 2018) e embalagens, considerando na análise apenas um tipo de produto e que mais estudos precisam ser validados.

Quando se trata de usinagem, há uma vasta gama de peças, de diferentes materiais, geometrias e parâmetros, além do que os fabricantes de máquinas, ferramentas, utilizam uma variedade de processos de usinagem (BORGES, 2019). Independentemente disso, o objetivo comum de todos os fabricantes é criar determinado número de peças de uma qualidade desejada, em um determinado período e a um custo adequado e, atualmente, de maneira sustentável (GOINDI e SARKAR, 2017).

As questões de eficiência, ambientais e de segurança representam fatores cada vez mais importantes na economia da produção. Os fabricantes estão sob pressão para economizar energia, reduzir as emissões e minimizar as poluições (ABUALFARAA, *et al.*, 2020).

A adoção dos conceitos de EC e LM na produção requer uma análise geral do ambiente de usinagem e a aceitação de formas de pensamento que vão contra muitas práticas estabelecidas de usinagem de metal (YADAV *et al.*, 2020). Mas,

realizar as estratégias podem melhorar a economia de custos e a qualidade da peça e permitir uma produção mais ecológica, ao mesmo tempo que, mantém a produtividade e a lucratividade em um processo de fabricação estável e confiável em geral (KURDVE e BELLGRAN, 2021).

Para minimizar o desperdício e preservar os recursos de forma eficaz, é necessário um entendimento completo das características do material da peça, material da ferramenta, das máquinas e dos processos de usinagem. Obter essa compreensão envolve a medição precisa dos parâmetros de processo para determinar exatamente o que está sendo feito e quais são realmente os resultados pretendidos.

EC evolui da noção de escassez de material na Terra, o LM torna mais eficiente esses recursos materiais, logo, na integração entre EC + LM pode haver benefícios econômicos, ambientais e sociais para os negócios. No entanto, falta consistência dos vários indicadores-chave de desempenho (KPI) ou outras métricas da EC que são mencionados, mas que carecem de uma explicação de onde esses indicadores se originam e como podem ser aplicados na prática (SAIDANI *et. al.*, 2019).

Para se obter uma visão geral desses conjuntos de indicadores de EC foram sintetizados no Quadro 8 os principais deles.

QUADRO 8: VISÃO GERAL DOS INDICADORES DE EC

#	INDICADORES	NÍVEL DE CIRCULARIDADE				AUTORES
		NANO	MICRO	MESO	MACRO	
1	Assessment of Circular Economy Strategies at the Product Level (APL)	x				Niero e Kalbar (2019)
2	BIM-based Whole-life Performance Estimator (BWPE)	x				Akanbi <i>et al.</i> (2018)
3	C2C Indicators	x				C2C (2014)
4	Circ (T)	x				Pauliuk <i>et al.</i> (2017)
5	Circular Building Assessment Prototype (CBA)	x				BAMB (2020)
6	Circular Business Model Set of Indicators based on Sustainability (CBM-IS)	x	x			Rossi <i>et al.</i> (2020)
7	Circular Economic Value (CEV)	x				Fogarassy <i>et al.</i> (2017)
8	Circular Economy Benefit Indicators (CEBI)	x				Huysveld <i>et al.</i> (2019)

9	Circular Economy Index (CEI)	x	x	Di Maio e Rem (2015)
10	Circular Economy Indicator Prototype (CEIP)	x		Cayzer et al. (2017)
11	Circular Economy Measurement Scale (CEMS)		x	Nuñez-Cacho et al. (2018)
12	Circular Economy Performance Indicator (CPI)	x		Huysman et al. (2017)
13	Circular Economy Toolkit (CET)	x		Evans e Bocken (2013)
14	Circular Gap (CG)	x	x	Circle Economy (2018)
15	Circular Pathfinder (CP)	x	x	ResCoM (2017)
16	Circularity Assessment Model (CAM)	x	x	Giacomelli <i>et al.</i> (2018)
17	Circularity Calculator (CC)		x	ResCoM (2017)
18	Circularity Check (Check)	x	x	Ecopreneur (2019)
19	Circularity Index (CI)	x		Cullen (2017)
20	Circularity Measurement Toolkit (CMT)		x	Garza-Reyes <i>et al.</i> (2019)
21	Circularity of Material Quality (QC)	x	x	Steinmann <i>et al.</i> (2019)
22	Circularity Transition Indicators (CTI)		x	WBCSD (2020)
23	Circulytics (CYT)		x	EMF (2020)
24	Closed Loop Calculator (CLC)	x		Kingfisher (2014)
25	Ease of Disassembly Metric (EDiM)	x		Vanegas <i>et al.</i> (2018)
26	Economic-environmental Indicators (EEI)	x		Fregonara <i>et al.</i> (2017)
27	Economic-Environmental Remanufacturing (EER)	x		van Loon e van Wassenhove (2018)
28	End of Life Best Practice Indicators (BPI)	x		Jiménez-Rivero e García-Navarro (2016)
29	End-of-Life Index (ELI)	x		Lee <i>et al.</i> (2014)
30	Environmental Sustainability of Food Packaging indicators (FPI)	x	x	Pauer <i>et al.</i> (2019)
31	EoL indices (EoLi)	x		Favi <i>et al.</i> (2017)
32	Evaluation Index System of CE for PCFs (CE-PCF)		x	Liang <i>et al.</i> (2018)
33	Expended Zero Waste Practice Model (ZWP)		x	Veleva <i>et al.</i> (2017)
34	Global Resource Indicator (GRI)	x	x	Adibi <i>et al.</i> (2017)
35	Improved Water Circularity Index (WCI)		x	Sartal <i>et al.</i> (2020)
36	Input-Output Balance Sheet (IOBS)	x		Capellini (2017)
37	Longevity and Circularity (L&C)	x		Figge <i>et al.</i> (2018)
38	Material and Energy Circularity Indicators (MECI)		x	Zore <i>et al.</i> (2018)
39	Material Circularity Indicator (MCI)	x	x	EMF e Granta (2015)
40	Material Efficiency in Supply Chains Spreadsheets (MESCS)		x	Braun <i>et al.</i> (2018)
41	Material Input Per Service Delivered (MIPS)	x	x	Ritthoff <i>et al.</i> (2002)
42	Mine site MFA Indicator (MI)		x	Lèbre <i>et al.</i> (2017)
43	Multi-Criteria Evaluation Method of Product-Level	x		Alamerew <i>et al.</i> (2020)

Circularity Strategies (MCEM-PLCS)						
44	Multidimensional Indicator Set (MIS)	X				Nelen <i>et al.</i> (2014)
45	Product Circularity Improvement Program (PCIP)	X	X			Circularity IQ e KPMG (2020)
46	Product Recovery Multi-Criteria Decision Tool (PR-MCDT)	X				Alamerew e Brissaud (2019)
47	Product Recycling Desirability Index (PRDI)	X				Mohamed Sultan <i>et al.</i> (2017)
48	Product-Level Circularity Metric (PCM)	X				Linder <i>et al.</i> (2017)
49	PRP Circular e-Procurement Tool (PRP) and The ReNtry - module	X				Rendemint (2016)
50	Recycling Indices (RIs)	X				Van Schaik e Reuter (2016)
51	Resource Duration Indicator (RDI)	X				Franklin- Johnson <i>et al.</i> (2016)
52	Resource Efficiency Assessment of Products (REAPro)	X				Ardente e Mathieux (2014)
53	Reuse Potential Indicator (RPI)	X				Park & Chertow (2014)
54	Set of Indicators to Assess Sustainability (SIAS)			X		Golinska <i>et al.</i> (2015)
55	Sustainability Performance Indicators (SPI)	X				Mesa <i>et al.</i> (2018)
56	Sustainable Circular Index (SCI)			X		Azevedo <i>et al.</i> (2017)
57	Systems Indicators for Circular Economy Dashboard (SICED)	X	X			Pauliuk (2018)
58	Efficient use of resources (EUR)			X	X	García-Bustamante <i>et al.</i> (2018)
59	1. R's approach 2. Value recovery 3. Energy efficiency			X	X	Gupta <i>et al.</i> (2021); Hermoso-Orzaez <i>et al.</i> (2019); Gue <i>et al.</i> (2020)
60	Sustainable manufacture			X		Mishra <i>et al.</i> (2019)
61	Lean management drivers (LMD)			X		Yadav <i>et al.</i> (2020)
62	1. R's approach 2. Eco-industrial parks 3. Evaluation index system			X		Zhao <i>et al.</i> (2017)
63	1. Social aspects 2. Creative economy 3. Sustainability indicators				X	Cerreta <i>et al.</i> (2018)
64	Regenerative system (RS)				X	Cerreta <i>et al.</i> (2020)
65	1. R's approach 2. Waste management 3. End of Life Index				X	Deshpande <i>et al.</i> (2020); Gue <i>et al.</i> (2020); Kaźmierczak (2019); Pieratti <i>et al.</i> (2019)
66	1. Waste management 2. Value recovery 3. Sustainability indicators 4. Recycling rate 5. Recovery rate				X	Ferronato <i>et al.</i> (2019); Kazuva <i>et al.</i> (2021); San Martin <i>et al.</i> (2020)
67	1. Waste management 2. Value recovery 3. Sustainability indicators 4. End of Life Index				X	Erceg e Margeta (2019); Gomes <i>et al.</i> (2020); Grippo <i>et al.</i> (2019); Garcia-Bernabeu <i>et al.</i> (2020); Chauhan <i>et al.</i> (2021); Nikanorova and Stankevičienė (2020); Nowakowski <i>et al.</i> (2017); Palafox-Alcantar <i>et al.</i> (2020);
68	Index of National Economies' Circularity (INEC)				X	Kasztelan (2020)
69	Urban regeneration(UR)				X	Spina (2019)

FONTE: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR.

Todos esses conjuntos de indicadores buscam apoiar a EC e podem ser analisados individualmente ou posteriormente pela categorização de palavras-chave. Isso é feito por meio de conceitos de agrupamento de acordo com o nível de circularidade dos indicadores nano, micro, meso, macro. Os indicadores que descrevem o mesmo propósito ou atingem um objetivo semelhante são agrupados.

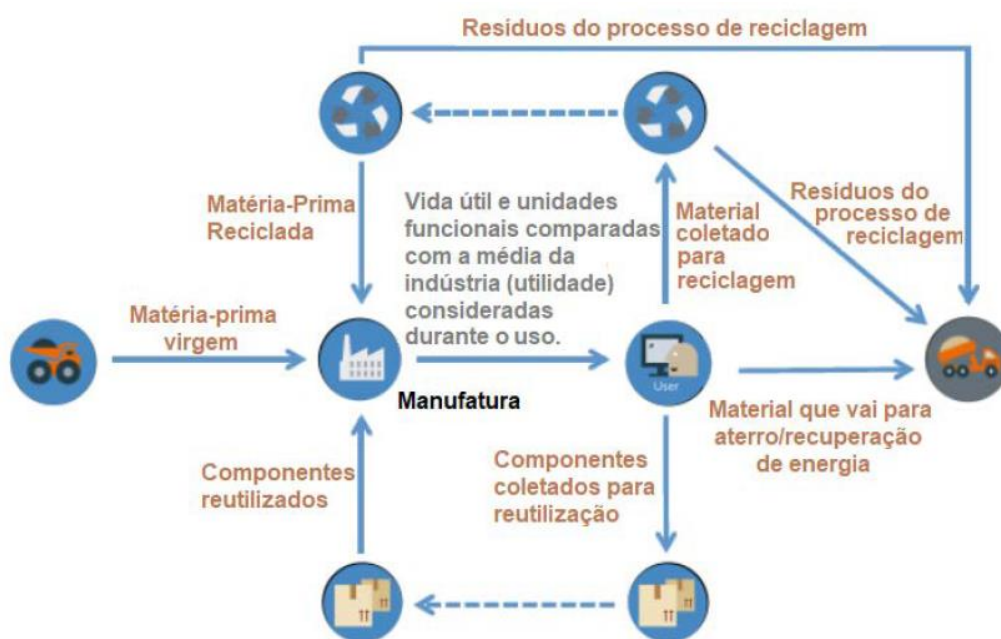
De acordo Jacobi *et al.* (2018), cada organização poderia utilizar um ou mais indicadores, direcionado ao atendimento de suas necessidades. Para avaliar a performance de circularidade, pode-se utilizar CEPI (*Circular Economy Performance Indicator*), proposto por Huysman *et al.* (2017) e associado a ele pode-se medir a duração de seus recursos materiais, utilizando, nesse caso, do RDI (*Resource Duration Indicator*), conforme apresenta Franklin-Johnson *et al.* (2016).

A Fundação Ellen MacArthur, em parceria com a Granta (ZORE *et al.*, 2018), desenvolveram os indicadores de circularidade, chamados de MCI (*Material Circularity Indicator*). Esse indicador foi desenvolvido para avaliar a circularidade nos níveis de produto e empresa, ou seja, mensurar o quão restaurativo são os fluxos de materiais de um produto ou empresa, podendo ser usado como uma ferramenta para tomada de decisão, entre outras finalidades (EMF; GRANTA, 2015a). No entanto, mesmo com o MCI, muitos pesquisadores têm levantado diversas questões a respeito da medição da circularidade (SAIDANI *et al.*, 2019).

Para o cálculo do MCI é considerado a convergência de três características do produto: i) a massa (V) de matéria-prima virgem utilizada na fabricação; ii) a massa (W) de resíduos irrecuperáveis atribuídos ao produto, e iii) um fator de utilidade (X) que representa a duração e a intensidade do uso do produto (EMF; GRANTA, 2015b).

A Figura 5 representa como deveria ser o fluxo de materiais associados aos ciclos técnicos para encontrar o MCI de um produto.

FIGURA 5 – MCI: REPRESENTAÇÃO DOS FLUXOS DE MATERIAIS



FONTE: EMF; GRANTA (2015, P. 5)

- Para calcular o MCI os indicadores concentram-se exclusivamente em materiais de fontes não renováveis pertencentes aos ciclos técnicos, além de uma lista detalhada de materiais para o produto, sendo considerados os seguintes *inputs*, segundo EMF; GRANTA (2015, p. 5):
- Entrada no processo de produção: o quanto de entrada de recursos é proveniente de material virgem e componentes de materiais reciclados e reutilizados?
- Utilidade durante a fase de uso: por quanto tempo o produto é usado em comparação com a média de um produto da indústria de tipo semelhante?
- Destino após o uso: o quanto de material entra em aterro (ou recuperação de energia)? Quanto é coletado para reciclagem? Quais componentes são coletados para reutilização?
- Eficiência da reciclagem: quão eficientes são os processos de reciclagem utilizados para produzir entrada reciclada e para reciclar material após o uso?

Em paralelo, um dos esforços para auxiliar a indústria na aplicação do LM e do *Green Manufacturing* (GM) são as ferramentas *Lean e Green* da Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA, 2009).

Este conjunto de ferramentas destina-se a mostrar o potencial de tratamento de resíduos ambientais (que eles definem como uso desnecessário de recursos ou uma substância liberada no ar, água ou terra que poderia prejudicar a saúde humana e o meio ambiente) ao usar técnicas LM (FAULKNER e BADURDEEN, 2014).

Na sequência, detalham-se as análises dos artigos que tratam da existência de pontos sinérgicos entre práticas LM e GM, e que podem ser aplicados na EC (Quadro 09).

Ambas as manufaturas, LM e GM, estão preocupadas com a forma que o desperdício é tratado.

Apesar de desperdícios terem significados diferentes, segundo Biggs (2009), isso também auxilia de maneira positiva e direta com a visão geral dos conjuntos de indicadores de EC.

Dessa forma, pode se gerar vantagem competitiva para as organizações que adotarem essas práticas sustentáveis, buscando sempre atender o *Triple Bottom Line* (SU *et al.*, 2013)., reduzindo os desperdícios, fluxo de recursos naturais gerando um ecossistema com a utilização de energias renováveis e estimulando novos modelos de negócios (KORHONEN *et al.*, 2018).

A avaliação da usinagem sustentável ou usinagem verde não é uma tarefa fácil e requer conhecimento da máquina, ferramental, material e, bem como, do desempenho geral do processo, considerando a eficácia do processo e aplicações específicas (MORTAZAVI e IVANOV, 2019; FARIAS *et al.*, 2019; PAES *et al.*, 2019).

Para MANI *et al.* (2013), a deficiência de critérios de medição e metodologias para verificar o desempenho dos processos de usinagem com respeito à sustentabilidade resultou em comparações imprecisas e não confiáveis.

Portanto, o Quadro 9, apresenta um panorama geral dos trabalhos acadêmicos que fizeram a abordagem da existência de pontos sinérgicos entre as práticas LM e GM, e que podem ser aplicados na EC.

QUADRO 9: VISÃO GERAL DOS INDICADORES DE LM E GM COM SINERGIA COM EC

Práticas Integradas LM and GM	Lean – ACV – P+L	VSM	Cradle to grave	Ind. Ambiental				Ind. Social				Ind. Econ	Avaliação impacto Ambiental			Autor			
				Consum Água	Cons energia	resíduos	Categorias Impacto Amb	3R's	trabalhadores	consumidores	comunidade		sociedade	Cadeia de valor	Estoques, retrabalhos, OEE, etc...		7 desperdícios LM	Fim de vida	Indústria
<i>EPA Lean and Energy Toolkit</i>	-	X	-	X	X	X	-	-	X	-	-	-	-	X	X	-	X	-	US EPA (2007a)
<i>Sustainable Value Chain Map (SVCM)</i>	-	√	-	X	X	X	1-PC	-	-	-	-	-	-	X	-	-	X	-	Feame and Norton (2009)
<i>Sustainable manufacturing mapping (SMM)</i>	-	X	-	X	X	X	X	-	X	-	-	-	-	X	X	-	X	-	Paju et al. (2010)
<i>Lean sustainable production assessment tool</i>	-	X	-	X	X	X	1-PC	X	-	-	-	-	-	X	X	-	X	-	Kuriger et al. (2011)
<i>Green VSM</i>	-	X	-	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	X	-	Dadashzadeh and Wharton (2012)
<i>Modelo Lean & Green Business Model</i>	-	-	-	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	X	-	Pampanelli, (2014)
<i>Sustainable Value Stream Mapping (Sus-VSM)</i>	-	X	-	X	X	X	-	X	-	-	-	-	-	X	X	-	X	-	Faulkner, W.; Badurdeen, F., (2014)
<i>Modelo Lean-Green baseado na aplicação do SMED combinada com a Pegada de Carbono (FC).</i>	-	-	-	-	X	X	1-PC	-	-	-	-	-	-	X	X	-	X	-	Leme Junior et al., (2018).
<i>LCA integrated sustainable Manufacturing Mapping (LCA, VSM)</i>	-	X	-	X	X	X	X	X	-	-	-	-	-	X	X	-	X	-	Vinodh, S., Ruben, R. B., & Asokan, P. (2016).
<i>Matriz Lean e Green que integra os sete tipos de resíduos Lean com os 3Rs do sistema Green.</i>	-	-	-	X	X	X	-	X	-	-	-	-	-	X	X	-	X	-	Fercoq, A., Lamouri, S., & Carbone, V. (2016).
<i>Modelo de tomada de decisão LARG. A decision-making model for lean, agile, resilient and green supply chain management.</i>	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	X	X	-	X	X	Cabral, I., Grilo, A., & Cruz-Machado, V. (2012).
<i>Modelo de maturidade Lean e Green (Capability Maturity Model Integration-CMMI)</i>	-	-	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	X	-	Verrier, B., Rose, B., & Caillaud, E. (2016).
<i>Lean Integrated Management System: a Model For Sustainability Improvement</i>	-	X	-	X	X	X	-	-	X	-	-	-	-	X	X	-	X	-	Souza, J. P. E., & Alves, J. M. (2018).
<i>Lean and green integration into production system models e experiences from Swedish industry</i>	-	X	-	X	X	X	-	X	-	-	-	-	-	X	X	-	X	-	Kurdve, M., Zackrisson, M., Wiktorsson, M., Harlin, U., (2014)
<i>Influence of Green and Lean Upstream Supply Chain Management Practices on Business Sustainability</i>	-	-	-	-	-	-	1-PC	-	-	-	-	-	X	X	X	-	X	X	Azevedo, S. G., Carvalho, H., Duarte, S., & Cruz-Machado, V. (2012).
<i>Model of efficient and sustainable improvements in a lean production system through processes of environmental innovation</i>	-	-	-	-	X	X	1-AG	-	-	-	-	-	-	X	X	-	X	-	Aguado, Sergio; Alvarez, Roberto; Domingo, Rosario, (2013).
<i>Production management model integrating the principles of lean manufacturing and sustainability supported by the cultural transformation of a company (integrated system of management – ISMA)</i>	-	X	-	X	X	X	-	X	X	X	-	-	-	X	X	-	X	-	Alves, José Roberto Xavier; Alves, João Murta, (2015)

PC – Pegada de carbono; AG - Aquecimento Global.

FONTE: ADAPTADO DE AVANCINI, 2019.

O Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia dos EUA (NIST) identificou cinco dimensões da sustentabilidade na usinagem e, incluindo (MORTAZAVI e IVANOV, 2019), são eles: gestão de efeitos ambientais; crescimento econômico; bem-estar social; desenvolvimento tecnológico; e gestão de desempenho (Quadro 10) (MANI *et al.*, 2013).

QUADRO 10: DIMENSÕES E MÉTRICAS PARA UMA USINAGEM SUSTENTÁVEL

DIMENSÕES	MÉTRICAS
CONSUMO	Consumo de energia, Consumo de água, Uso da máquina de energia elétrica, Eletricidade de energia de uso de operação, Qualquer outro uso de energia.
RESÍDUOS	Energia, Resíduos gasosos, Químicos Perigosos, Resíduos líquidos, Desperdício de Água, Óleos Lubrificantes e refrigerantes.
IMPACTO AMBIENTAL	Liberação de água poluída, Uso de energia renovável, Taxa de descarte de produtos químicos, eliminação de resíduos líquidos, Emissão de CO ₂ .
SAÚDE E SEGURANÇA	Dispersão de líquido, Dispersão de material (sólido), Exposição a substâncias tóxicas, Exposição a altas temperaturas, Exposição a alta tensão, Nível de ruído, Nível de vibração, outra exposição perigosa.
GESTÃO DE CUSTOS	Custo de matéria-prima, Custo de reciclagem de água, Custo da eletricidade, Custo de tratamento de subprodutos, Custo do trabalho, Custo de operação, Custo da água, Outra exposição perigosa, Todas as outras despesas.

FONTE: ADAPTADO DE (MANI ET AL., 2013; MORTAZAVI E IVANOV, 2019).

A avaliação da usinagem e processos sustentáveis no nível micro tem recebido menos atenção em muitas organizações, com a maioria dos esforços concentrados no nível de produto e cadeia de abastecimento.

Melhorar a avaliação de sustentabilidade do processo de usinagem e refinar a interpretação dos resultados da avaliação pode ajudar a criar um terreno para investigar parâmetros de usinagem otimizados (MORTAZAVI e IVANOV, 2019).

3. ABORDAGEM METODOLÓGICA

Este capítulo descreve as etapas de desenvolvimento da pesquisa cuja proposta é identificar, a partir da literatura, indicadores da EC e do LM reconhecidos a fim de integrá-los a uma proposta de avaliação de uma linha de usinagem baseado no *Lean Manufacturing* (LM) e na Economia Circular (EC). Inicia-se com a classificação da pesquisa, passando pelas fases da abordagem metodológica, finalizando com a contribuição do trabalho.

3.1. CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Esta pesquisa é classificada com base em quatro aspectos:

Em sua natureza, é uma pesquisa aplicada, pois visa gerar conhecimentos que tenham aplicação prática, e que serão utilizados a curto ou médio prazo. (SILVA, 2003; GERHARDT; SILVEIRA, 2009).

Quanto ao objetivo, esta pesquisa é classificada como descritiva, pois descreve características por meio de coleta de dados. O foco está em descrever as características de uma população ou fenômeno, envolvendo o uso de técnicas para a coleta de dados, como o questionário e a observação sistemática. Este tipo de pesquisa é, na maioria dos casos, na forma de levantamento (GIL, 2011; SEVERINO, 2017).

A pesquisa tem uma abordagem que é classificada como qualitativa pois, conforme Martins (2012, p. 52) enfatiza a “*perspectiva do indivíduo que está sendo estudado*”, o processo e seu significado são os focos principais de abordagem, além de não utilizar dados estatísticos, distinguindo-se, desse modo, da pesquisa quantitativa.

Com relação aos procedimentos técnicos, foram aplicados um estudo teórico-conceitual (ou bibliográfico) e 3 aplicações. O estudo teórico-conceitual é aquele realizado a partir de referências teóricas, fornecendo informações ou

conhecimentos sobre o assunto de interesse (KÖCHE, 2008; GERHARDT e SILVEIRA, 2009).

3.2. FLUXO METODOLÓGICO

O fluxo metodológico está apresentado na Figura 6, na qual se descrevem as quatro grandes etapas desenvolvidas para atender ao objetivo proposto.

A primeira etapa da pesquisa consistiu na delimitação do seu foco, a partir do problema de pesquisa. Nessa etapa, foi decidido pelo desenvolvimento de um modelo de avaliação que integrasse os conceitos da EC com o LM e aplicado especificamente em uma linha de usinagem.

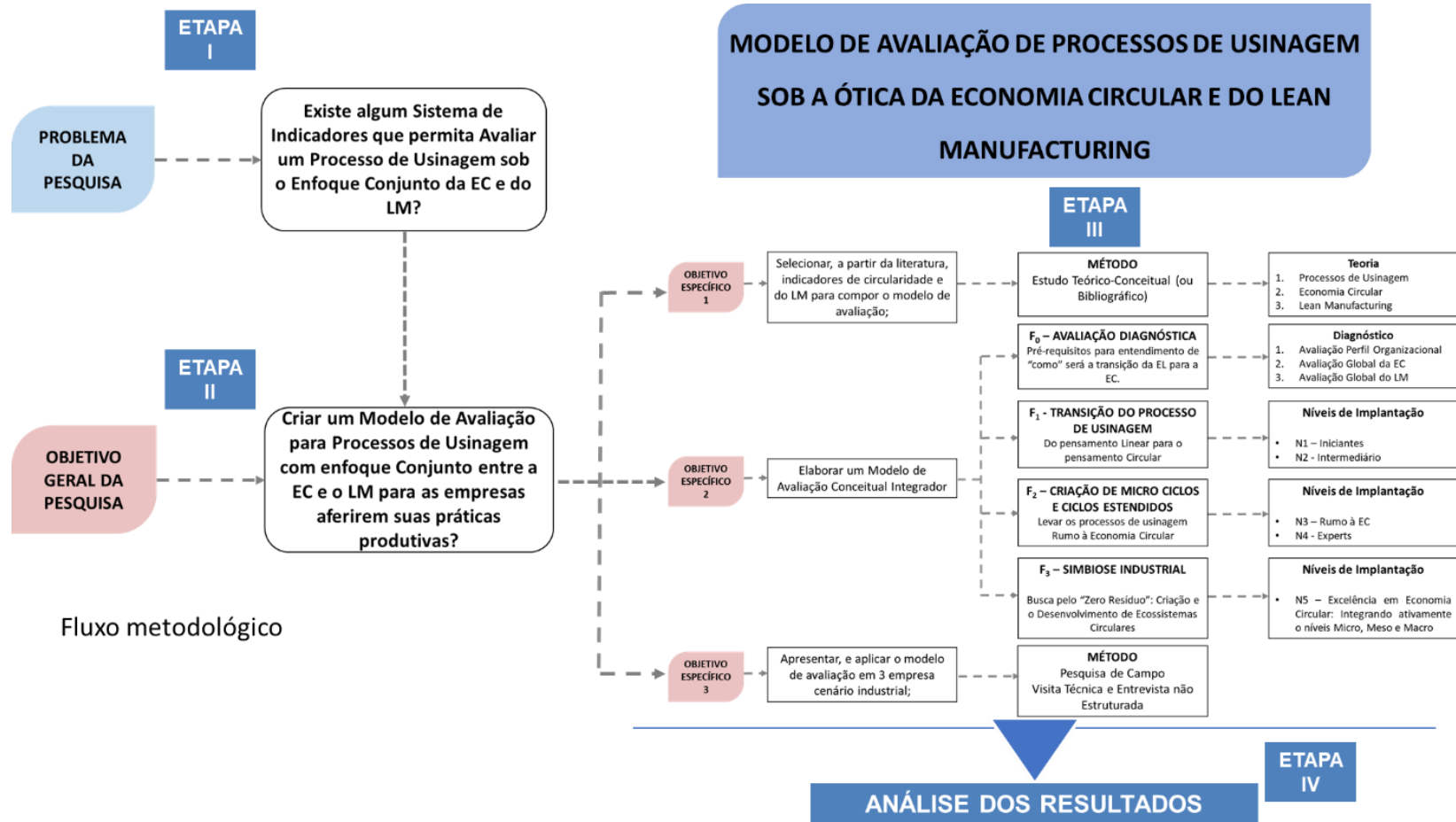
Na segunda etapa, elaborou-se a definição do objetivo geral da pesquisa e em seguida apresentou os objetivos específicos.

O método para alcançar os objetivos específicos foi apresentado na terceira etapa.

Finalmente, na quarta etapa, foram analisados os resultados da avaliação do processo de usinagem.

A partir do mapeamento do estudo, foi estruturado o Modelo de Avaliação Conceitual Integrador (MACI) e definidas as etapas para o seu desenvolvimento.

FIGURA 6 – FLUXO METODOLÓGICO DO TRABALHO



FONTE: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR.

4. MODELO DE AVALIAÇÃO CONCEITUAL INTEGRADOR - MACI

Foram identificadas algumas lacunas na literatura que são relevantes para este estudo, principalmente considerando os indicadores de nível micro aplicados aos processos de usinagem – foco do trabalho. Este capítulo apresenta a estrutura do Modelo de Avaliação Conceitual Integrador (MACI) que relaciona a EC e o LM sendo aplicados à usinagem.

No referencial teórico, a relação entre a EC e o LM está ligada à redução dos desperdícios e da efetividade dos processos. Outros níveis de circularidade (Meso e Macro) serão mencionados brevemente, mas não são as principais preocupações nesta tese, visto que o foco está relacionado aos processos da manufatura de peças e componentes (nível micro).

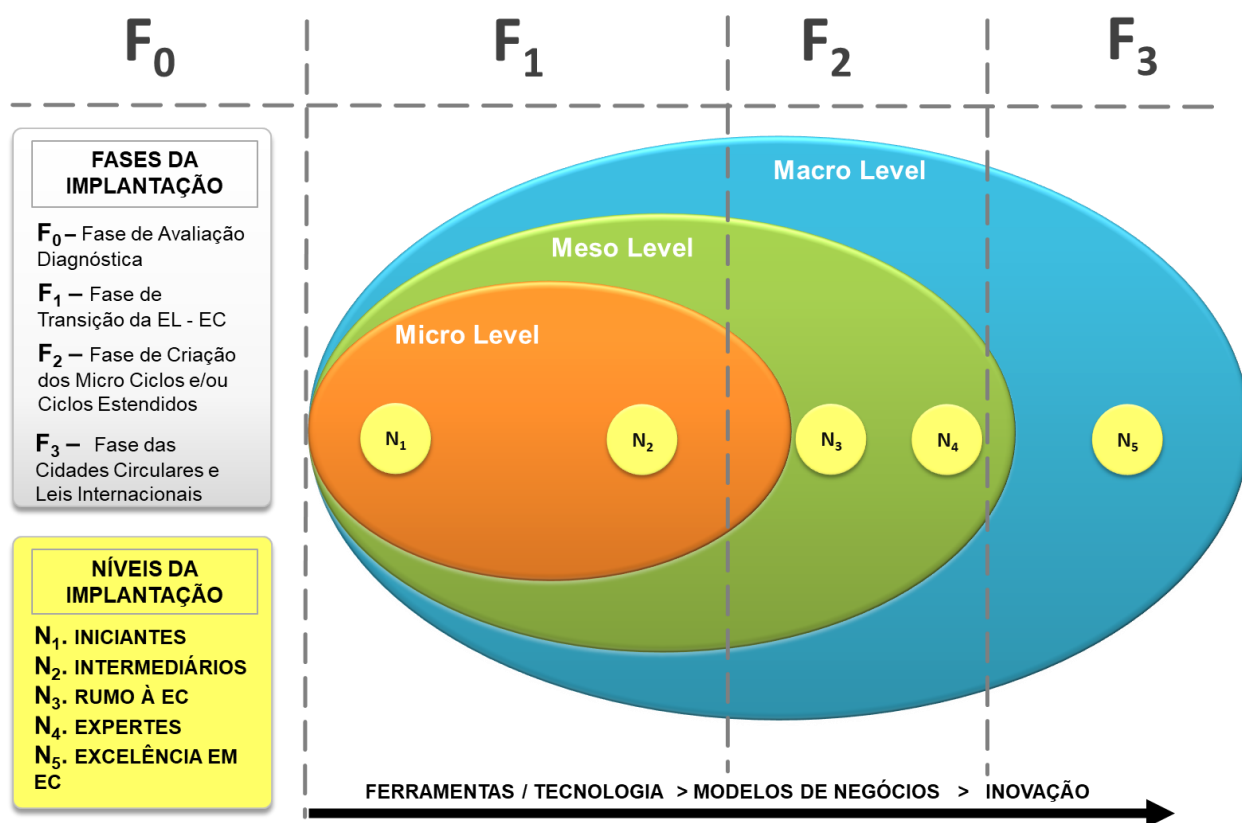
Conforme discutido no capítulo 2 (item 2.1), a EC evolui da noção de escassez de recursos naturais na Terra, ao torná-los mais eficientes, podendo haver benefícios econômicos, ambientais e sociais para os negócios (MOKTADIR *et al.*, 2020). No entanto, falta consistência na definição real e nos princípios da EC. Especialmente em relatórios de organizações, vários indicadores-chave de desempenho (KPI) ou outras métricas são mencionados, mas carecem de uma explicação de onde esses indicadores se originam (SAIDANI *et al.*, 2019).

Para obter uma visão geral dos conjuntos de indicadores encontrados durante a pesquisa, foi feita uma comparação sintetizada pelos Quadros 10, 11 e 12 que foram discutidos por acadêmicos ou aplicados em ferramentas comercializadas por várias organizações. Todos esses conjuntos buscam apoiar a EC e LM nos processos de usinagem.

4.1. ESTRUTURA GERAL E ELEMENTOS-CHAVES DO MACI

A revisão da literatura (Capítulo 2) apontou várias publicações (BS 8001, 2017; SAIDANI, 2019; FARIAS, 2019; PAES, 2019; GHOSH, 2020) que indicaram lacunas, sinergias e a necessidade de integração entre os conceitos EC, LM e usinagem. Os *insights* da análise desses conteúdos trouxeram os elementos-chaves necessários para a construção de um Modelo de Avaliação Conceitual Integrador (MACI), aplicados aos três principais níveis de circularidade (Micro, Meso e Macro), de acordo com LINDER, SARASINI e VAN LOON, 2017 e ALAERTS *et al.*, 2019. A Figura 7 sintetiza a representação do MACI.

FIGURA 7 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO MACI



FONTE: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR.

Como visão geral, o MACI está dividido em duas partes: na primeira parte podem-se observar as Fases da Implantação e na segunda parte são níveis de implantação.

As Fases foram subdivididas em quatro marcos transitórios:

- **(F₀) - Avaliação Diagnóstica:** visou evidenciar a realidade do processo de usinagem para estabelecer pré-requisitos para entendimento de “como” será a transição da EL para a EC, utilizando como base as normas BS 8001 (Guia para implementar os princípios da economia circular nas organizações) e para avaliação do LM foi utilizado as normas J4000 e J4001 (Identificação e medição das melhores práticas na implementação da operação enxuta). A Avaliação Diagnóstica possibilita, então, realizar o levantamento da situação do processo de usinagem em relação às *expertises* já adquiridas pela área avaliada e ao que será proposto pelo MACI, e, a partir dessas análises, ter uma melhor compreensão da área onde se deseja implantar com relação às habilidades e pré-requisitos necessários à continuidade do processo de implantação do MACI (detalhamento no item 4.2);
- **(F₁) – Transição de um processo de usinagem linear para um pensamento de usinagem circular,** apoiados pelos conceitos, aplicações e ferramentas do *Lean Manufacturing* (FARIAS *et al.*, 2019), a fim e eliminar ou reduzir desperdícios (ponto de conexão entre a EC e LM, ver Quadro 11) e a geração de valor. No LM a geração de valor (produto ou serviço) é percebido da perspectiva do cliente (GAUTAM e SINGH, 2008; CEZAR LUCATO *et al.*, 2014), e na CE, o valor é criado com foco na retenção de valor, mantendo os fluxos de material em *loop* o quanto possível durante toda a cadeia de valor (BOCKEN *et al.*, 2013; BOCKEN *et al.*, 2014; BOCKEN, SCHUIT e KRAAIJENHAGEN, 2018); iniciando a conscientização de todas as partes interessadas nos conceitos e ferramentas aplicadas na EC;

- **(F₂) – Criação de Microciclos e de Ciclos Estendidos** para elevar os processos de usinagem Rumo à Economia Circular. Existem quatro maneiras de agregar valor a um produto: (i) Ciclo interno: Devido à manutenção, reparo e adaptação de produtos e serviços existentes; (ii) Ciclo longo: Estendendo o uso e tempo de vida de produtos e processos existentes; (iii) Pensamento em Cascata: Criação de novas combinações de matérias-primas e componentes de produtos e venda e compra de fluxos de resíduos atualizados; (iv) Utilização de insumos puros: são utilizados sem combinação com quaisquer outros insumos e, portanto, facilitam o seu reaproveitamento pois são mais fáceis de separar e redesenhar (MICHELINI *et al.*, 2017; URBINATI, CHIARONI e CHIESA, 2017).
- **(F₃) – Simbiose Industrial**, buscando o “Zero Resíduo” - Com foco na partilha de serviços (transporte e infraestrutura) e resíduos/subprodutos (resíduo de uma indústria utilizado como matéria-prima de outra de forma a "fechar o ciclo"), o desenvolvimento e a criação de ecossistemas circulares entre empresas, comunidade e a sociedade permite uma diminuição do consumo de materiais e energia, apoiados pelas ações governamentais, acordos (nacionais e internacionais), bem como a cooperação e integração com cidades/estados/países (NEVES *et al.*, 2020).

Na segunda parte do modelo, estão os Níveis de Implantação que ficam compreendidos entre as Fases de Implantação. Esses cinco níveis indicam uma evolução do processo de usinagem Rumo a uma EC: (N₁) iniciantes; (N₂) intermediários; (N₃) Rumo à Economia Circular; (N₄) experientes; (N₅) Excelência em Economia Circular.

Estes níveis propiciam uma visão geral da organização e incluem informações resumidas sobre o quantitativo medido e seus critérios de atividades, além de práticas de gestão, gerando um ambiente competitivo, iniciativas de busca da excelência e estrutura organizacional voltada para o pensamento circular.

A Excelência em EC passa por etapas e diferentes níveis de avaliação das suas práticas de gestão. O caminho em busca da excelência apresenta marcos relevantes que definem os estágios para o sistema de gestão da organização. A Figura 8 representa a evolução do processo de usinagem em suas respectivas Fases. Os Níveis são utilizados como referência para as organizações se autoavaliarem e desenvolverem seu sistema de gestão gradualmente.

FIGURA 8 - NÍVEIS DE IMPLANTAÇÃO DO MACI.



FOCO DA TESE

FONTE: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR.

Após a Avaliação Diagnóstica (Fase - F₀) tem início os Níveis de Implantação MACI:

- **N₁ – Iniciante:** São utilizados os critérios de adequação dos processos baseados na Fase (F₀) (detalhamento no item 4.2), treinamentos em LM e EC para conscientização e melhoria contínua. Para facilitar sua mensuração, são propostas questões, ferramentas e solicitações de resultados a serem atendidas pela organização.

- **N₂ – Intermediário:** A estratégia e as métricas trabalham juntas, como uma estrutura única e integrada, para gerir o desempenho da organização de forma sistêmica, auxiliar a organização a alinhar seus recursos; identificar pontos fortes e oportunidades de melhoria; aprimorar a comunicação, a produtividade e a eficácia de suas ações; e atingir os objetivos estratégicos e os primeiros resultados começa a aparecer;
- **N₃ – Rumo à Economia Circular:** a organização avança em direção a excelência da EC, reduzindo os desperdícios, gerando e mantendo o valor agregado aos clientes, acionistas e a sociedade, o que contribui para a efetividade do sistema aumentando sua sustentabilidade e competitividade atendendo as expectativas da EC e incluindo em suas práticas de gestão novos modelos de negócios juntamente com novas tecnologias;
- **N₄ – Experts:** nesta etapa, as práticas do sistema de gestão e de seus padrões, normas (BSI, ISO etc.) e aspectos gerenciais estão presentes na organização de forma sistemática. As práticas circulares atingem à abrangência adequada ao perfil da organização, se tornando *benchmarking* em diferentes áreas da empresa.

Os resultados da aplicação das práticas EC são, então, avaliados, promovendo a implementação de melhorias quanto às práticas adotadas ou quanto aos seus padrões gerenciais, gerando, assim, o aprendizado e a integração do sistema gerencial, dando início ao processo de Simbiose Industrial.

- **N₅ – Excelência em Economia Circular:** às organizações que têm um sistema de gestão bastante evoluído, já demonstram excelência em alguns resultados, competitividade na maioria dos processos e pleno atendimento às expectativas de partes interessadas. Interagindo de maneira ativa no nível micro, meso e macro, atendendo ao complexo ecossistema com os quais interagem e dos quais dependem. As práticas de gestão incorporam práticas de inovação para atender as necessidades

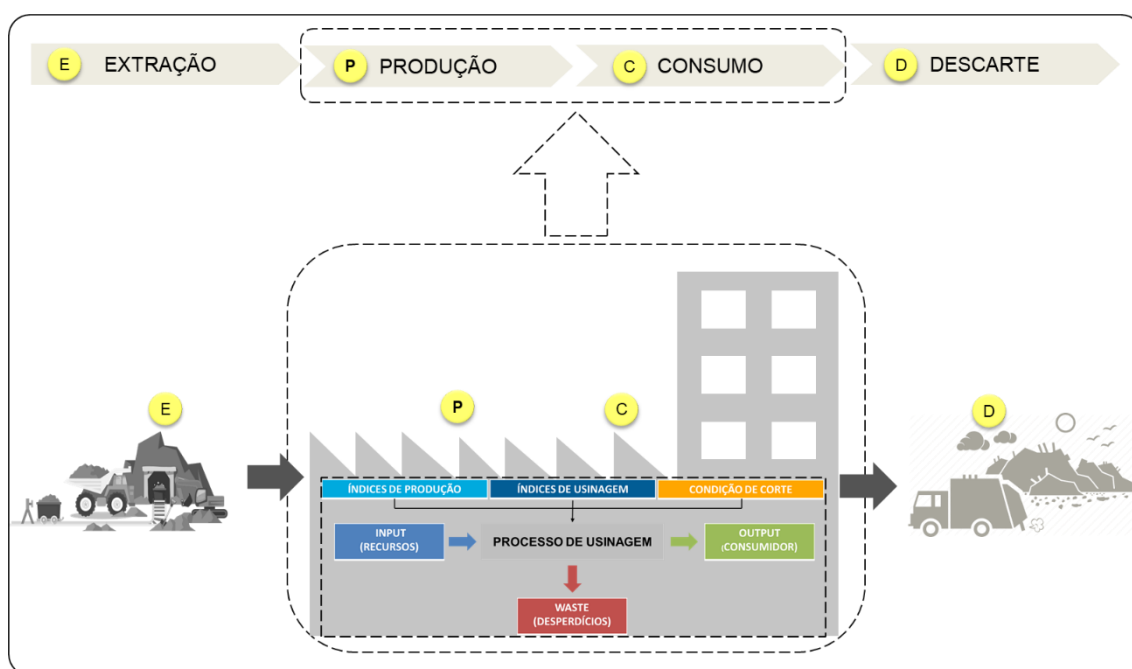
organizacional, social e ambiental de maneira holística (empresas / cidades / estados / países), atendendo aos acordos e leis internacionais.

Espera-se que as empresas alcancem os resultados de sustentabilidade (econômicos, ambientais e sociais), com a aplicação do MACI, uma vez que, entre as práticas LM e EC existem pontos comuns e sinérgicos.

A integração LM e EC visa gerar sinergia para ampliar os benefícios na prática do processo de usinagem e promover o uso racional de recursos naturais investidos, no tempo de permanência dos recursos (mantendo seu valor agregado), buscando redução de custos, redução dos impactos ambientais nos na usinagem em uma visão baseada na EC.

A Figura 9 mostra o processo de transformação (usinagem), demonstrando de maneira simplificada em quais fases o MACI irá atuar em cada Etapa de Implantação.

FIGURA 9 – APLICAÇÃO DO MACI NA FASES DE PRODUÇÃO E CONSUMO NO PROCESSO DE USINAGEM

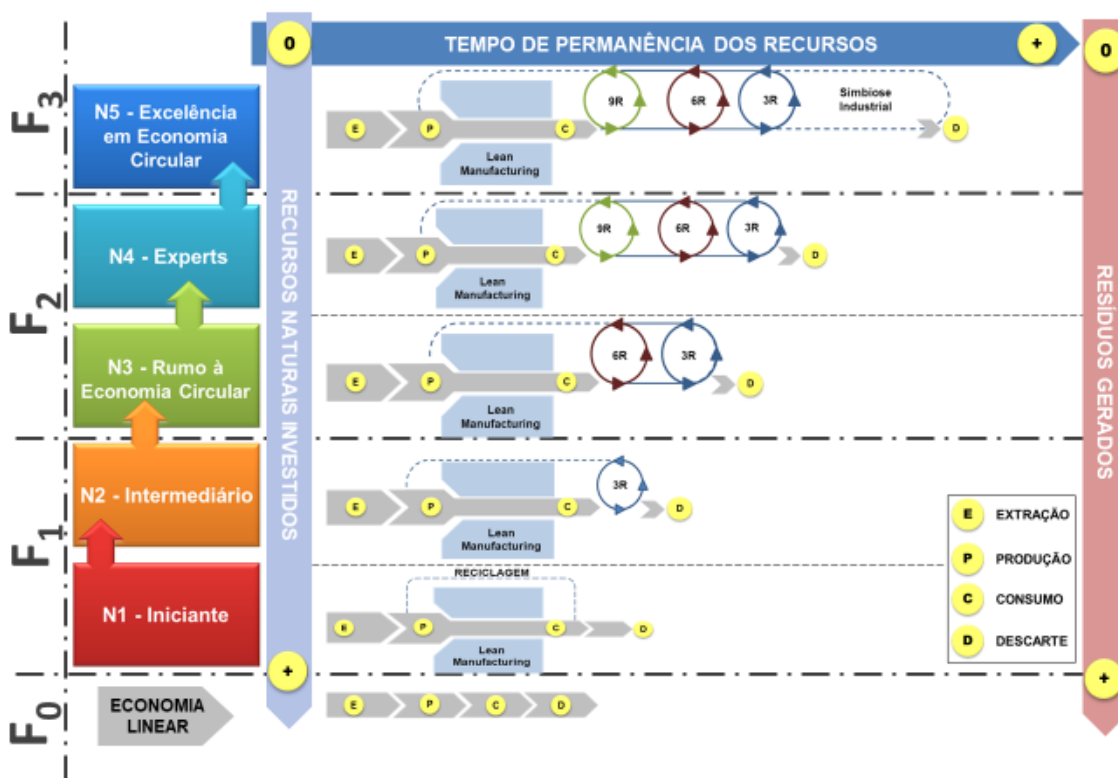


FONTE: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR.

O MACI possibilita que as empresas encontrem diferentes formas expandirem as fronteiras tradicionais de negócios convergindo de forma integrada (LM + EC), possibilitando que os processos sejam economicamente viáveis e ambientalmente corretos.

Na Figura 10, são apresentadas as cinco etapas para desenvolvimento e aplicação do MACI.

FIGURA 10 - AS 5 ETAPAS DO MODELO DE AVALIAÇÃO CONCEITUAL INTEGRADOR (MACI).



FONTE: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR.

Na Figura 10, observa-se uma visão geral do indicador macro da aplicação do MACI, quanto mais se evolui nas etapas pode se perceber uma redução da utilização dos recursos naturais investidos; uma redução dos resíduos gerados e um aumento do tempo de permanência dos recursos no processo de usinagem, sendo ordenados da seguinte maneira:

- Economia Linear (EL) é extraída a maior parte dos recursos da natureza processados, consumidos e descartado o produto;
- **N₁ - Iniciante** – os recursos (*inputs*) passam pela redução de desperdícios (LM) e como primeira ação inicia-se com o processo de reciclagem, reduzindo os materiais incinerados (recuperação de energia) e reduzindo os que são enviados para aterro sanitário;
- **N₂ - Intermediário** – é acrescentado o conceito de 3R's (Reciclar, Realocar, Remanufaturar);
- **N₃ - Rumo a EC** – inicia-se o prolongamento mais acentuado do tempo de permanência dos recursos na cadeia produtiva com a inserção de mais 3R's (Recondicionar, Reparar e Reutilizar) totalizando 6R's;
- **N₄ – Experts** - há uma queda significativa na quantidade de resíduos gerados, um aumento na análise dos materiais, redesenho dos processos e produtos com o acréscimo de mais 3R's (Reduzir, Repensar e Recusar) em um total de 9R's;
- **N₅ – Excelência em EC** - há uma redução nos recursos naturais utilizados, um aumento do tempo de permanência dos produtos com máximo de valor agregado e a chegada da Simbiose Industrial e a busca pelo “zero resíduo”.

Nos cinco níveis de implantação, os conceitos do LM são aplicados constantemente, para auxiliar na redução dos desperdícios, gerar e manter o valor agregado e auxiliar na eficiência do processo de usinagem.

O foco da tese se deu no nível micro, portanto, o MACI será detalhado para a Fase (F₁), nos níveis (N₁ – Iniciante e N₂ – Intermediário), já a fase (F₂), nível meso (N₃ e N₄) e a fase (F₃) de nível macro (N₅), serão mencionadas brevemente apenas a título de possibilidades e desdobramentos futuros.

Até o presente momento, se apresentou a estrutura geral do MACI como a proposição de um sistema de indicadores para avaliar uma linha de usinagem baseado no *lean manufacturing* e na economia circular. Conforme apresentado na Figura 11, apresenta-se uma ilustração de um processo de usinagem com suas entradas, saídas, desperdícios e os índices gerais.

FIGURA 11 – DETALHAMENTO ILUSTRATIVO DAS ENTRADAS, SAÍDAS E ÍNDICES DA USINAGEM.



FONTE: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR.

Na Figura 11, foram elencadas as frentes de observação para análise dos processos de usinagem, iniciando com os Recursos de Entrada (*INPUTS*) do processo de usinagem para que ele possa operar e que, em seguida, foi subdividido para facilitar sua categorização e análise pelo MACI.

Na parte de processo de transformação (usinagem), foram elencados os principais índices e condições de corte que são comumente utilizados nas

indústrias e podem trazer um ponto de partida para o entendimento e base para planos de ação e de melhoria, são eles:

- **Índices de Produção** têm a função de sintetizar o resultado de produção de um dado equipamento, linha ou processo dentro de um período específico, os três índices (taxa de produção, custo de fabricação e a qualidade das peças);
- **Índices de Usinagem** - São os parâmetros que são usados para todos os processos de usinagem. Conhecer a taxa de remoção, vida útil da furação e rugosidade superficial desejada é essencial para os bons resultados de qualquer operação de usinagem;
- **Condição de Corte** - para obter resultados no processo de usinagem é necessário a seleção eficiente de condições de corte e ferramentas; baseada no material usinado, dureza e formato da peça e capacidade da máquina.

A Saída (*OUTPUT*): o produto, depois de concluído, o processo de transformação, este por sua vez, já pronto para ser fornecido ao consumidor, reportando informações e dados sobre o processo de transformação.

Os desperdícios são as atividades que consomem recursos, mas não cria valor para o cliente. Eliminar o desperdício é a maior fonte potencial de melhoria do desempenho organizacional, a dessa subdivisão que será iniciada as análises do MACI, a partir da ótica da EC e do LM.

4.2. ROTEIRO DE IMPLANTAÇÃO DO MACI

O MACI visa fornecer uma estrutura e orientação para organizações de diferentes tamanhos e com vários níveis de conhecimento e compreensão do LM e da EC, de modo a incluírem práticas mais circulares e enxutas em seus processos de usinagem.

Para tanto, é preciso desenvolver uma Estratégia para Implantação do MACI, seguindo os seguintes passos:

1. Criar um comitê para avaliação e implantação;
2. Treinar os conceitos da EC e do LM, bem como a utilização do MACI para a Equipe;
3. Alinhar os indicadores com os objetivos estratégicos da organização;
4. Definir quais os indicadores de desempenho a serem aplicados;
5. Apontar os responsáveis pela implantação e avaliação do MACI;
6. Elaborar o plano de ação (estado atual) para a implantação do MACI
7. Coletar dados da Avaliação Diagnóstica (F_0);
8. Monitorar os resultados (estado futuro) e retornar ao Passo 6;

Então, a partir do Passo 6 (estado atual), a implantação do MACI está dividida em duas Etapas: (1^a) – Avaliação Diagnóstica dos processos de usinagem; (2^a) – A Implantação dos cinco níveis (N_1 a N_5) conforme previsto no Passo 8 (estado futuro) e retorno ao Passo 6 para um novo plano de ação (novo estado atual) e assim ciclicamente.

Na sequência, é detalhado o Passo 7 da coleta dos dados da Avaliação Diagnóstica (F_0).

4.2.1 – AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA – (F_0)

A Avaliação Diagnóstica permite realizar um mapeamento geral, também analisando o desempenho do processo de usinagem, dando à gestão condições para identificar os problemas atuais, encontrar oportunidades de crescimento e descobrir soluções novas para avançar na melhoria contínua da usinagem. Mais do que isso, este diagnóstico ajuda a identificar lacunas no processo e a descobrir seus pontos positivos. Assim, a gestão pode desenvolver estratégias

para ajustar, corrigir as falhas e potencializar as forças da organização, aumentando sua competitividade e resultados, conforme apresentado na Figura 12.

FIGURA 12 – DETALHAMENTO DA AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA – F₀.



FONTE: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR.

Inicia-se a Avaliação Diagnóstica com a Compreensão dos processos do Produto e quais áreas, linhas ou equipamentos de usinagem estão envolvidos, pois, cada empresa possui características únicas que as difere de todas as outras, seja pelo seu ramo de atuação, setor onde está inserida, entre diversos outros itens.

Desta maneira, estruturou-se 03 pilares para a Avaliação Diagnóstica:

- 1 – Perfil Organizacional: Neste pilar, obtém-se uma visão geral da organização, seu ramo de atividade, produtos e as expectativas e necessidades das partes interessadas;
- 2 – Avaliação Global da EC: consiste na avaliação da utilização dos conceitos da EC como uma estrutura para melhorar ou mudar a proposta

de valor do produto, a redução dos desperdícios dos recursos naturais e a maximização da sua utilização;

- 3 – Avaliação Global do LM: auxilia a elencar os critérios pelos quais a manufatura enxuta poderá ser alcançada, sempre focando a eliminação ou minimização de desperdícios, aumento do valor agregado e a melhoria contínua para se tornar uma empresa enxuta. O LM pode ser aplicado em um processo específico ou para a empresa como um todo.

A Avaliação Diagnóstica (F_0) serve para examinar a realidade e histórico do (s) processo (s) da empresa. Com a análise da avaliação pronta e um conhecimento mais aprofundado do negócio, será possível planejar os próximos passos para iniciar a etapa de implantação do MACI. Os três pilares da Avaliação Diagnóstica (F_0) são detalhados a seguir.

Pilar 1 – Perfil Organizacional – serve para resumir o modelo de negócio, visando delimitar o escopo da avaliação e ajustar o MACI às especificidades da empresa. Propicia uma visão geral da organização e inclui informações sobre a natureza das atividades, propósitos, partes interessadas e redes de relacionamento, produtos, processos, concorrência e ambiente competitivo, incluindo histórico da busca da excelência, estrutura organizacional e grau de importância de cada fundamento da gestão para a organização.

Seu objetivo principal é proporcionar a todos os avaliadores uma visão sistêmica do processo de usinagem em relação à empresa. Os dados referentes à organização serão um referencial imprescindível para a análise da consistência das práticas e dos resultados em relação à pontuação atribuída na avaliação.

Independentemente da forma adotada para condução da autoavaliação da gestão, é recomendável que a equipe interna de avaliadores elabore, em conjunto, o perfil de sua organização, antes de iniciar o processo avaliativo. Entendimento de que cada empresa possui características únicas que as difere de todas as outras, seja pelo seu ramo de atuação, setor onde está inserida,

localização geográfica, equipe (sócios e colaboradores), ou entre diversos outros itens:

- Razão Social;
- Localização;
- Ramo / Segmento de atuação da Empresa;
- Número de Funcionários;
- Certificação de Qualidade e Ambiental;
- Produtos;
- Denominação simplificada da organização;
- Forma de atuação;
- Data de instituição da organização: Informar pequeno histórico da origem da organização, mencionando apenas datas e fatos relevantes (fundação, criação, aquisições, fusões, desmembramentos, incorporações, separações, alteração de controle acionário, troca do principal executivo etc.).
- Descrição do negócio: Destacar a natureza atual das atividades da organização ou atividade-fim (missão básica). Informar o setor de atuação.

Vale destacar que a definição do Perfil da Organizacional, como atividade inicial deste instrumento, permite alinhar a visão geral sobre a organização para todas as pessoas.

A implantação e operacionalização da EC e do LM passa pela análise de níveis de implantação que recebem uma pontuação e são descritos no Quadro 11

QUADRO 11: ESCALA DE NÍVEL COM PONTUAÇÃO PARA AS MELHORES PRÁTICAS

PONTUAÇÃO	DESCRIÇÃO DO SIGNIFICADO
0	NÃO REALIZA
25	INICIAL: O componente não está completamente implementado ou existem grandes inconsistências na sua implantação;
50	EM DESENVOLVIMENTO: O componente está implementado, mas existem pequenas inconsistências na sua implantação;
75	CONSOLIDADO: O componente está implementado e com resultados efetivos;

100	EXCELENTE: O componente está efetivamente implementado e apresentou melhorias de resultados durante o último ano
------------	---

FONTE: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR.

Cada nível recebe uma pontuação de acordo com o grau de implementação do componente. Quanto maior a pontuação, mais efetiva foi a implementação do componente na indústria.

No Perfil Organizacional, a avaliação deve ser complementada com um acompanhamento das ações e resultados obtidos, fomentando a colaboração de todos os envolvidos e premiando-os segundo critérios claros e conhecidos, quando avanços e sucessos são obtidos pela organização, conforme apresentado no Quadro 12.

QUADRO 12: ASPECTOS DA AVALIAÇÃO DO PERFIL ORGANIZACIONAL.

ELEMENTOS	DESCRIÇÃO DO ITEM AVALIADO	Pontuação				
		0	25	50	75	100
MODELO DE NEGÓCIO (MN)	MN 1 – A organização apresenta mesmo que de forma resumida, a proposta de valor da organização para seus clientes?					
	MN 2 - Sumariza os principais produtos produzidos e disponibilizados aos clientes, relacionados diretamente à atividade-fim da organização?					
	MN 3 - Informa quais são os processos e fornece uma descrição sucinta da finalidade de cada um?					
	MN 4 - Apresenta as principais competências essenciais da organização para todas as partes interessadas?					
	MN 5 - É de conhecimento de todas as Partes Interessadas quais são os principais equipamentos, instalações e tecnologias, utilizados pela organização?					
Partes Interessadas e Parceiros (PI)	PI 1 - Existe uma descrição resumida, na forma de quadro, das principais partes interessadas (tradicionais e não tradicionais), contendo os principais interlocutores ou representantes, bem com suas necessidades e expectativas?					
	PI 2 - Existe uma descrição sucinta, dos principais parceiros, contendo: Denominação do parceiro, principais objetivos comuns associados e as competências compartilhadas?					
	PI 3 - Denominação dos principais tipos, caso existam, de clientes, em cada segmento de mercado, e os principais produtos colocados?					
	PI 4 - Existe uma denominação dos principais tipos de fornecedores que compõem a cadeia de suprimento imediata da organização?					
	PI 5 - É de conhecimento de todos a denominação dos principais órgãos reguladores do mercado ou setor em que a organização atua?					
	PI 6 - A organização informa, mesmo que resumidamente, os principais valores, princípios éticos, diretrizes, declarações como Missão e Visão, elementos da cultura ou quaisquer outras informações que permitam entender como se fundamenta a atuação da organização?					
	PI 7 - Estabelece, amplia ou reconfigura as parcerias ou alianças estratégicas?					
	PI 8 - Introduz novas tecnologias, incluindo as da gestão?					
	PI 9 - Apresenta as principais estratégias, respectivos indicadores de desempenho, metas de curto, médio e longo prazos, e, quando pertinentes, respectivos Requisitos das Partes Interessadas e os Referenciais Comparativos?					
	PI 10 - Apresenta o organograma com os nomes dos responsáveis pelas áreas, processos ou funções e quantidade de pessoas, informando o local de lotação, se existir mais de um endereço de instalação. Destacando quem faz parte da direção?					
	PI 11 - Destaca lista ou quadro com os nomes das principais equipes, temporárias ou permanentes, formadas por pessoas de diferentes áreas para apoiar, planejar ou realizar a gestão (comitês, comissões, grupos de trabalho, times etc.), destacando, se houver, qualquer representante de parte interessada, indicando o nome dos coordenadores.					

FONTE: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR.

O método para pontuação é constituído pelos seguintes passos:

- A. Selecionar na tabela relativa a cada Fundamento avaliado nesse momento o Perfil Organizacional e respectivo Aspecto e o item avaliado de cada processo;
- B. O nível de cada Aspecto será a média aritmética dos percentuais Itens Avaliados para essa etapa;
- C. O Nível do Fundamento será a média aritmética dos percentuais de cada Nível do Aspecto;
- D. A pontuação final do Fundamento será o percentual do nível de Aspecto multiplicado pela pontuação total atribuída ao Fundamento;

Como forma de facilitar o entendimento da determinação da pontuação, pode-se observar o exemplo no Quadro 13.

QUADRO 13: EXEMPLO DA DETERMINAÇÃO DA PONTUAÇÃO

FUNDAMENTO		PONTUAÇÃO					
PERFIL ORGANIZACIONAL		NÃO REALIZA	INICIAL	EM DESENVOLVIMENTO	CONSOLIDADO	EXCELENTE	NÍVEL DO ASPECTO (%)
ASPECTO	ITEM AVALIADO						
MODELO DE NEGÓCIO	MN 1	0	25	50	75	100	37,5%
	MN 2	0	25	50	75	100	
PARTES INTERESSADAS	PI 1	0	25	50	75	100	75%
	PI 2	0	25	50	75	100	
	PI 3	0	25	50	75	100	
NÍVEL DO FUNDAMENTO (%)		56,25%					
PONTUAÇÃO DO FUNDAMENTO		11,25 PONTOS					

FUNDAMENTO: PERFIL ORGANIZACIONAL

PONTUAÇÃO ATRIBUÍDA AO FUNDAMENTO: 20 PONTOS

FONTE: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR.

Pilar 2 – Avaliação Global da Economia Circular: baseado no Guia de implementação dos princípios da EC nas organizações - BS 8001 (2017), e nos aspectos relatados pela EMF (2015 e 2017) e KALMYKOVA, SADAGOPAN, ROSADO (2018). Grande parte das empresas está no início da sua transição para uma EC, assim, o MACI auxilia na medição dos aspectos de nível micro,

permitindo a transformação dos processos, gerando uma pontuação geral com base nos dados fornecidos por meio de um questionário. Com os resultados, busca-se alinhar a forma como se define e mede a economia circular nos processos de usinagem das empresas. Os indicadores de resultados medem não apenas a circularidade dos fluxos de materiais das empresas, mas também os resultados da concepção de produtos e serviços e o uso de energia. O resultado esperado é um melhor entendimento dos aspectos relacionados à EC e como a geração de valor, a redução dos desperdícios e o entendimento que é possível existir um crescimento organizacional e um crescimento ambiental, conforme apresentado no Quadro 14.

QUADRO 14: ASPECTOS DA AVALIAÇÃO GLOBAL DA EC.

ELEMENTOS	DESCRIÇÃO DO ITEM AVALIADO	Pontuação				
		0	25	50	75	100
DESEMPENHO ECONÔMICO (DE)	DE 1 - Existem as ações desenvolvidas pela empresa voltadas à erradicação do desperdício em todos os processos de produção, de forma que todos os materiais possam ser reaproveitados gerando inclusive, receitas não operacionais e assegurando um crescimento econômico menos dependente dos recursos naturais?					
	DE 2 - Existem ações voltadas para o desenvolvimento de produtos que sejam projetados para a remanufatura, renovação e reciclagem, de forma que componentes e materiais técnicos continuem circulando e contribuindo para a economia?					
MATERIAIS (MP)	MP 1 - A empresa está voltada para o compartilhamento de materiais, explorando a capacidade máxima de utilização de um bem de forma coletiva?					
	MP 2 - A empresa apresenta ações voltadas para a manutenção contínua de seus produtos e serviços de forma a prolongar o ciclo de vida do produto?					
	MP 3 - Existem ações da empresa que evidenciem que os materiais técnicos utilizados circulem o máximo possível?					
ENERGIA (EN)	EM 1 - Existem ações da empresa que abrangem a utilização de energia proveniente de recursos natural e constantemente reabastecidos, como sol, vento, chuva (...)					
GERAL (GE)	GE 1 - A empresa estimula ou incentiva o repensar da propriedade de um bem, de forma a promover a substituição da venda de um produto por sua locação, promovendo o uso de acordo com a necessidade?					
	GE 2 - Existem ações da empresa que estimulam o usuário a utilizar ambientes virtuais para a aquisição de produtos e serviços bem como seu recebimento em casa sem precisar se deslocar até o ambiente para retirar o produto?					
	GE 3 - Há ações da empresa que promovem e/ou estimulam o uso de tecnologias digitais que possibilitam a realização de atividades operacionais diversas, como contato com fornecedores e clientes, dentre outros?					
	GE 4 - Ações por parte da empresa que evidenciem a utilização de produtos de forma virtual, desmaterializando sempre que possível?					
SOCIAL (SD)	SD 1 - A empresa desenvolve ações educativas com a comunidade local voltadas para a proliferação da EC?					

FONTE: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR.

O Quadro 14 apresenta aspectos gerais da EC para a construção dos quesitos a serem avaliados em que, após a análise, serão norteados das atividades de Implantação no MACI no aspecto da EC.

O método para pontuação é constituído pelos seguintes passos:

- A. Selecionar na tabela relativa a cada Fundamento avaliado, nesse momento a Avaliação Global da Economia Circular e respectivo Aspecto e o item avaliado de cada processo;
- B. O nível de cada Aspecto será a média aritmética dos percentuais dos Itens Avaliados para essa etapa;
- C. O Nível do Fundamento será a média aritmética dos percentuais de cada Nível do Aspecto;
- D. A pontuação final do Fundamento será o percentual do nível de Aspecto multiplicado pela pontuação total atribuída ao Fundamento;

Como facilitador do entendimento, da Avaliação Global da EC e seus respectivos aspectos e a determinação da pontuação, é feito um exemplo no Quadro 15.

QUADRO 15: EXEMPLO DA DETERMINAÇÃO DA PONTUAÇÃO DA AVALIAÇÃO GLOBAL DA EC

FUNDAMENTO		PONTUAÇÃO					
ECONOMIA CIRCULAR		NÃO REALIZA	INICIAL	EM DESENVOLVIMENTO	CONSOLIDADO	EXCELENTE	NÍVEL DO ASPECTO (%)
ASPECTO	ITEM AVALIADO						
DESEMPENHO ECONOMICO	DE 1	0	25	50	75	100	37,5%
	DE 2	0	25	50	75	100	
MATERIAIS	MP 1	0	25	50	75	100	75%
	MP 2	0	25	50	75	100	
	MP 3	0	25	50	75	100	
NÍVEL DO FUNDAMENTO (%)		56,25%					
PONTUAÇÃO DO FUNDAMENTO		22,5 PONTOS					

FUNDAMENTO: ECONOMICA CIRCULAR

PONTUAÇÃO ATRIBUÍDA AO FUNDAMENTO: 40 PONTOS

FONTE: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR.

Pilar 3 – Avaliação global do Lean Manufacturing: Com base nas normas SAE J4000 e J4001 que auxiliam a elencar os critérios pelos quais a manufatura enxuta poderá ser alcançada, sempre enfocando a eliminação ou minimização de desperdícios, aumento do valor agregado e a melhoria contínua para se tornar

uma empresa enxuta. O LM pode ser aplicado em um processo específico ou para a empresa como um todo.

A avaliação desse pilar é composta de 52 requisitos divididos em 6 elementos que avaliam o grau de implantação dos princípios de operações enxutas em uma empresa. Cada elemento da norma tem como objetivo avaliar um aspecto da organização, são eles (Quadro 16):

1. Elemento: Ética e Organização (EO);
2. Elemento: Pessoas (RH);
3. Elemento: Sistemas de Informação (SI);
4. Elemento: Organização da Cadeia de Clientes e Fornecedor (CF);
5. Elemento: Produto e Gestão do Produto (GP);
6. Elemento: Fluxo e Processo (FP).

No fluxo de processos e no produto, encontra-se a maior parte das ferramentas que, atualmente, se aplicam à área da engenharia e que buscam orientar o fluxo de produção em sincronia com as necessidades dos clientes.

QUADRO 16: ASPECTOS DA AVALIAÇÃO GLOBAL DO LM.

ELEMENTO – Ética e Organização (EO)					
DESCRIÇÃO DO ITEM AVALIADO	PONTUAÇÃO				
	0	25	50	75	100
EO.1 - A ferramenta básica utilizada pela empresa para atingir seus objetivos estratégicos é a melhoria contínua através da implementação dos métodos e operações enxutas.					
EO.2 - Formas estruturadas de desdobramento da política da empresa são usadas para planejar as ações de desenvolvimento do padrão de organização enxuta.					
EO.3 - As metas do programa Lean estão claramente definidas e são efetivamente comunicadas.					
EO.4 - O conhecimento da filosofia e dos mecanismos das operações enxutas é dominados e efetivamente transmitidos na empresa.					
EO.5 - A alta administração lidera ativamente o desdobramento das ações para as práticas enxutas.					
EO.6 - A alta gerência analisa regularmente os resultados do progresso do programa Lean e compara com as metas estabelecidas no planejamento.					
EO.7 - Existe um programa de incentivos para recompensar os progressos verificados com a utilização do programa Lean.					
EO.8 - O desempenho individual dos gerentes é avaliado de acordo com os progressos obtidos nos programa Lean					
EO.9 - Existe um clima organizacional não punitivo, orientado por resultados e focado nos processos.					
EO.10 - Existe envolvimento pessoal direto e constante da alta gerência com o nível operacional, relativo à aplicação do programa Lean.					
EO.11 - Existe uma política efetiva para disponibilizar pessoal necessário, de modo a suportar as necessidades do programa e permitir sua evolução.					
EO.12 - Nenhum empregado sente-se ameaçado ou coagido a participar dos programas Lean na organização.					
EO.13 - A gerência compromete-se com os princípios Lean e não priorizar atitudes de curto prazo inconsistentes com o programa.					

ELEMENTO – Pessoas (RH)					
DESCRIÇÃO DO ITEM AVALIADO	PONTUAÇÃO				
	0	25	50	75	100
RH.1 - Existem recursos adequados para treinamento e o tempo para treinamento operacional dos operadores é remunerado.					
RH.2 - O treinamento inclui conhecimento das ferramentas específicas dos programa Lean e medidas de eficiência compatíveis com as necessidades da organização, para todos os seus níveis.					
RH.3 - O treinamento é conduzido conforme programado, registros e relatórios são mantidos e a avaliação de seus resultados é constantemente realizada.					
RH.4 - A organização está estruturada para corresponder às necessidades de treinamento para entender e identificar a seqüência da cadeia de valor através da empresa.					
RH.5 - Cada funcionário participa das atividades de trabalho, conforme definido na descrição de seu cargo.					
RH.6 - O trabalho e a política de pessoal (RH) estão em consonância com as necessidades do programa Lean.					
RH.7 - O nível de responsabilidade e autoridade de cada equipe de trabalho é claramente definido.					
RH.8 - O desenvolvimento e a participação dos empregados através de equipes de CCQ e programas de melhoria contínua são incentivados e suportados, para todos os níveis da organização.					
RH.9 - As equipes são responsáveis pelos programas e pelo esforço de melhoria contínua, para cada segmento específico da cadeia de valores.					
RH.10 - A tomada de decisões e as ações são de responsabilidade da equipe do nível correspondente.					
RH.11 - A gerência não se sobrepõe às decisões e ações das equipes, quando tomadas dentro do seu nível de responsabilidade.					
RH.12 - As decisões tomadas pelas equipes são apoiadas com os recursos necessários para sua correta implantação.					

ELEMENTO – Sistemas de Informação (SI)					
DESCRIÇÃO DO ITEM AVALIADO	PONTUAÇÃO				
	0	25	50	75	100
SI.1 – As informações e dados operacionais de nível confiável e acurado, estão disponíveis para os membros da organização, conforme necessário.					
SI.2 – O conhecimento é compartilhado por toda a organização.					
SI.3 – A coleta de dados e sua utilização são de responsabilidade dos indivíduos mais identificados com o processo ou a parte do processo na qual estes dados são gerados.					
SI.4 – O sistema financeiro de operações é estruturado de forma a evidenciar os resultados e progressos do programa Lean.					

ELEMENTO – Relação Clientes / Fornecedores e Organização (CF)					
DESCRIÇÃO DO ITEM AVALIADO	PONTUAÇÃO				
	0	25	50	75	100
CF.1 – Clientes e fornecedores participam dos processos de desenvolvimento de produtos, processos e projetos desde suas fases iniciais.					
CF.2 – Clientes e fornecedores estão adequadamente representados nas equipes de produtos, processos e projetos da organização.					
CF.3 – Clientes e fornecedores participam regularmente das revisões e avaliações dos processos, produtos e projetos da organização.					
CF.4 – Existem benefícios mútuos para que clientes e fornecedores trabalhem em grupo, na busca por melhorias de desempenho e redução de custos.					

ELEMENTO – Produto e Gestão do Produto (GP)					
DESCRIÇÃO DO ITEM AVALIADO	PONTUAÇÃO				
	0	25	50	75	100
GP.1 – O projeto do produto e o planejamento dos processos são atividades das equipes de trabalho, que devem ter representantes de todas as áreas envolvidas.					
GP.2 – Especificações de atributos, custo e desempenho dos produtos e processos são exatos, possíveis de serem medidos e definidos de comum acordo com todas as áreas envolvidas.					
GP.3 – O projeto de produtos e o planejamento dos processos são realizados de acordo com a abordagem do ciclo de vida, em completa consonância com os conceitos de DFM/DFA, e consistentes com os princípios Lean.					
GP.4 – Os parâmetros para o projeto do produto e para a capacidade do processo são robustos e consistentes com as melhores práticas de projeto e manufatura.					
GP.5 – Durante o ciclo de vida do produto/processo há recursos para documentação e registro do conhecimento acumulado pela experiência da equipe de trabalho.					
GP.6 – O lead time dos processos e do projeto dos produtos é constantemente medido e busca-se continuamente sua diminuição.					

ELEMENTO – Processos e Fluxo de Processo (FP)					
DESCRIÇÃO DO ITEM AVALIADO	PONTUAÇÃO				
	0	25	50	75	100
FP.1 – O local de trabalho é limpo, bem-organizado e regularmente auditado, em relação ao padrão definido pela prática do 5S.					
FP.2 – Existe um sistema de planejamento de atividades de manutenção preventiva, com as atividades ocorrendo de maneira adequada, quanto à sua periodicidade, para todos os equipamentos.					
FP.3 – Listas de materiais e operações padronizadas estão adequadamente atualizadas, são utilizadas e sua organização obedece aos preceitos da engenharia de valor.					
FP.4 – O fluxo de valor é completamente mapeado e os produtos são fisicamente confinados de acordo com o fluxo de processo.					
FP.5 – O sequenciamento da produção baseia-se em um sistema puxado definido pelos clientes, e a demanda é estabelecida regularmente, para o planejamento das operações.					
FP.6 – O fluxo do processo é controlado de forma visual, internamente ao processo.					
FP.7 – O processo está sob controle estatístico, os requisitos de capacidade estão identificados e a variabilidade dos parâmetros de processo é continuamente reduzida.					
FP.8 – Ações preventivas, utilizando-se métodos estruturados para solução de problemas, são utilizadas e registradas, sempre que são identificadas não conformidades de produto ou processo.					
FP.9 – O fluxo produtivo tem início quando do recebimento da ordem de produção. O fluxo produtivo obedece ao tak time, em quantidades unitárias e de acordo com as necessidades dos clientes.					
FP.10 – Existem programas estruturados, e em aplicação constante, para reduzir continuamente os tempos de set-up e os tamanhos de lotes.					
FP.11 – O layout da fábrica apresenta fluxo síncrono e contínuo da produção, as distâncias e movimentações de materiais são continuamente reduzidas, e o fluxo de componentes melhorado.					
FP.12 – Métodos estruturados de estudos de tempos e métodos padronizados são utilizados, procurando distribuir e balancear adequadamente a carga de trabalho, de acordo com o previsto no takt time.					
FP.13 – O fluxo de valor está sob constante avaliação, através de aplicação regular de programas de melhoria contínua.					

FONTE: ADAPTADO DE SAE J4000.

Após a obtenção das notas de cada um dos três pilares, estas devem ser analisadas para dar início ao desenvolvimento da estratégia para implantação das etapas do MACI.

A pontuação é constituída pelos seguintes passos:

- A. Selecionar na tabela relativa a cada Fundamento avaliado, nesse momento a Avaliação Global do Lean Manufacturing e respectivo Aspecto e o item avaliado de cada processo;
- B. O nível de cada Aspecto será a média aritmética dos percentuais Itens Avaliados para essa etapa;
- C. O Nível do Fundamento será a média aritmética dos percentuais de cada Nível do Aspecto;
- D. A pontuação final do Fundamento será o percentual do nível de Aspecto multiplicado pela pontuação total atribuída ao Fundamento;

A Avaliação Diagnóstica (F₀) irá coletar informações essenciais que possibilitam a resolução dos eventuais problemas detectados de maneira prática, tendo como objetivo identificar as percepções e as opiniões dos respondentes sobre a

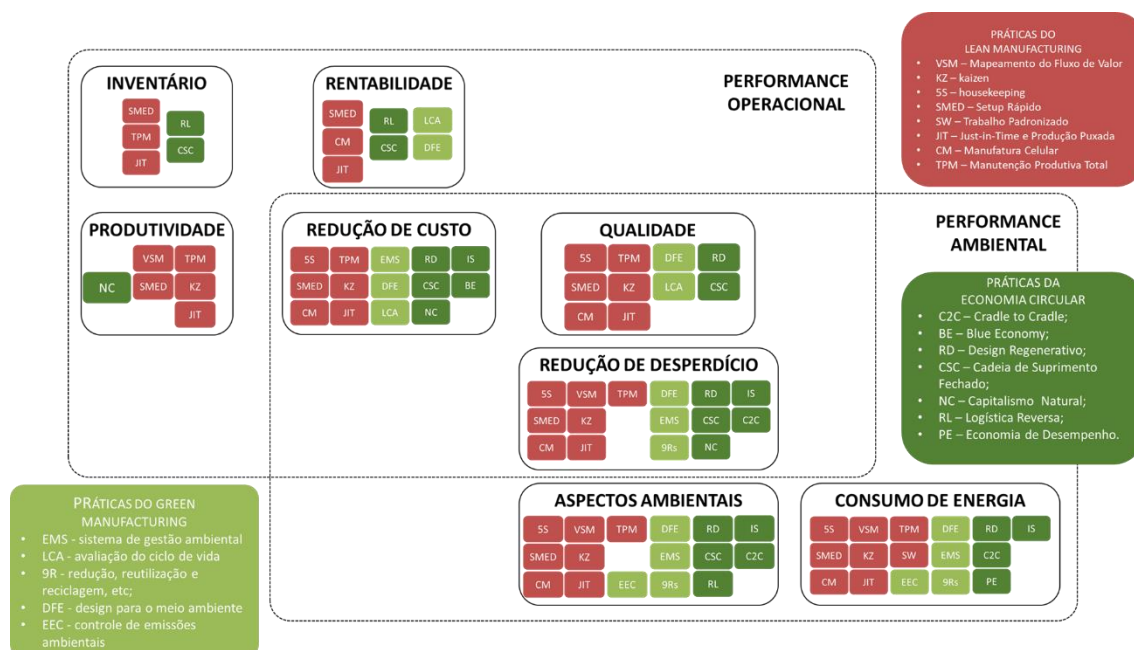
empresa com o foco nos princípios do LM e EC, bem como a necessidade de melhoria e adaptação dos processos de usinagem da empresa.

Os principais benefícios do questionário de avaliação diagnóstica são:

- Identificar as linhas, ou os processos, mais importantes para o negócio: apesar de toda a empresa contribuir para seus resultados, algumas áreas são mais estratégicas, dependendo do segmento de atuação. Os dados coletados auxiliam na criação de planos de ação e estratégias específicas para o atendimento das práticas enxutas e circulares;
- Mensurar o desempenho: as respostas fornecerão elementos para analisar se a trajetória da empresa está seguindo os rumos definidos no planejamento estratégico. Também será possível mensurar o grau de eficiência que isto está sendo feito e se está ocorrendo algum desvio.
- Descobrir o nível de maturidade da organização: as respostas dos questionários mostram se a empresa ainda está em um nível iniciante, tentando encontrar seu caminho, estabelecendo processos, ou se já está madura em relação ao seu planejamento, execução, controle e gestão. Esse entendimento pode ajudar muito no estabelecimento de estratégias e propósito do negócio;

A combinação dos trabalhos de seleção dos critérios e o seu agrupamento em pacotes: produtividade, inventário, lucratividade, redução de custos, qualidade, redução de desperdícios, impactos ambientais e consumo de energia proposta por Farias *et al.* (2019) e Paes *et al.* (2019), auxiliam na tomada de decisão após a Avaliação Diagnóstica (F₀), direcionando os esforços, bem como saber, exatamente, onde estão os gargalos e o que precisa ser feito, conforme apresentado na Figura 13.

FIGURA 13 – FERRAMENTAS PARA O DIRECIONAMENTO DA PERFORMANCE OPERACIONAL E AMBIENTAL APÓS A AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA – F₀.



FONTE: ADAPTADO DE FARIAS ET AL. (2019) E PAES ET AL. (2019)

A estrutura proposta combina os princípios, características e ferramentas LM e EC, juntamente com as práticas *Green*, desenvolvendo uma estrutura abrangente para o direcionamento de operações de usinagem de maneira sistemática. A sinergia entre as práticas LM e da EC podem levar os processos de usinagem a atuarem de forma mais sustentável, melhorando o desempenho organizacional, conforme demonstrado no Quadro 17.

QUADRO 17: VISÃO GERAL DAS PRÁTICAS EC, LM E GM PARA O DIRECIONAMENTO DA PERFORMANCE PRODUTIVAS.

PRÁTICAS	PRODUTIVIDADE	QUALIDADE	REDUÇÃO DE CUSTO	REDUÇÃO DE DESPERDÍCIO	CONSUMO DE ENERGIA	ASPECTOS AMBIENTAIS	INVENTÁRIO	RENTABILIDADE
ECONOMIA CIRCULAR	C2C			✓	✓	✓		
	BE		✓					
	RD		✓	✓	✓	✓		
	CSC		✓	✓	✓		✓	✓
	IS			✓	✓	✓		
	NC	✓		✓	✓			
	RL						✓	✓
	PE	✓	✓	✓			✓	
LEAN MANUFACTURING	VSM	✓			✓	✓		
	KZ	✓	✓	✓	✓	✓		
	5S		✓	✓	✓	✓		
	SMED	✓	✓	✓	✓		✓	✓
	SW	✓	✓		✓	✓		
	JIT	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	CM	✓	✓			✓	✓	✓
	TPM	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
GREEN MANUFACTURING	EMS			✓	✓	✓		
	LCA		✓	✓				✓
	9R				✓	✓	✓	
	DFE		✓	✓	✓	✓		✓
	EEC					✓	✓	

FONTE: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR.

NOTA: AS SIGLAS CORRESPONDEM ÀS SIMBOLOGIAS APRESENTADAS NA FIGURA 13.

No Quadro 17, as várias ações práticas relacionadas à EC, ao LM e a GM auxiliam as indústrias na promoção do aumento da performance produtiva e ajudam a alavancar os resultados.

Como a EC, LM e GM compartilham pontos em comum, a estrutura de avaliação pressupõe que os sistemas devem ser tratados como um único sistema

integrado, auxiliando como práticas a serem adotadas para a etapa de implantação dos cinco níveis do MACI.

4.2.2 – F₁ – IMPLANTAÇÃO DOS CINCO NÍVEIS DO MACI

Um processo de usinagem em uma organização que está em busca da excelência em EC pode adotar o MACI para alcançar seu objetivo. Ao implementar o MACI, a organização é instigada a aperfeiçoar seu sistema de gestão e buscar resultados melhores.

Para Implantar o MACI, devem-se adotar os seguintes passos:

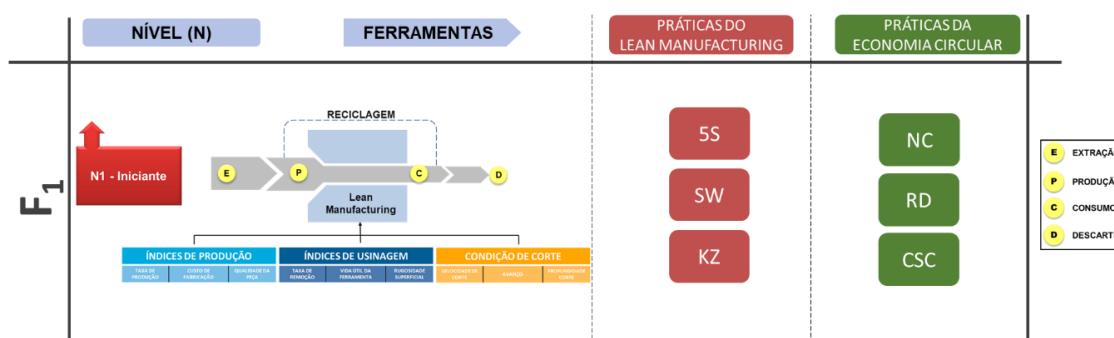
1. Definir um time para acompanhar a implantação, avaliação e ajustes do MACI;
2. Entendimento do MACI, juntamente com os fundamentos da EC, do LM e da usinagem;
3. Sistema de Pontuação para das Etapas;
4. Analisar as práticas do MACI para atender os processos requeridos e os indicadores de resultados;
5. Registrar os pontos fortes, bem como as oportunidades de melhoria do processo;
6. Registrar a pontuação;
7. Elaborar o plano de melhorias a partir das prioridades para a mudança de etapas no MACI.

A avaliação dos passos 4, 5 e 6 permitem identificar os pontos fortes e as oportunidades de melhoria. Essas oportunidades de melhoria identificadas podem ser consideradas como aspectos gerenciais menos desenvolvidos em relação ao MACI, e que, portanto, devem ser objeto das ações de aperfeiçoamento (Passo 7).

Os Níveis de Implantação do MACI seguem os seguintes critérios:

N₁ – INICIANTE - Os critérios dos primeiros passos aplicáveis às organizações que iniciam um programa de conscientização e melhoria contínua com foco no LM e na EC, elaborando o treinamento da equipe, adequando os processos e melhorando a eficiência dos processos, de acordo com a Figura 14.

FIGURA 14 – N₁: INICIANTE



FONTE: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR.

NOTA: AS SIGLAS CORRESPONDEM AS SIMBOLOGIAS APRESENTADAS NA FIGURA 13.

No nível N₁, o objetivo é aplicar o conceito de eficiência dos processos baseado na eliminação dos desperdícios e o aumento da eficiência do processo de usinagem.

Iniciando com os resultados da Avaliação Diagnóstica (F₀), tem-se uma visão do estado atual do processo de usinagem. A partir dessa visão do estado atual, iniciam-se os trabalhos identificando os 7 desperdícios e, em seguida, analisando o que agrega valor ao produto (AV) e o que não agrega valor (NAV) dando início à sua eliminação a partir de plano de ação levando em consideração as métricas, técnicas e as ferramentas do LM.

No processo de usinagem, são analisados os índices (produção, usinagem e as condições de corte) e elaborando as melhorias em cada um dos seus pontos de operação.

Em seguida, dá-se início a implantação das práticas:

✓ PRÁTICAS DO LM

- **5S** – Aplicar os 2 primeiros “S” – (1) Utilização (*Seiri*): Separar o necessário do desnecessário, eliminando do espaço de trabalho o que seja inútil; (2) - Organização (*Seiton*); colocar cada coisa em seu devido lugar e organizar o espaço de trabalho de forma eficaz;
- **KZ** – Criar grupos de Kaizen para implantar a melhoria contínua;
- **SW** – O trabalho padronizado como chave para a estabilidade das melhorias e para o desenvolvimento organizacional. Torna os processos mais consistentes e robustos; organiza e sistematiza o conhecimento.

✓ PRÁTICAS DA EC

- **RD** – O Design Regenerativo tem como objetivo um planejamento sistêmico afim de investigar e reequilibrar a utilização dos recursos naturais e dos processos produtivos. Dessa maneira, regeneram-se as próprias fontes de energia e matéria-prima;
- **CSC** – A cadeia de suprimentos fechado tem como objetivo contemplar os produtos utilizados pelos consumidores internos, com a logística reversa, que objetiva o retorno dos produtos usados ao ciclo produtivo da empresa, para a obtenção máxima do valor;
- **NC** – As características que o Capitalismo Natural traz para essa fase do processo são: (I) aumentar a produtividade dos recursos naturais; (II) utilizar modelos de produção inspirados na natureza e na biologia; (III) incorporar um modelo de negócios baseado no fluxo de serviços; (IV) reinvestir em capital natural

A sistematização da reciclagem visando transformar materiais usados em novos produtos com vista a sua reutilização. Por este processo, materiais que seriam destinados ao lixo permanente podem ser reaproveitados. Em paralelo com essa

atividade, tem-se o início da conscientização, treinamento e aperfeiçoamento da equipe sobre os conceitos de EC e o início da aplicação das técnicas de reciclagem na usinagem em uma linha (célula ou equipamento) piloto. Cada etapa (N_1, N_2, N_3, N_4, N_5) para a implantação tem uma pontuação máxima de 100 pontos seguindo os mesmos critérios da Avaliação Diagnóstica (F_0), totalizando 500 pontos. O levantamento dos dados atuais para efeito de comparação como os dados após a implantação dos indicadores, conforme Quadro 18.

QUADRO 18: N_1 – INICIANTE: QUADRO DE INDICADORES

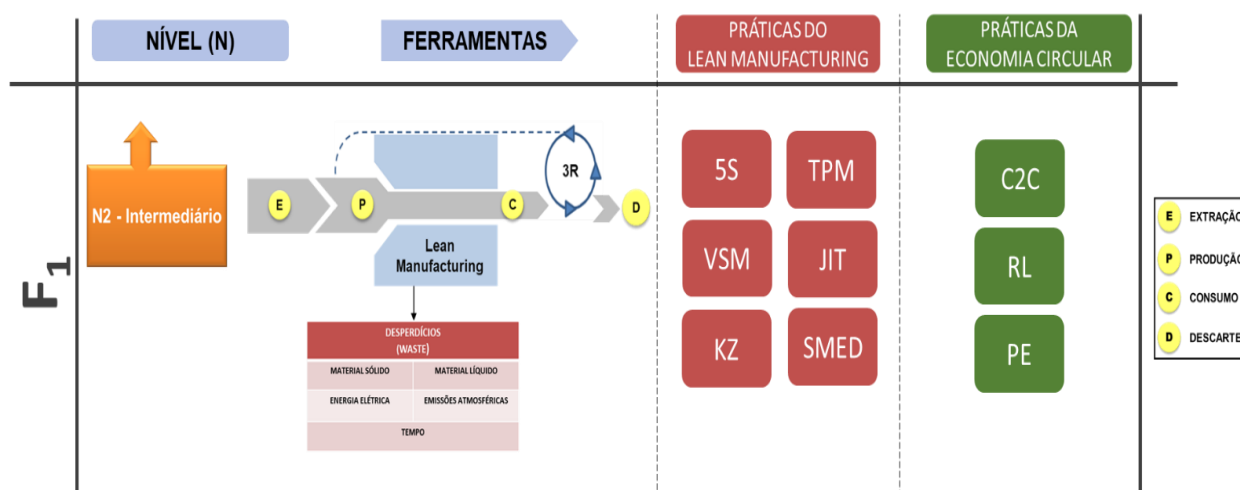
ELEMENTOS	DESCRIÇÃO DO ITEM AVALIADO	PONTUAÇÃO				
		0	25	50	75	100
ÍNDICE DE PRODUÇÃO (IP)	IP.1 – Existe um controle das taxas de Produção?					
	IP.2 – O custo de fabricação é controlado periodicamente?					
	IP.3 – Existe um controle periódico da qualidade das peças?					
	IP.4 – Existe controle estatístico de processos?					
	IP.5 – O aceite da matéria-prima se dá somente após a inspeção?					
ÍNDICE DE USINAGEM (IU)	IU.1 – Existe uma taxa de controle de remoção de material?					
	IU.2 – Existe um controle do volume de material removido por aresta de Corte?					
	IU.3 – Existe um controle da Vida Útil da ferramenta de corte?					
	IU.4 – Existe um controle da rugosidade superficial?					
	IU.5 – Existe um controle da integridade superficial?					
CONDIÇÃO DE CORTE (CC)	CC.1 - Existe um controle das Velocidades de Corte?					
	CC.2 – O avanço da ferramenta é controlado?					
	CC.3 – A profundidade de corte é controlada?					
	CC.4 – A estratégia de corte é controlada?					
	CC.5 – Os parâmetros de corte são analisados? Isso reflete na formação do cavaco?					
PROCESSO DE USINAGEM (PU)	PU.1 – Existe um controle dos tempos desperdiçados no processo de Usinagem?					
	PU.2 – A organização tem um controle dos tempos com problemas não planejados no processo de usinagem?					
	PU.3 – A organização controla os tempos de usinagem?					
	PU.4 – A organização faz o controle dos tempos de setup?					
	PU.5 – Existe um controle do tempo de manuseio das ferramentas e dispositivos?					
	PU.6 – Existe um controle do tempo de manipulação das peças produzidas?					
	PU.7 – O tempo de verificação da qualidade é verificado?					
	PU.8 – O tempo de espera é controlado?					
	PU.9 – Os tempos administrativos e os demais tempos são controlados?					
	PU.10 – Existe um controle do que agrega valor ao produto (AV) e o que não agrega valor (NAV) no processo de usinagem?					
RECICLAGEM (RE)	RE.1 - A empresa utiliza alguma técnica de minimização de resíduos?					
	RE.2 - A empresa utiliza alguma técnica mudança de produto (substituição de produto; conservação do produto; mudança na composição do produto)?					
	RE.3 - A empresa utiliza alguma técnica de reciclagem (no local e fora do local)?					
	RE.4 - A empresa utiliza alguma técnica recuperação de recursos?					
	RE.5 - A empresa utiliza alguma técnica de boas práticas operacionais (prevenção de perdas; segregação do fluxo dos resíduos; melhoria de manuseio de materiais etc.)?					
INDICADORES DE ELIMINAÇÃO DE	EF1. - Percentagem de peças comuns em produtos da empresa					
	EF2. - Valor do estoque de produto no processo em relação às vendas					

ATIVIDADES DE VALOR ZERO (EF)	EF3. - Rotação de inventário					
	EF4. - Número de vezes e distância que peças são transportadas					
	EF5. - Quantidade de tempo necessária para trocas de ferramentas					

FONTE: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR.

N₂ – INTERMEDIÁRIO – Neste segundo nível, a organização observa a evolução do seu sistema de gestão e começa a medir e perceber melhorias nos seus resultados. A eficácia do sistema aumenta as métricas do MACI, indicando novas estratégias para a criação do estado futuro do processo de usinagem (Figura 15).

FIGURA 15 – N₂: INTERMEDIÁRIO



FONTE: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR.

NOTA: AS SIGLAS CORRESPONDEM AS SIMBOLOGIAS APRESENTADAS NA FIGURA 13.

Como apoio a esse nível (N₂) do processo, podem-se utilizar as ferramentas do LM:

✓ PRÁTICAS DO LM

- **5S** – Aplicar os outros dois “S” – (3) Limpeza (*Seisō*): Limpar e cuidar do ambiente de trabalho melhorando o nível de limpeza; (4) Padronização (*Seiketsu*): Criar normas, padrões e regras a serem seguidas;

- **KZ** – Sistematizar projetos a serem implementados pelo grupo Kaizen de acordo com as ações estratégicas da empresa;
- **VSM** – O *Value Stream Mapping* ou Mapeamento do Fluxo de Valor ajudando a identificar os elementos mais críticos e seu devido impacto no resultado final, proporcionando toda a informação necessária para gerenciar cada processo e/ou setor da empresa;
- **TPM** – A manutenção produtiva total, também conhecida como *total productive maintenance* (TPM), tem como objetivo de otimizar a eficiência dos processos aumentando a disponibilidade do equipamento. Iniciando a implantação do TPM com os seguintes pilares: (1) Capacitação e treinamento; (2) Segurança e saúde do trabalho (SST); (3) Coleta de informação para melhoria; (4) Manutenção preventiva;
- **JIT** – buscar a precisão da cadeia de produção, encaixando as operações e as execuções de acordo com o nível de demanda. Ou seja, tudo ocorre no seu devido tempo, nem antes, nem depois;
- **SMED** – tem como objetivo estimular maior flexibilidade por meio das trocas rápidas de ferramentas possuindo 6 fases de aplicação. Neste nível vamos implantar as seguintes fases: (1ª) Fase do SMED: Conheça a operação de setup atual; (2ª) Fase do SMED: Examine a operação de setup atual.

✓ PRÁTICAS DA EC

- **PE** – A economia de desempenho objetiva investigar e reequilibrar a utilização dos recursos naturais e dos processos produtivos. Focalizando esforços no consumo de energia, matéria-prima e focada na concepção de serviços digitais mais eficientes,

decorrentes da combinação de matérias-primas avançadas, produtos, sistemas e soluções "inteligentes";

- **C2C** – *cradle to cradle* tem como critérios a avaliação ciclo produtivo da empresa, para a obtenção máxima do valor seguindo os seguintes tópicos: (a) Saúde dos Materiais; (b) Reutilização de Materiais; (c) Energia renovável e gestão de carbono; (d) Gestão da Água; (e) Justiça social;
- **RL** – O tempo do ciclo de logística reversa é um indicador que mede o tempo decorrido entre a identificação do material que deve retornar para o armazém e o seu encaminhamento — seja para estocagem, troca, conserto ou descarte;

Consolidando o processo de eliminação dos desperdícios, aumento do valor agregado e melhoria contínua, inclui-se no processo o conceito do 3R's (Reciclar, Recuperar, Remanufaturar), iniciando-se, assim, o ciclo de extensão de vida dos recursos, conforme Quadro 19.

QUADRO 19: N₂ – INTERMEDIÁRIO: QUADRO DE INDICADORES

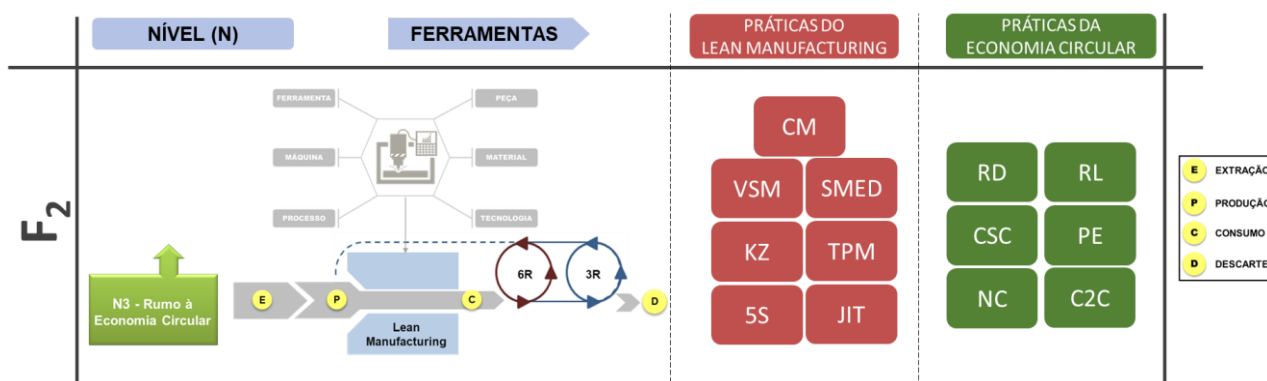
ELEMENTOS	DESCRIÇÃO DO ITEM AVALIADO	PONTUAÇÃO				
		0	25	50	75	100
MANUFATURA (MAN)	MAN.1 – A organização busca a eficiência energética. Fornece os serviços necessários com entrada de energia reduzida, o que pode ser conseguido por meio da redução do consumo e eficiência energética processos e fontes de energia renovável e alternativa?					
	MAN.2 – A organização busca uma Produção reproduzível e adaptável, ou seja, uma tecnologia de produção transparente e escalável que pode ser emulada em outros lugares usando recursos e habilidades disponíveis no país?					
	MAN.3 – A organização busca Atualização, manutenção e reparo dos seus equipamentos para garantir a máxima eficiência?					
	MAN.4 – A organização busca recuperação de energia; A conversão de materiais residuais em calor, eletricidade ou combustível utilizável através de uma variedade de processos de desperdício de energia, incluindo combustão, gaseificação, pirólise, digestão anaeróbica e recuperação de gás de aterro?					
	MAN.5 – A organização faz o tratamento, reuso, coleta da água da chuva?					
	MAN.6 – É aplicado o indicador de consumo de energia por unidade de valor de produção?					
	MAN.7 – É aplicado o indicador de Consumo de água utilizada por unidade de valor de produção?					
	MAN.8 – Utiliza-se de um Sistema de gestão ambiental?					
	MAN.9 – Emissão de CO, CO ₂ , SO ₂ por unidade de valor agregado industrial					
	MAN.10 – Taxa de descarte de resíduos sólidos perigosos					
	MAN.11 – taxa de aproveitamento de resíduos sólidos industriais					
RRR.1 - A empresa tem um processo de recuperação de metais, não metais e outras substâncias reutilizáveis de um fluxo de resíduos de material?						

<p>RECICLAR, RECUPERAR E REMANUFATURAR (RRR)</p>	<p>RRR.2 – A empresa tem um processo de Downcycling: Processo de conversão de produtos usados em diferentes produtos novos de qualidade inferior ou funcionalidade reduzida? RRR.3 – A empresa tem uma política para trabalhar com materiais em cascata e componentes usados em diferentes fluxos de valores após o fim da vida útil. A extração embutida, trabalho e capital são conservados através da cascata? RRR.4 – Os processos de fabricação e suas cadeias de valor correspondentes usam subprodutos como matéria-prima para fabricação de novos produtos? RRR.5 – A empresa tem uma política para trabalhar com a recuperação de metais, não metais e outras substâncias reutilizáveis de um fluxo de resíduos de material?</p>	
<p>MELHORIA CONTÍNUA (MC)</p>	<p>MC1. - Número de sugestões de empregados por ano MC2. - Percentual de sugestões implementadas MC3. - Percentual de inspeção realizada por auto-controle MC4. - Percentual de peças defeituosas ajustadas pelo operador da linha de produção MC5. - Percentual de tempo parado das máquinas devido a mal funcionamento MC6. - Valor das rejeições e retrabalho em relação às vendas MC7. - Número de pessoas dedicadas primariamente a controle da qualidade</p>	

FONTE: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR.

N₃ – RUMO À ECONOMIA CIRCULAR – momento em que as organizações estão com o seu sistema de gestão crescendo e demonstrando competitividade, efetividade e atendimento às expectativas da EC em vários resultados (Figura 16).

FIGURA 16 – N₄: RUMO A ECONOMIA CIRCULAR



FONTE: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR.

NOTA: AS SIGLAS CORRESPONDEM AS SIMBOLOGIAS APRESENTADAS NA FIGURA 13.

✓ **PRÁTICAS DO LM**

- **5S** – Aplicar último “S” – *Shitsuke* (autodisciplina, educação e comprometimento);
- **KZ** – Idem N₂;
- **VSM** – idem N₂;

- **TPM** – Seguindo a implantação do TPM com os seguintes pilares: (5) A manutenção planejada: (6) Manutenção da qualidade: (7) Manutenção autônoma:
- **JIT** – Idem N₂;
- **SMED** – Neste nível vamos implantar as seguintes fases: (3^a) Fase do SMED: Otimize a operação de setup interno e externo; (4^a) Fase do SMED: Ensaie e examine a nova operação de setup.

✓ PRÁTICAS DA EC

- **PE; C2C; RL; NC; RD CSC** – ficam apoiados nos indicadores *Circularity Calculator* (EMF 2021) - Impacto econômico baseado em indicadores relativos de produto linear versus circular, medido em dólares (1.) Entradas de materiais; (2.) Insumos de trabalho; (3.) Entradas de energia (4.) Emissões de carbono; (5.) Balança comercial

Existe efetividade dos sistemas, a inclusão de mais 3R's (Recondicionar, Reparar e Reutilizar) totalizando 6R's, conforme apresentado no Quadro 20.

QUADRO 20: N₃ – RUMO A EC: QUADRO DE INDICADORES

ELEMENTOS	DESCRIÇÃO DO ITEM AVALIADO	PONTUAÇÃO				
		0	25	50	75	100
DESIGN (DES)	DES.1 – O Design de produtos foram elaborados com foco em seus impactos ambientais durante todo o ciclo de vida?					
	DES.2 – O Projeto e fabricação foram elaborados pensando na redução do uso de materiais e eliminação do uso de substâncias nocivas?					
	DES.3 – A organização busca Atualização, manutenção e reparo dos seus equipamentos para garantir a máxima eficiência?					
	DES.4 – Os produtos são feitos sob medida para atender às necessidades e preferências do cliente. Pode reduzir o desperdício e evitar o excesso de produção. Os clientes satisfeitos com os produtos retornarão ao fabricante para estender a vida útil dos produtos e manter suas características preferidas. A lealdade do cliente ao fabricante é incorporada?					
	DES.5 – O Projeto considera a necessidade de desmontar produtos para reparo, recondicionamento ou reciclagem?					
	DES.6 – Os Produtos são desenvolvidos e/ou compostos por módulos funcionais para que os produtos possam ser atualizados com recursos e / ou funcionalidades mais recentes. Os módulos podem ser reparados ou substituídos individualmente, aumentando assim a longevidade do núcleo do produto?					
	DES.7 – Design de embalagem otimizado. Estratégias eficientes de design de embalagem cumprem as					

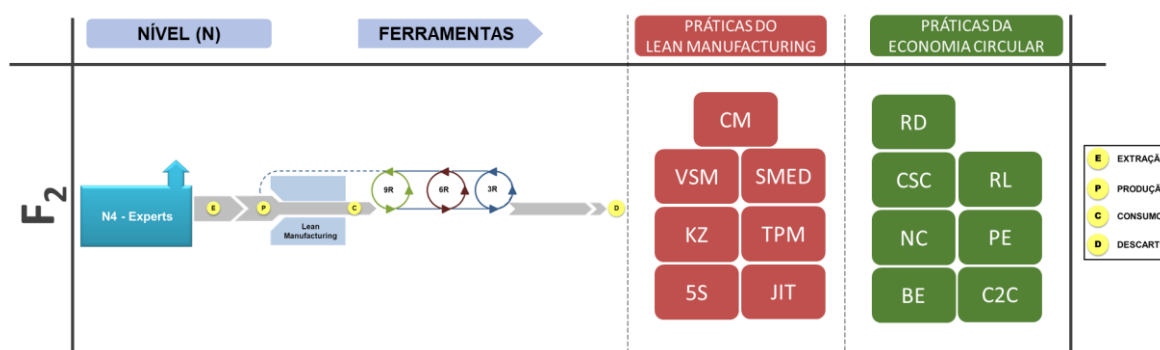
	regulamentações e utilizam o fim da vida útil do material de embalagem?								
COLETA E DISPOSIÇÃO (CDI)	CDI.1 - A empresa aplica a Responsabilidade Estendida do Produtor: abordagem de política ambiental, na qual a responsabilidade de um produtor por um produto é estendida à fase pós-consumo do ciclo de vida de um produto?								
	CDI.2 – A empresa aplica a Reciclagem incentivada, que é um método para recompensar a reciclagem consistente e repetida de materiais recicláveis, por exemplo, um reembolso de depósito?								
	CDI.3 – As Instalações promovem a coleta e descarte pós-consumo, com boa relação custo-benefício, economia de tempo e segurança ambiental?								
	CDI.4 – Os sistemas de devolução eficientes garantem que os produtos sejam recuperados após o fim da vida útil e passem a ser remanufaturados. Os sistemas de devolução podem garantir um fluxo contínuo de material para remanufatura?								
	CDI.5 – Os constituintes biológicos são separados dos constituintes técnicos ou artificiais / inorgânicos. Os nutrientes técnicos são usados para remanufatura e os nutrientes biológicos são restaurados ou degradados naturalmente?								
	CDI.6 – A empresa assumi responsabilidade na proteção do recurso por meio de conservação, reciclagem, regeneração e restauração. Um bem comum é considerado, por exemplo, um recurso natural, em contraste com a responsabilidade estendida do produtor?								
MÉTODO CIRCULTYCS (MC)	MC.1 – Sua empresa tem metas mensuráveis de economia circular?								
	MC.2 - Sua empresa lida com fluxos de materiais?								
	MC.3 - Em que medida existe uma abordagem de escopo sistêmico centrada no usuário para apoiar projetos de inovação/ desenvolvimento em economia circular?								
	MC.4 - Em que medida você dialoga com os clientes no que diz respeito ao avanço de tópicos da economia circular?								
	MC.5 - Em que medida a empresa tem planos para extrair nutrientes excedentes, metais, produtos químicos, calor e recursos valiosos similares antes de descartar a água usada em suas operações?								
	MC.6 - Qual porcentagem da energia (eletricidade, calor e combustível) das suas operações vem de fontes renováveis?								
	MC.7 - Sua empresa produz energia que é vendida a clientes?								
INTEGRAÇÃO COM FORNECEDORES (IF)	IF1. - Percentual de peças co-desenhadas com fornecedores								
	IF2. - Número de sugestões feitas por fornecedores								
	IF3. - Frequência nas quais os técnicos dos fornecedores visitam a empresa								
	IF4. - Frequência nas quais os fornecedores da empresa são visitados pelos técnicos								
	IF5. - Percentual de documentos intercambiados com fornecedores via EDI ou internet								
	IF6. - Número médio de fornecedores das peças mais importantes								

FONTE: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR.

Com um detalhamento dos indicadores do processo e a aplicação da análise dos recursos de entrada (*inputs*), baseou-se nos conceitos da EC.

N₄ – EXPERTS – existe uma queda significativa na quantidade de resíduos gerados, um aumento na análise dos materiais, redesenho dos processos e produtos com o acréscimo de mais 3R's (Reduzir, Repensar e Recusar) em um total de 9R's (Figura 17);

FIGURA 17 – N₄: EXPERTS



FONTES: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR.

Nesta etapa, as práticas de gestão estão bastante evoluídas, com um *benchmark* com alguns resultados, competitividade e pleno atendimento às expectativas da EC.

✓ PRÁTICAS DO LM

- **5S** – Consolidar o 5S, a fim melhorar a eficiência por meio da destinação adequada de materiais (separar o que é necessário do desnecessário), organização, limpeza e identificação de materiais e espaços e a manutenção e melhoria do próprio 5S.
- **KZ** – Idem N₂;
- **VSM** – idem N₂;
- **TPM** – Consolidação do TPM e de todos os seus indicadores como ferramenta estratégica de manufatura;
- **JIT** – Idem N₂;
- **SMED** – Neste nível vamos implantar as seguintes fases: (5ª) Fase do SMED: Uniformize a nova operação de setup; (6ª) Fase do SMED: Estabeleça um sistema de desempenho;

✓ PRÁTICAS DA EC

- **PE; C2C; RL; NC; RD CSC** – Idem N₃;
- **BE - Blue Economy** é fazer uso inteligente dos recursos naturais, sem prejudicá-los nem comprometer o funcionamento dos ecossistemas, para satisfazer as necessidades básicas do ser humano, com baixo gasto para o seu investimento, cujo ideal é transformar problemas em oportunidades para criar soluções para a saúde, o meio ambiente e as finanças, conforme Quadro 21.

QUADRO 21 - N₄ - EXPERTS – QUADRO DE INDICADORES

ELEMENTOS	DESCRIÇÃO DO ITEM AVALIADO	PONTUAÇÃO				
		0	25	50	75	100
PRODUÇÃO E ENTREGA JUST IN TIME (JIT)	JIT.1 - Lead time dos pedidos de clientes					
	JIT.2 .- Percentual de peças entregues Just in Time pelos fornecedores					
	JIT.3 - Nível de integração entre as entregas dos fornecedores e o sistema de informação da produção da empresa					
	JIT4. - Percentual de peças entregues Just in Time entre as seções na linha de produção					
	JIT5. - Tamanho de lote de produção e de entrega					
SISTEMA DE INFORMAÇÃO FLEXÍVEL (SIF)	SFI1. - A frequência na qual a informação é dada aos funcionários					
	SFI2. - Número de reuniões informativas da alta direção com funcionários					
	SFI3. - Percentual de procedimentos da empresa que foram escritos					
	SFI4. - Percentual de equipamentos de produção integrado por computador					
	SFI5. - Número de decisões de funcionários que pode tomadas sem controle do supervisor					
EQUIPES MULTIFUNCIONAIS (EQM)	EQM1. - Percentual de funcionários trabalhando em equipes					
	EQM2. - Número e percentual de tarefas desempenhadas por equipes					
	EQM3. - Percentual de tarefas dentro da empresa					
	EQM4. - Frequência média de rotação das tarefas					
	EQM5. - Percentual de líderes de equipes que foram eleitos pelos seus colegas de equipe					

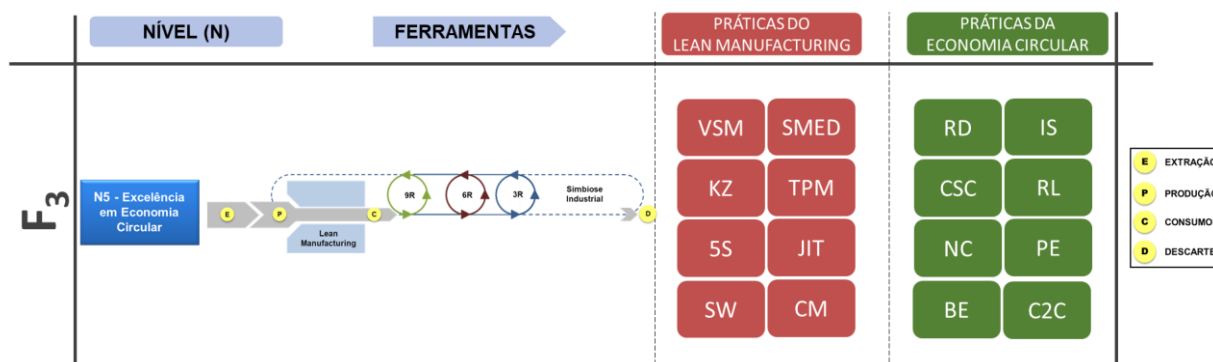
FONTE: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR.

Assim, busca-se o aumento dos ciclos em um efeito cascata, prolongando a vida dos produtos por meio da manutenção, projetando visando a durabilidade e a desmontagem, aplicando novas tecnologias (ex. impressão 3D), substituindo materiais antigos (não renováveis) por outros mais avançados, optando por produtos/serviços.

N₅ – EXCELÊNCIA EM ECONOMIA CIRCULAR – inicia-se a “Integração dos Sistemas” aumentando à análise do ciclo de vida reduzindo drasticamente os recursos naturais utilizados, um aumento do tempo de permanência dos produtos com máximo de valor agregado e a chegada da Simbiose Industrial e

a busca pelo “zero resíduo”, políticas e leis, plataforma de informação, capacitação; ONGs; aplicável a todos os níveis micro, meso e macro, conforme Figura 18.

FIGURA 18 – N5: EXCELÊNCIA EM ECONOMIA CIRCULAR.



FONTE: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR.

Nesta etapa, foi atingido o nível Macro (F₃) no qual os sistemas de indicadores de avaliação têm uma abordagem mais ampla, incluindo cidades, países em que uma visão mais global do ecossistema industrial estará inserida.

No nível macro, exigirá uma maior disponibilidade de dados permitindo que mais estudos de avaliação possam ser conduzidos.

✓ PRÁTICAS DO LM

- **5S; KZ; VSM; TPM; JIT; SMED** – Neste nível, todas as ferramentas estão consolidadas e apresentam resultados significativos;

✓ PRÁTICAS DA EC

- **PE; C2C; RL; NC; RD; CSC; BE** – Idem aos comentários sobre o LM
- **SI** - A simbiose industrial objetiva integrar atividade econômica, meio ambiente e bem-estar da comunidade, através do intercâmbio de resíduos, matéria-prima, energia e água, com vistas a reduzir

os impactos resultantes da atividade industrial e seus custos operacionais, conforme Quadro 22.

QUADRO 22: N₅ - EXCELÊNCIA EM ECONOMIA CIRCULAR – QUADRO DE INDICADORES

ELEMENTOS	DESCRIÇÃO DO ITEM AVALIADO	PONTUAÇÃO				
		0	25	50	75	100
TAXA DE SAÍDA DO RECURSO (TSR)	TSR1. - São calculados as Taxas de reciclagem de resíduos sólidos industriais?					
	TSR2. - São calculados os Índices de reutilização de água industrial?					
	TSR3. - São calculados as Taxas de reciclagem de águas residuais municipais recuperadas?					
	TSR4. - São calculados as Taxas de tratamento seguro de resíduos sólidos domésticos?					
	TSR5. - São calculados as Taxas de reciclagem de sucata de ferro, metal não ferroso, papel usado, de plástico e borracha?					
	TSR6. - São calculados o Consumo de energia por unidade de PIB?					
	TSR7. - São calculados o Consumo de energia por unidade de produto nos principais setores industriais?					
	TSR8. - São calculados o Coeficiente de utilização da água de irrigação?					
DESCARTE DE RESÍDUOS E EMISSÃO DE POLUENTES (REP)	REP1.- São calculados os Descartes de resíduos e emissão de poluentes?					
	REP2.- São calculados as Quantidade total de resíduos sólidos industriais para disposição final?					
	REP3.- São calculados os Quantidade total de descarga de águas residuais industriais?					
	REP4.- São calculados as Saídas do principais recursos minerais?					

FONTE: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR.

Reforçando que na fase (F₂), nível meso (N₃ e N₄), e a fase (F₃) de nível macro (N₅), foram mencionadas brevemente apenas a título de possibilidades e desdobramentos futuros.

4.2.3 – RESULTADOS POSSÍVEIS APÓS IMPLANTAÇÃO DO MACI

Os possíveis resultados após a implantação do MACI são:

- Melhorar a produtividade dos recursos da manufatura, reduzindo os desperdícios, reduzir o impacto ambiental e manter o valor agregado dos componentes nos processos de usinagem;

- Produtos e processos são redesenhados para maximizar o valor dos recursos e sua utilização;
- Preocupação com o compartilhamento;
- Preocupação com a manutenção/prolongamento do uso;
- Preocupação com a eficiência na utilização de materiais;
- Utilização de energia proveniente de fontes renováveis;
- Substituição do consumo pelo uso;
- A empresa utiliza-se de tecnologia digital;
- Desenvolver ações educativas com a comunidade local voltadas para a proliferação da EC;
- Reduzir o tempo relacionado ao *Lead Time* da manufatura;
- Aumentar a colaboração entre os fornecedores;
- Selecionar fornecedores ambientalmente adequados, e divulgar claramente as Informações na rede de Suprimentos;
- Integrar a logística reversa e o fluxo de informações na cadeia de suprimentos;
- Incluir no processo de compra critérios circulares para seleção de fornecedores de matéria-prima;
- Considerar o impacto do uso do produto, bem como a recuperação de final de vida em forma de reutilização ou reciclagem;
- Defender a redução de desperdícios, com redução permanente de resíduos sólidos, e emissões para o ar, água e solo;

A combinação dos princípios da EC e do LM oferecem benefícios estratégicos e operacionais, eficiência e mitigação dos riscos ambientais atraentes para os processos de usinagem, como por exemplo, redução de custo e aumento da vida útil (ferramentas de corte, fluido refrigerante etc.).

O uso das técnicas estabelecidas pelo MACI pode facilitar a criação de metas de sustentabilidade, fornecendo uma linha de base e informando a formulação de metas viáveis, permitindo que as empresas desenvolvam uma melhor compreensão das necessidades atuais de recursos, produtividade, qualidade, desperdícios e energia e identifiquem áreas potenciais de melhoria, ajudando a definir prioridades.

Alguns objetivos comuns são compartilhados entre o LM e EC podendo melhorar o desempenho organizacional e ambiental.

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo, é apresentada a aplicação do MACI com a finalidade de verificar a aplicabilidade do modelo e discussão de todos os resultados obtidos.

A primeira aplicação foi realizada em uma empresa metal mecânica localizada na região metropolitana de Campinas que atua no segmento de usinagem e ferramentaria, denominada de Empresa “A”. A Empresa “A” foi fundada em 1994 e possui 23 funcionários em atividades comerciais, administrativas e fabris. São prestados os seguintes os serviços pela Empresa “A”: fabricação de ferramentas e dispositivos de pequeno e médio porte, usinagem tradicional e CNC, retificas planas e cilíndricas, medição tridimensional, engenharia reversa e serviços de eletroerosão e soldagem. Um funcionário, em nível de decisão, participou da avaliação: o engenheiro industrial.

Iniciou-se a aplicação do MACI seguindo os passos descritos no capítulo 4: primeiramente, foi realizada a Avaliação Diagnóstica (F₀) que foi sintetizada no Quadro 23 e, em seguida, foram avaliados os níveis (N₁...N₅) do processo.

QUADRO 23 – RESULTADO DO PERFIL ORGANIZACIONAL - “EMPRESA A”

FUNDAMENTO		PONTUAÇÃO					NÍVEL DO ASPECTO (%)
PERFIL ORGANIZACIONAL		NÃO REALIZA	INICIAL	EM DESENVOLVIMENTO	CONSOLIDADO	EXCELENTE	
ASPECTO	ITEM AVALIADO						
MODELO DE NEGÓCIO	MN 1			50			50%
	MN 2		25				
	MN 3		25				
	MN 4			50			
	MN 5					100	
PARTES INTERESSADAS	PI 1		25				45%
	PI 2		25				
	PI 3		25				
	PI 4		25				
	PI 5			50			
	PI 6			50			
	PI 7				75		
	PI 8			50			
	PI 9			50			
	PI 10				75		
	PI 11			50			
NÍVEL DO FUNDAMENTO (%)		47,73%					
PONTUAÇÃO DO FUNDAMENTO		9,55 PONTOS					

FONTE: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR.

Pode-se observar que a Empresa “A”, mesmo já possuindo muitos anos de atuação no mercado, apresentou pontos oportunos de melhoria do processo produtivo. O modelo de negócio demonstrou um estado médio (47,73%) da maturidade, do segmento de atuação e das atividades desenvolvidas pela organização.

Com relação às partes interessadas (PI – 45%) existia a necessidade da consolidação da relação entre os parceiros e a cadeia de fornecimento, sendo que maioria dos pontos se encontraram abaixo da média, havendo espaço para o crescimento e desenvolvimento. Vale o destaque para os itens P7 e P10 que faziam parte da cultura organizacional, dos indicadores de metas organizacionais e do organograma bem estabelecidos. Nesse fundamento, a Empresa “A” atingiu 9,55 pontos (47,73%) dos vinte pontos estipulados para esse fundamento.

Com relação à Avaliação Global da EC, foi analisado o estado atual da Empresa “A” no que tangia a transição de uma EL para uma EC.

Os indicadores de resultados mediram os aspectos de nível micro, a circularidade dos fluxos de materiais da empresa e os resultados da concepção de produtos, serviços e o uso de energia, permitindo a transformação dos processos (Quadro 24).

QUADRO 24 – RESULTADO DA AVALIAÇÃO GLOBAL DA EC – EMPRESA “A”

FUNDAMENTO		PONTUAÇÃO					NÍVEL DO ASPECTO (%)
AVALIAÇÃO GLOBAL DA ECONOMIA CIRCULAR		NÃO REALIZA	INICIAL	EM DESENVOLVIMENTO	CONSOLIDADO	EXCELENTE	
ASPECTO	ITEM AVALIADO						
DESEMPENHO ECONÔMICO (DE)	DE 1			50			38%
	DE 2		25				
MATERIAIS (MP)	MP 1		25				50%
	MP 2				75		
	MP 3	0					
ENERGIA (EN)	EN 1			50			50%
GERAL (GE)	GE 1	0					25%
	GE 2		25				
	GE 3		25				
	GE 4		25				
SOCIAL (SD)	SD 1		25				25%
NÍVEL DO FUNDAMENTO (%)		37,50%					
PONTUAÇÃO DO FUNDAMENTO		15 PONTOS					

FONTE: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR.

Nos resultados da avaliação global da EC, a maioria dos itens avaliados encontravam-se em uma fase inicial, demonstrando que existiam inconsistências e itens que não estavam completamente implantados, atingindo quinze dos quarenta pontos possíveis (37,5%). Vale ressaltar que a empresa concluiu um projeto de implantação de um sistema fotovoltaico com um gerador de 103,4 kWp, que deverá ser instalado no início de março de 2022 e que deverá atingir uma economia na ordem de 90% segundo os dados do projeto adquirido com um retorno do investimento, a partir do trigésimo primeiro mês e com uma vida útil das placas de 18 anos.

Para a Empresa “A”, a avaliação global do LM buscou elencar os critérios pelos quais a manufatura enxuta poderia ser alcançada, sempre focando na eliminação ou minimização de desperdícios, aumento do valor agregado e a melhoria contínua para se tornar uma empresa enxuta, Quadro 25.

QUADRO 25 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO GLOBAL DO LM - “EMPRESA A”

FUNDAMENTO AVALIAÇÃO GLOBAL DO LEAN MANUFACTURING		PONTUAÇÃO					NÍVEL DO ASPECTO (%)						
ASPECTO	ITEM AVALIADO	NÃO REALIZA	INICIAL	EM DESENVOLVIMENTO	CONSOLIDADO	EXCELENTE							
ÉTICA ORGANIZACIONAL (EO)	EO 1			50			36%	SISTEMA DE INFORMAÇÃO (SI)	SI 1		50		44%
	EO 2			50					SI 2		50		
	EO 3		25						SI 3		50		
	EO 4		25						SI 4	25			
	EO 5		25					RELAÇÃO CLIENTE / FORNECEDOR E ORGANIZAÇÃO (CF)	CF 1			75	63%
	EO 6		25						CF 2		50		
	EO 7	0							CF 3		75		
	EO 8	0							CF 4		50		
	EO 9				50				PRODUTO E GESTÃO DE PRODUTO (GP)	GP 1		50	40%
	EO 10		25					GP 2		25			
	EO 11		25					GP 3		0			
	EO 12		25			75		GP 4			50		
PESSOAS (RH)	RH 1		25				36%	PROCESSO E FLUXO DE PROCESSO (FP)	FP 1		25	33%	
	RH 2		25						FP 2		50		
	RH 3	0							FP 3	25			
	RH 4		25						FP 4	0			
	RH 5		25		50			FP 5	0				
	RH 6		25		50			FP 6		25			
	RH 7		25		50			FP 7	0				
	RH 8		25		50			FP 8		50			
	RH 9		25		50			FP 9		25			
	RH 10		25		50			FP 10		50			
	RH 11		25		50			FP 11		25			
	RH 12		25		50			FP 12	0				
								NÍVEL DO FUNDAMENTO (%)			42,05%		
								PONTUAÇÃO DO FUNDAMENTO			16,83 PONTOS		

FONTE: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR.

No aspecto ética organizacional (EO – 36%), analisou-se que os esforços e o envolvimento da alta gerência junto ao sistema ainda estavam em um patamar inicial. Este aspecto (EO) deve assegurar que as responsabilidades e autoridades pare papéis pertinentes sejam atribuídas, comunicadas e entendidas na organização.

Enquanto a gestão de pessoas (RH – 36%) – verifica-se a necessidade da participação de todos da organização e, para isso, é preciso, antes de tudo, defini-los claramente, implantá-los e, em seguida, divulgar as responsabilidades e expectativas da empresa para com cada um de seus integrantes, formação efetiva de equipes, treinamento e garantia dos recursos para as suas ações.

No sistema de informação (SI – 44%) – constata-se a necessidade da empresa em garantir acesso seguro e estruturado às informações úteis e estruturá-la de forma a melhorar o desempenho produtivo.

No elemento Relação Cliente/Fornecedor e Organização (CF – 63%) – como o modelo de negócio da empresa é focado nos serviços existe a necessidade de fortalecer e estruturar um conjunto de diretrizes para estabelecer a relação de parceria entre fornecedor, organização e cliente, com o envolvimento das áreas como nos projetos de produtos.

No aspecto produto e gestão do produto (GP – 40%) necessita melhorar a utilização de ferramentas de criação, desenvolvimento e controle ligadas à gestão do ciclo de vida de produto para o desenvolvimento de novos produtos, com o intuito de reduzir, principalmente, os tempos de processos e o custo associado a esses produtos.

Como relação ao Produto e Fluxo de Processos (FP – 33%) existe a necessidade de criar e desenvolver práticas e ferramentas que se apliquem à área da produtiva, e que auxiliem na produção de maneira a estabelecer critérios de prioridades e fluxo de entrega.

Seguindo os passos do MACI, iniciou-se a avaliação dos Níveis (N₁...N₅) da Empresa “A” conforme os procedimentos indicados no capítulo 4.

N₁ – INICIANTE - Os primeiros passos aplicáveis às organizações iniciam com a avaliação do processo de usinagem conforme os critérios indicados no Quadro 26.

QUADRO 26 – RESULTADO DA AVALIAÇÃO DA NÍVEL N₁ - INICIANTE – EMPRESA “A”

FUNDAMENTO		PONTUAÇÃO					NÍVEL DO ASPECTO (%)
INICIANTE		NÃO REALIZA	INICIAL	EM DESENVOLVIMENTO	CONSOLIDADO	EXCELENTE	
ASPECTO	ITEM AVALIADO						
ÍNDICE DE PRODUÇÃO (IP)	IP.1		25				50%
	IP.2				75		
	IP.3				75		
	IP.4		25				
	IP.5			50			
ÍNDICE DE USINAGEM (IU)	IU.1				75		60%
	IU.2			50			
	IU.3			50			
	IU.4				75		
	IU.5			50			
CONDIÇÃO DE CORTE (CC)	CC.1				75		70%
	CC.2				75		
	CC.3				75		
	CC.4			50			
	CC.5				75		
PROCESSO DE USINAGEM (PU)	PU.1			50			43%
	PU.2			50			
	PU.3			50			
	PU.4			50			
	PU.5		25				
	PU.6			50			
	PU.7				75		
	PU.8		25				
	PU.9		25				
	PU.10		25				
RECICLAGEM (RE)	RE.1			50			35%
	RE.2		25				
	RE.3		25				
	RE.4			50			
	RE.5		25				
INDICADORES DE ELIMINAÇÃO DE ATIVIDADES DE VALOR ZERO (EF)	EF1.		25				35%
	EF2.		25				
	EF3.				75		
	EF4.		25				
	EF5.		25				
NÍVEL DO FUNDAMENTO (%)		48,75%					
PONTUAÇÃO DO FUNDAMENTO		48,75 PONTOS					

FONTE: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR

Observa-se que a empresa “A” tem o índice de produção (IP – 50%) os dois segundos itens avaliados atingiram um patamar consolidado o que pode evoluir com a um grupo de *kaizen* para melhorar as taxas de produção, reduzindo os custos e a qualidade, com um baixo controle das taxas de produção.

Nos aspectos índices de usinagem (IU), condição de corte (CC), processos de usinagem (PU) e atividades de zero valor (EF) atingiu-se um patamar de 60% do nível do aspecto, abrindo uma oportunidade de desenvolvimento que diretamente nas condições de trabalho da organização:

- Seleção de fornecedores;
- Melhorar a produtividade;
- Cálculo do volume de material removido por aresta da ferramenta;
- Simulação CAD/CAM/CNC integrados;
- Controle de Descarte das ferramentas de corte;
- Reduzir os custos e os desperdícios;
- Implantar o trabalho padronizado (SW);
- Criar uma equipe de Kaizen para elaboração de projetos de direcionamento da performance operacional e ambiental;
- Implantar o 5s;
- Introduzir e treinar os conceitos EC e LM (Quadro 17).

N₂ – INTERMEDIÁRIO – A avaliação do processo de usinagem conforme os critérios indicados no Quadro 27.

QUADRO 27 – AVALIAÇÃO DA ETAPA N₂ – INTERMEDIÁRIO – EMPRESA “A”

FUNDAMENTO		PONTUAÇÃO					NÍVEL DO ASPECTO (%)
INTERMEDIÁRIO		NÃO REALIZA	INICIAL	EM DESENVOLVIMENTO	CONSOLIDADO	EXCELENTE	
ASPECTO	ITEM AVALIADO						
MANUFATURA (MAN)	MAN.1			50			27,3%
	MAN.2		25				
	MAN.3			50			
	MAN.4			50			
	MAN.5		25				
	MAN.6		25				
	MAN.7		25				
	MAN.8	0					
	MAN.9	0					
	MAN.10		25				
	MAN.11		25				
RECICLAR, RECUPERAR E REMANUFATURAR (RRR)	RRR.1			50			20%
	RRR.2	0					
	RRR.3	0					
	RRR.4		25				
	RRR.5		25				
MELHORIA CONTÍNUA (MC)	MC1.				75		54%
	MC2.			50			
	MC3.				75		
	MC4.				75		
	MC5.			50			
	MC6.		25				
	MC7.		25				
NÍVEL DO FUNDAMENTO (%)				33,61%			
PONTUAÇÃO DO FUNDAMENTO				33,61 ONTOS			

FONTE: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR

Os resultados da avaliação da empresa “A” na etapa N₂ ficou da seguinte forma: (MAN – 27,3%) necessidade de um plano para recuperação e reuso da água, tratamento do fluido refrigerante, criação de um sistema de gestão ambiental; controle das emissões (RRR – 20%) e melhoria contínua (MC – 54%), a empresa “A” os indicadores, confirmando a necessidade de estruturar a etapa N₁.

N₃ – RUMO A EC– Os resultados medem não apenas o desempenho da EC como também do LM, começando com materiais e fluxo de água, mas também os resultados do projeto de produtos e serviços, instalações e equipamentos e uso de energia, indicados no Quadro 28.

QUADRO 28 - AVALIAÇÃO DA ETAPA N₃ – RUMO A EC – EMPRESA “A”

FUNDAMENTO		PONTUAÇÃO					NÍVEL DO ASPECTO (%)
RUMO A EC		NÃO REALIZA	INICIAL	EM DESENVOLVIMENTO	CONSOLIDADO	EXCELENTE	
ASPECTO	ITEM AVALIADO						
DESIGN (DES)	DES.1		25				43%
	DES.2		25				
	DES.3			50			
	DES.4			50			
	DES.5				75		
	DES.6			50			
	DES.7			25			
COLETA E DISPOSIÇÃO (CDI)	CDI.1		25				12,5%
	CDI.2		25				
	CDI.3	0					
	CDI.4	0					
	CDI.5	0					
	CDI.6		25				
MÉTODO CIRCULYTICS (MC)	MC.1	0					3,6%
	MC.2	0					
	MC.3	0					
	MC.4	0					
	MC.5	0					
	MC.6		25				
	MC.7	0					
INTEGRAÇÃO COM FORNECEDORES (IF)	IF1.			50			30%
	IF2.		25				
	IF3.		25				
	IF4.		25				
	IF5.		25				
NÍVEL DO FUNDAMENTO (%)				22,23%			
PONTUAÇÃO DO FUNDAMENTO				22,23 PONTOS			

FONTE: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR

Projetos de *design* (DES – 43%) e coleta de descarte (CDI – 12,5%) exigem atenção para criar um sistema que garanta que os produtos possam ser recuperados, remanufaturados ou reciclados. Em relação à abordagem “*MCI Circulytics*”, a Empresa A não tinha nenhum conhecimento sobre o tema EC e, nesse momento, o responsável pela avaliação entrou em contato para esclarecer os pontos avaliados. Em termos de integração com fornecedores (IF – 30%), é necessário estabelecer vínculos estratégicos para garantir a estabilidade no médio e longo prazo. Incluir fornecedores na elaboração de planos de produção, facilitar a troca de informações entre todas as partes e construir compromisso e confiança na parceria.

N4 - Experts - Nesta fase da avaliação, procura-se um sistema de gestão aprimorado que atenda plenamente às expectativas do LM e do EC, conforme o Quadro 29.

QUADRO 29 - AVALIAÇÃO DA ETAPA N₄ – EXPERTS – EMPRESA “A”

FUNDAMENTO		PONTUAÇÃO					NÍVEL DO ASPECTO (%)
EXPERTS		NÃO REALIZA	INICIAL	EM DESENVOLVIMENTO	CONSOLIDADO	EXCELENTE	
ASPECTO	ITEM AVALIADO						
PRODUÇÃO E ENTREGA JUST IN TIME (JIT)	JIT.1				75		50%
	JIT.2		25				
	JIT.3			50			
	JIT.4		25				
	JIT.5				75		
SISTEMA DE INFORMAÇÃO FLEXÍVEL (SIF)	SFI1.		25				35%
	SFI2.		25				
	SFI3.			50			
	SFI4.		25				
	SFI5.			50			
EQUIPES MULTIFUNCIONAIS (EQM)	EQM1.				75		50%
	EQM2.			50			
	EQM3.			50			
	EQM4.			50			
	EQM5.		25				
NÍVEL DO FUNDAMENTO (%)		45,00%					
PONTUAÇÃO DO FUNDAMENTO		45 PONTOS					

FONTE: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR

Nesta fase (N4), a Empresa “A” mostra que possui algumas iniciativas fragmentadas em pontos JIT - 50% e SIF - 35% relacionadas a equipes multifuncionais (EQM - 50%) Necessidade de melhorar a capacidade de resposta e prestação de contas, produtividade e tomada de decisão. Além disso, como os membros da equipe vêm de todos os níveis, o trabalho precisa ser feito em termos de conhecimento e conjuntos de habilidades.

N5 – Excelência em EC - Neste momento da avaliação, a organização deve estar ciente de sua capacidade de perseguir seus objetivos estratégicos e se integrar ao ecossistema com o qual interage e depende, indicado no Quadro 30.

QUADRO 30 - AVALIAÇÃO DA ETAPA N₅ – EXCELÊNCIA EM EC – EMPRESA “A”

FUNDAMENTO		PONTUAÇÃO					NÍVEL DO ASPECTO (%)
EXCELÊNCIA EM ECONOMIA CIRCULAR		NÃO REALIZA	INICIAL	EM DESENVOLVIMENTO	CONSOLIDADO	EXCELENTE	
ASPECTO	ITEM AVALIADO						
TAXA DE SAÍDA DO RECURSO (TSR)	TSR1.		25				6,25%
	TSR2.	0					
	TSR3.	0					
	TSR4.	0					
	TSR5.		25				
	TSR6.	0					
	TSR7.	0					
	TSR8.	0					
DESCARTE DE RESÍDUOS E EMISSÃO DE POLUENTES (REP)	REP1.	0					6,25%
	REP2.		25				
	REP3.	0					
	REP4.	0					
NÍVEL DO FUNDAMENTO (%)		6,25%					
PONTUAÇÃO DO FUNDAMENTO		6,25 PONTOS					

FONTE: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR

Neste momento da avaliação, nota-se que a Empresa “A” precisa atualizar-se e aprofundar nos conceitos de EC e assim, buscar formas de produção e consumo, criar ferramentas internas para integrar seus processos com a sociedade, atender à crescente demanda por produtos/serviços mais integrados e explorar novos modelos de negócios, considerando diversos acordos internacionais e, ao mesmo tempo, promover o desenvolvimento sustentável.

A segunda aplicação ocorreu em uma empresa metal mecânica localizada na região metropolitana de Piracicaba que é produtora (fundição e usinagem), industrializadora e comercializadora de buchas, tarugos e peças nas ligas de bronze e alumínio, denominada de Empresa “B”. A Empresa “B” fundada em 1994 tem sessenta funcionários em atividades comerciais, administrativas e fabris. Um funcionário, em nível de decisão, participou da avaliação: o diretor industrial.

Iniciou-se a aplicação do MACI pela Avaliação Diagnóstica (F₀), que é sintetizado no Quadro 31 a seguir.

QUADRO 31 – RESULTADO DO PERFIL ORGANIZACIONAL - “EMPRESA B”

FUNDAMENTO		PONTUAÇÃO					NÍVEL DO ASPECTO (%)
PERFIL ORGANIZACIONAL		NÃO REALIZA	INICIAL	EM DESENVOLVIMENTO	CONSOLIDADO	EXCELENTE	
ASPECTO	ITEM AVALIADO						
MODELO DE NEGÓCIO	MN 1				75		65%
	MN 2				75		
	MN 3			50			
	MN 4				75		
	MN 5			50			
PARTES INTERESSADAS	PI 1			50			52%
	PI 2		25				
	PI 3			50			
	PI 4		25				
	PI 5			50			
	PI 6				75		
	PI 7			50			
	PI 8			50			
	PI 9				75		
	PI 10				75		
	PI 11			50			
NÍVEL DO FUNDAMENTO (%)		58,64%					
PONTUAÇÃO DO FUNDAMENTO		11,73 PONTOS					

FONTE: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR.

No fundamento perfil organizacional, pode-se notar que o aspecto do modelo de negócio atingiu 65% o que demonstra um estado intermediário da maturidade organizacional, com a estabilidade dos produtos, do segmento de atuação e das atividades desenvolvidas pela organização. Com relação as partes interessadas, existem a necessidade da consolidação da relação entre os parceiros e a cadeia se fornecimento da empresa (itens P2; P4), sendo que maioria dos pontos se encontram na média, havendo espaço para o crescimento e desenvolvimento, vale o destaque para os itens P6, P9 e P10 que fazem parte da cultura organizacional, dos indicadores de metas organizacionais e do organograma bem estabelecidos. Nesse fundamento, a Empresa “B” atingiu 11,73 pontos (58,64%) dos vinte pontos estipulados para esse fundamento.

No fundamento Avaliação Global da EC é analisado o estado atual da organização para a transição de uma EL para uma EC. Os indicadores de resultados medem não apenas a circularidade dos fluxos de materiais das empresas, mas também os resultados da concepção de produtos e serviços e o uso de energia, auxiliando na medição dos aspectos de nível micro permitindo a transformação dos processos, conforme o Quadro 32.

QUADRO 32 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO GLOBAL DA EC - “EMPRESA B”

FUNDAMENTO		PONTUAÇÃO					NÍVEL DO ASPECTO (%)
AVALIAÇÃO GLOBAL DA ECONOMIA CIRCULAR		NÃO REALIZA	INICIAL	EM DESENVOLVIMENTO	CONSOLIDADO	EXCELENTE	
ASPECTO	ITEM AVALIADO						
DESEMPENHO ECONÔMICO (DE)	DE 1		25				38%
	DE 2			50			
MATERIAIS (MP)	MP 1			50			50%
	MP 2			50			
	MP 3			50			
ENERGIA (EN)	EN 1		25				25%
GERAL (GE)	GE 1		25				25%
	GE 2		25				
	GE 3		25				
	GE 4		25				
SOCIAL (SD)	SD 1		25				25%
NÍVEL DO FUNDAMENTO (%)		32,50%					
PONTUAÇÃO DO FUNDAMENTO		13 PONTOS					

FONTE: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR.

Na avaliação global da EC, a maioria dos itens avaliados encontram-se em uma fase inicial demonstrando que os existem inconsistências e itens que não estão completamente implantados, atingindo treze dos quarenta pontos possíveis (32,5%).

A avaliação global do LM auxilia a elencar os critérios, pelos quais, a manufatura enxuta poderá ser alcançada, sempre focando na eliminação ou minimização de desperdícios, aumento do valor agregado e a melhoria contínua para se tornar uma empresa enxuta, sintetizado no Quadro 33.

QUADRO 33 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO GLOBAL DO LM - “EMPRESA B”

FUNDAMENTO		PONTUAÇÃO					NÍVEL DO ASPECTO (%)
AVALIAÇÃO GLOBAL DO LEAN MANUFACTURING		NÃO REALIZA	INICIAL	EM DESENVOLVIMENTO	CONSOLIDADO	EXCELENTE	
ASPECTO	ITEM AVALIADO						
ÉTICA ORGANIZACIONAL (EO)	EO 1			50			52%
	EO 2			50			
	EO 3	25					
	EO 4			50			
	EO 5			50			
	EO 6			50			
	EO 7			50			
	EO 8				75		
	EO 9			50			
	EO 10			50			
	EO 11	25					
	EO 12					100	
	PESSOAS (RH)	EO 13			50		
RH 1				50			
RH 2				50			
RH 3					75		
RH 4				50			
RH 5					75		
RH 6				50			
RH 7				50			
RH 8				50			
RH 9				50			
RH 10					75		
RH 11		25					
RH 12			50				
NÍVEL DO FUNDAMENTO (%)		41,08%					
PONTUAÇÃO DO FUNDAMENTO		16,44 PONTOS					

FONTE: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR.

No aspecto ética organizacional (EO) – analisou-se que os esforços e o envolvimento da alta gerência junto ao sistema ainda encontram-se em desenvolvimento. Este aspecto (EO – 52%) deve ser complementado com um acompanhamento das ações e resultados obtidos, a fim que os critérios sejam transparentes e conhecidos, quando os avanços e os sucessos são obtidos pela organização.

Pessoas (RH – 54%) – verifica-se a necessidade da participação de todos da organização para o sucesso do sistema organizacional, democratizando a tomada de decisões, a autonomia, formação efetiva de equipes multidisciplinares, treinamento e garantia dos recursos para as ações dessas equipes.

No sistema de informação (SI – 50%) – constata-se a necessidade de a empresa garantir acesso seguro e estruturado às informações úteis e necessárias para a tomada de decisão voltadas a uma obtenção de uma manufatura enxuta e circular.

No elemento Relação Cliente/Fornecedor e Organização (CF – 25%) – existe a necessidade de estruturar um conjunto de diretrizes para estabelecer a relação de parceria entre fornecedor, organização e cliente, verificando o envolvimento destes em áreas com o desenvolvimento de produtos.

O aspecto produto e gestão do produto (GP) – atingiu um nível de 25% em relação a esse aspecto avaliado. Deve-se melhorar a utilização de ferramentas ligadas à gestão do ciclo de vida de produto para o desenvolvimento de novos produtos, com o intuito de reduzir, principalmente, os tempos de processos e lançamento destes novos produtos ao mercado e o custo associado a esses produtos.

Produto e Fluxo de Processos (FP – 40%) – nesta última categoria, existe a necessidade de desenvolver algumas práticas e ferramentas que se apliquem à área da engenharia, e que auxiliem na orientação do fluxo de produção de maneira a integrarem-se às necessidades dos clientes.

Após a aplicação da Avaliação Diagnóstica (F_0), foram apresentados os resultados aos responsáveis que aplicaram a avaliação, no intuito de auxiliar a empresas (“A” e “B”) na transição para uma integração entre o LM e a EC.

A partir dos dados coletados, verificou-se que as Empresas “A” e “B” possuem uma série de oportunidade em comum de completar e fortalecer os conceitos da EC, como sugestões podem ser colocadas as seguintes:

- Implantação de programa de gestão ambiental:
 - Identificação dos aspectos e impactos ambientais;
 - Implantação de um Sistema de Gestão Ambiental (SGA);
 - Política Ambiental;
 - Sistema de Desempenho Ambiental;
 - Melhoria contínua.

- Um sistema de controle de poluição:
 - Coleta e tratamento de resíduos, efluentes e emissões atmosférica;
 - Transporte e disposição final adequados dos resíduos;
 - Classificação, inventário, local de armazenamento e área de segregação dos resíduos;
 - Recuperação das áreas degradadas.

- Implantação do 3Rs
 - Minimização dos resíduos por mudanças no processo;
 - Redução no uso de substâncias tóxicas;
 - Controle de emissões e descartes;
 - Controle da quantidade de água, energia e materiais utilizados no processo;
 - Sistema de controle da reciclagem para novas atividades (interna ou externa);
 - Reuso e Reutilização de materiais e recursos naturais;

Para engajar a equipe das Empresas “A” e “B” para o pensamento enxuto será necessário estudar os processos atuais, treinar a equipe, identificar falhas e criar procedimentos que possam corrigi-las.

Em seguida, é necessário avaliar o estado atual, identificando o que gera valor e contribui positivamente para um bom resultado e quais atividades geram desperdício.

Organizar visualmente os processos atuais, permitindo detalhar todas as etapas envolvidas no fluxo de trabalho, facilitando a identificação de processos que não agregam valor, criando uma visão geral de: (A) como a empresa funciona atualmente; (B) o que impede que o fluxo de trabalho seja melhor; (C) quais estratégias de melhoria adotar, determinando um ponto de partida e estabelecendo uma gestão de melhoria contínua para o direcionamento da performance operacional e ambiental (Figura 13) e visão geral das práticas EC, LM e GM para o direcionamento da performance produtivas (Quadro 17).

Dando continuidade à avaliação dos Níveis de Implantação do MACI ($N_1...N_5$) da Empresa “B” as considerações são as seguintes.

N_1 – INICIANTE - Os primeiros passos aplicáveis às organizações iniciam com a avaliação do processo de usinagem conforme os critérios indicados no Quadro 34.

QUADRO 34 – RESULTADO DA AVALIAÇÃO DA ETAPA N1 - INICIANTE

FUNDAMENTO		PONTUAÇÃO					NÍVEL DO ASPECTO (%)
INICIANTE		NÃO REALIZA	INICIAL	EM DESENVOLVIMENTO	CONSOLIDADO	EXCELENTE	
ASPECTO	ITEM AVALIADO						
ÍNDICE DE PRODUÇÃO (IP)	IP.1				75		65%
	IP.2				75		
	IP.3				75		
	IP.4			50			
	IP.5			50			
ÍNDICE DE USINAGEM (IU)	IU.1			50			50%
	IU.2			50			
	IU.3			50			
	IU.4			50			
	IU.5			50			
CONDIÇÃO DE CORTE (CC)	CC.1			50			50%
	CC.2			50			
	CC.3			50			
	CC.4			50			
	CC.5			50			
PROCESSO DE USINAGEM (PU)	PU.1			50			48%
	PU.2			50			
	PU.3			50			
	PU.4			50			
	PU.5			50			
	PU.6			50			
	PU.7				75		
	PU.8		25				
	PU.9		25				
	PU.10			50			
RECICLAGEM (RE)	RE.1			50			60%
	RE.2			50			
	RE.3				75		
	RE.4				75		
	RE.5			50			
INDICADORES DE ELIMINAÇÃO DE ATIVIDADES DE VALOR ZERO (EF)	EF1.			50			50%
	EF2.		25				
	EF3.				75		
	EF4.			50			
	EF5.			50			
NÍVEL DO FUNDAMENTO (%)		53,75%					
PONTUAÇÃO DO FUNDAMENTO		53,75 PONTOS					

FONTE: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR.

No aspecto índice de produção (IP – 65%), os três primeiros itens avaliados atingiram um patamar consolidado o que pode evoluir com a um grupo de *kaizen* para melhorar as taxas de produção, reduzindo os custos e a qualidade.

Nos aspectos índices de usinagem (IU), condição de corte (CC), processos de usinagem (PU) e atividades de zero valor (EF) atingiu-se apenas 50% do nível do aspecto, abrindo uma oportunidade de desenvolvimento que diretamente nas condições de trabalho da organização:

- Melhorar a produtividade;
- Reduzir os custos e os desperdícios;
- Implantar o trabalho padronizado (SW);
- Criar uma equipe de Kaizen para elaboração de projetos de direcionamento da performance operacional e ambiental;
- Implantar o 5S;
- Introduzir e treinar os conceitos EC e LM (Quadro 17).

N₂ – INTERMEDIÁRIO – A avaliação do processo de usinagem conforme os critérios indicados no Quadro 35.

QUADRO 35 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DA ETAPA N₂ - INTERMEDIÁRIO

INTERMEDIÁRIO		NÃO REALIZA	INICIAL	EM DESENVOLVIMENTO	CONSOLIDADO	EXCELENTE	NÍVEL DO ASPECTO (%)
ASPECTO	ITEM AVALIADO						
MANUFATURA (MAN)	MAN.1		25				31%
	MAN.2		25				
	MAN.3			50			
	MAN.4		25				
	MAN.5			50			
	MAN.6		25				
	MAN.7		25				
	MAN.8		25				
	MAN.9	0					
	MAN.10	0					
	MAN.11	0					
RECICLAR, RECUPERAR E REMANUFATURAR (RRR)	RRR.1					100	75%
	RRR.2				75		
	RRR.3			50			
	RRR.4			50			
	RRR.5					100	
MELHORIA CONTÍNUA (MC)	MC1.		25				43%
	MC2.				75		
	MC3.			50			
	MC4.			50			
	MC5.			50			
	MC6.		25				
	MC7.		25				
NÍVEL DO FUNDAMENTO (%)				49,70%			
PONTUAÇÃO DO FUNDAMENTO				49,71 PONTOS			

FONTE: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR.

No resultado manufatura (MAN – 31%) e melhoria contínua (MC – 43%), a Empresa “B” os indicadores, confirmando a necessidade de estruturar a etapa N₁.

Com relação ao ponto reciclar, recuperar e reutilizar (RRR – 75%), fica demonstrado que, pelo modelo de negócio da Empresa “B” (fundição e usinagem) ela tem em sua cultura o reaproveitamento dos resíduos para uma nova fundição.

N₃ – RUMO A EC– Os resultados não medem apenas o desempenho do LM iniciam o aprofundamento na EC a partir dos fluxos de materiais e de água, mas também os resultados do projeto de produtos e serviços, instalações e equipamentos e uso de energia Quadro 36.

QUADRO 36 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DA ETAPA N₃ – RUMO A EC.

FUNDAMENTO		PONTUAÇÃO					NÍVEL DO ASPECTO (%)
RUMO A EC		NÃO REALIZA	INICIAL	EM DESENVOLVIMENTO	CONSOLIDADO	EXCELENTE	
ASPECTO	ITEM AVALIADO						
DESIGN (DES)	DES.1		25				43%
	DES.2			50			
	DES.3			50			
	DES.4			50			
	DES.5		25				
	DES.6			50			
	DES.7			50			
COLETA E DISPOSIÇÃO (CDI)	CDI.1		25				37,5%
	CDI.2				75		
	CDI.3			50			
	CDI.4		25				
	CDI.5	0					
	CDI.6			50			
MÉTODO CIRCULYRICS (MC)	MC.1		25				11%
	MC.2	0					
	MC.3		25				
	MC.4	0					
	MC.5	0					
	MC.6		25				
	MC.7	0					
INTEGRAÇÃO COM FORNECEDORES (IF)	IF1.			50			35%
	IF2.			50			
	IF3.		25				
	IF4.		25				
	IF5.		25				
NÍVEL DO FUNDAMENTO (%)				31,63%			
PONTUAÇÃO DO FUNDAMENTO				31,63 PONTOS			

FONTE: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR.

Nos itens design (DES – 43%) e coleta de disposição (CDI – 37,5%) necessitam de uma atenção, criando um sistema garanta que os produtos possam ser recuperados, remanufaturados ou reciclados.

Com relação ao método MCI “Circulytics” a Empresa “B” tem iniciado o estudo da viabilidade de integração dos conceitos de EC em seu processo produtivo, mais de forma incipiente.

Enquanto no quesito integração com fornecedores (IF – 35%), existe a necessidade de estabelecer um vínculo estratégico de forma a garantir uma estabilidade em médio e longo prazo.

A inclusão dos fornecedores na elaboração do planejamento de produção, facilitando a troca de informações entre as partes criando compromisso e a confiança na parceria e por consequência um ganho mútuo.

N₄ – Experts – Nesta etapa da avaliação, existe a busca por um sistema de gestão evoluído e o pleno atendimento às expectativas do LM e da EC, conforme o Quadro 37.

QUADRO 37 – RESULTADO DA AVALIAÇÃO DA ETAPA N₄ - EXPERTS

FUNDAMENTO EXPERTS		PONTUAÇÃO					NÍVEL DO ASPECTO (%)
ASPECTO	ITEM AVALIADO	NÃO REALIZA	INICIAL	EM DESENVOLVIMENTO	CONSOLIDADO	EXCELENTE	
PRODUÇÃO E ENTREGA JUST IN TIME (JIT)	JIT.1		25				40%
	JIT.2.		25				
	JIT.3			50			
	JIT4.		25				
	JIT5.				75		
SISTEMA DE INFORMAÇÃO FLEXÍVEL (SIF)	SFI1.		25				35%
	SFI2.		25				
	SFI3.			50			
	SFI4.		25				
	SFI5.			50			
EQUIPES MULTIFUNCIONAIS (EQM)	EQM1.			50			50%
	EQM2.			50			
	EQM3.			50			
	EQM4.			50			
	EQM5.			50			
NÍVEL DO FUNDAMENTO (%)		41,67%					
PONTUAÇÃO DO FUNDAMENTO		41,67 PONTOS					

FONTE: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR.

Nesta etapa (N₄), a Empresa “B” demonstra que tem algumas iniciativas dispersas em relação aos pontos JIT – 40% e SIF – 35% em relação às equipes

multifuncionais (EQM – 50%) existe a necessidade do aumento da capacidade de resposta, responsabilidade, produtividade e tomada de decisões. Além disso, como os membros da equipe veem de todos os níveis, existe a necessidade de um trabalho para o nivelamento dos conhecimentos e dos conjuntos de habilidades.

N₅ – Excelência em EC – Nesta etapa, a organização deveria estar com a sua capacidade de perseguir seus propósitos estratégicos e inserida em um ecossistema com os quais interage e dos quais depende, conforme Quadro 38.

QUADRO 38 – RESULTADO DA AVALIAÇÃO DA ETAPA N₅ – EXCELÊNCIA EM EC.

FUNDAMENTO		PONTUAÇÃO					NÍVEL DO ASPECTO (%)
EXCELÊNCIA EM ECONOMIA CIRCULAR		NÃO REALIZA	INICIAL	EM DESENVOLVIMENTO	CONSOLIDADO	EXCELENTE	
ASPECTO	ITEM AVALIADO						
TAXA DE SAÍDA DO RECURSO (TSR)	TSR1.			50			39%
	TSR2.		25				
	TSR3.		25				
	TSR4.	0					
	TSR5.					100	
	TSR6.		25				
	TSR7.		25				
	TSR8.		25				
DESCARTE DE RESÍDUOS E EMISSÃO DE POLUENTES (REP)	REP1.		25				50%
	REP2.			50			
	REP3.		25				
	REP4.					100	
NÍVEL DO FUNDAMENTO (%)		44,64%					
PONTUAÇÃO DO FUNDAMENTO		44,65 PONTOS					

FONTE: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR.

Nesta etapa, a Empresa “B” precisa encontrar formas inovadoras de produção e consumo, criando ferramentas internas que integrem seus processos com sociedade e atendam a demanda crescente por um produto/serviço mais integrados e explorando novos modelos de negócios, que considerem os diversos acordos internacionais e, ao mesmo tempo, promovam o desenvolvimento sustentável.

A terceira aplicação ocorreu em uma Empresa “C”, multinacional do setor automobilístico, de origem alemã com uma ampla competência em sistemas, que consiste em Sistemas e Componentes de Motores, Filtragem e Gerenciamento Térmico, o portfólio de produtos do grupo aborda todos os problemas cruciais

relacionados à tecnologia de transmissão e condicionamento de ar e oferece soluções de sistemas integrados para mobilidade elétrica. Com suas vendas girando em torno de 9.8 bilhões de euros, com cinco unidades de negócio, quatro *profit centers*, 72.184 colaboradores, 160 localidades de produção, 12 centros de P&D ao redor do mundo.

Na unidade onde foi aplicado o MACI, a empresa possui aproximadamente 2200 colaboradores diretos, localizada no interior do estado de São Paulo – Brasil e produz:

- Pistões e componentes de motores;
- Filtração e periféricos de motores;
- Sistemas de Trem de Válvulas – competência em trem de força;
- *Industry*: Soluções e produtos para aplicações industriais;
- Mecatrônica - componentes mecatrônicos para aplicações automotivas;
- Sistemas de admissão;

Devido ao fato de a Empresa “C” possuir muitas plantas, linhas e departamentos, três funcionários, em nível de decisão, participaram da avaliação: o supervisor da linha de usinagem, o engenheiro de processos e o gerente ambiental.

Iniciou-se a avaliação demonstrando a utilidade do MACI para todos os participantes da avaliação. Diferentemente das empresas “A” e “B”, nas quais havia apenas um avaliador, na Empresa “C” iniciou-se a Avaliação Diagnóstica (F₀) com a avaliação do gerente ambiental.

Realizada a avaliação, foi enviada a planilha para o supervisor e para o engenheiro de processo e, em conjunto, ambos fizeram a avaliação das Etapas (N₁, N₂, N₃) e nas (N₄) e (N₅) contou com o auxílio novamente do gerente ambiental, pois os indicadores apresentados eram organizacionais.

Seguindo os parâmetros estipulados no capítulo 4 iniciou-se com a Avaliação Diagnóstica (F₀) (Quadro 39).

QUADRO 39 – AVALIAÇÃO DO PERFIL ORGANIZACIONAL – EMPRESA “C”.

FUNDAMENTO		PONTUAÇÃO					NÍVEL DO ASPECTO (%)
PERFIL ORGANIZACIONAL		NÃO REALIZA	INICIAL	EM DESENVOLVIMENTO	CONSOLIDADO	EXCELENTE	
ASPECTO	ITEM AVALIADO						
MODELO DE NEGÓCIO	MN 1				75		90%
	MN 2					100	
	MN 3					100	
	MN 4				75		
	MN 5					100	
PARTES INTERESSADAS	PI 1					100	93%
	PI 2					100	
	PI 3				75		
	PI 4				75		
	PI 5					100	
	PI 6					100	
	PI 7					100	
	PI 8				75		
	PI 9					100	
	PI 10					100	
	PI 11					100	
NÍVEL DO FUNDAMENTO (%)		91,59%					
PONTUAÇÃO DO FUNDAMENTO		18,32 PONTOS					

FONTE: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR.

A empresa “C” no aspecto modelo de negócio (MN – 90%) está consolidada em estágio robusto e de constante evolução no seu sistema de gestão, demonstrando resultados positivos, competitividade e atendimento às expectativas das partes interessadas (PI – 93%). Atingindo 18,3 pontos (91,59%) dos vinte pontos estabelecidos para esse pilar.

Os resultados a Avaliação Global da EC são demonstrando no Quadro 40;

QUADRO 40 – AVALIAÇÃO GLOBAL DA EC – EMPRESA “C”.

FUNDAMENTO		PONTUAÇÃO					NÍVEL DO ASPECTO (%)
AVALIAÇÃO GLOBAL DA ECONOMIA CIRCULAR		NÃO REALIZA	INICIAL	EM DESENVOLVIMENTO	CONSOLIDADO	EXCELENTE	
ASPECTO	ITEM AVALIADO						
DESEMPENHO ECONÔMICO (DE)	DE 1				75		88%
	DE 2					100	
MATERIAIS (MP)	MP 1			50			58%
	MP 2				75		
	MP 3			50			
ENERGIA (EN)	EN 1			50			50%
GERAL (GE)	GE 1		25				69%
	GE 2				75		
	GE 3					100	
	GE 4				75		
SOCIAL (SD)	SD 1				75		75%
NÍVEL DO FUNDAMENTO (%)		67,92%					
PONTUAÇÃO DO FUNDAMENTO		27,17 PONTOS					

FONTE: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR.

Analisando os resultados, pode-se notar uma consolidação do desempenho econômico (DE – 88%) com espaço para explorar novas oportunidades. Com relação aos materiais (MP – 58%) a organização tem seus projetos elaborados em parceria com os clientes e sempre que possível envia sugestões para a readequação e a melhor utilização dos materiais utilizados nos produtos.

A empresa “C” no aspecto energia (EN - 50%) está em desenvolvimento, começando o estudo de viabilidade da implantação de sistemas fotovoltaico e a recuperação de calor dos fornos da fundição para geração de energia.

No aspecto Geral (GE – 69%), especificamente no GE1, a empresa faz uso desse modelo de negócio para a substituição da venda de um produto por sua locação, promovendo o uso de acordo com a necessidade em alguns segmentos da sua linha de filtragem. Mais na planta de autopeças isso ainda não foi efetivamente estudado.

Os resultados a Avaliação Global do LM da empresa “C” são demonstrando no Quadro 41.

QUADRO 41 – AVALIAÇÃO GLOBAL DO LM – EMPRESA “C”

FUNDAMENTO		PONTUAÇÃO					NÍVEL DO ASPECTO (%)	ASPECTO	ITEM	PONTUAÇÃO	NÍVEL DO ASPECTO (%)	PONTUAÇÃO	
AVALIAÇÃO GLOBAL DO LEAN MANUFACTURING		NÃO REALIZA	INICIAL	EM DESENVOLVIMENTO	CONSOLIDADO	EXCELENTE							
ASPECTO	ITEM AVALIADO												
ÉTICA ORGANIZACIONAL (EO)	EO 1					100	83%	SISTEMA DE INFORMAÇÃO (SI)	SI 1			100	
	EO 2					100			SI 2			50	100
	EO 3				75				SI 3				75
	EO 4					100			SI 4				100
	EO 5				75			RELAÇÃO CLIENTE / FORNECEDOR E ORGANIZAÇÃO (CF)	CF 1				100
	EO 6					100			CF 2			50	100
	EO 7			50					CF 3				75
	EO 8			50					CF 4				75
	EO 9							100	PRODUTO E GESTÃO DE PRODUTO (GP)	GP 1			75
	EO 10				75			GP 2				50	75
	EO 11				75			GP 3					100
	EO 12					100		GP 4					75
	EO 13				75			PROCESSO E FLUXO DE PROCESSO (FP)	FP 1				100
RH 1				75		FP 2					75		
RH 2					100	FP 3					75		
RH 3			50			FP 4					75		
RH 4				75		FP 5					100		
RH 5				75		FP 6					75		
RH 6				75		FP 7					100		
RH 7					100	FP 8					75		
RH 8					100	FP 9					75		
RH 9				75		FP 10					100		
RH 10				75		FP 11					75		
RH 11				75		FP 12					100		
RH 12				75		FP 13					100		
NÍVEL DO FUNDAMENTO (%)										79,25%			
PONTUAÇÃO DO FUNDAMENTO											31,7 PONTOS		

Fonte: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR.

Observa-se que todos os aspectos do LM têm seu posicionamento consolidado, destacando alguns pontos que estão em desenvolvimento.

Na ética organizacional (EO – 83%) – tem os esforços e o envolvimento da alta gerência junto ao sistema organizacional e ainda a contribuição da gerência em garantir o desempenho operacional analisando regularmente os resultados e comparando com as metas estabelecidas no planejamento estratégico. Os itens EO7 e EO8 devem criar um plano de ações que criem um programa de recompensas e avalie o desempenho individual a partir do progresso do LM.

Analisando o aspecto gestão de pessoas (RH – 79%) – verifica-se a necessidade dos treinamentos seja conduzida de forma integrada ao progresso do LM (RH3) enquanto os demais itens avaliados já foram consolidados e necessitam, em alguns casos, de refinamento e integração com a gestão estratégica.

No sistema de informação (SI – 81%) – constata-se a necessidade de a empresa garantir acesso seguro e estruturado às informações para toda a organização (SI2).

No elemento Relação Cliente/Fornecedor e Organização (CF – 75%) – existe a necessidade de estruturar um conjunto de diretrizes para estabelecer a relação de parceria entre fornecedor, organização e cliente, verificando o envolvimento

destes em áreas com o desenvolvimento de produtos (CF2), enquanto os outros itens já se encontram em um estágio robusto de evolução da gestão, demonstrando resultados, competitividade e atendimento às expectativas organizacionais.

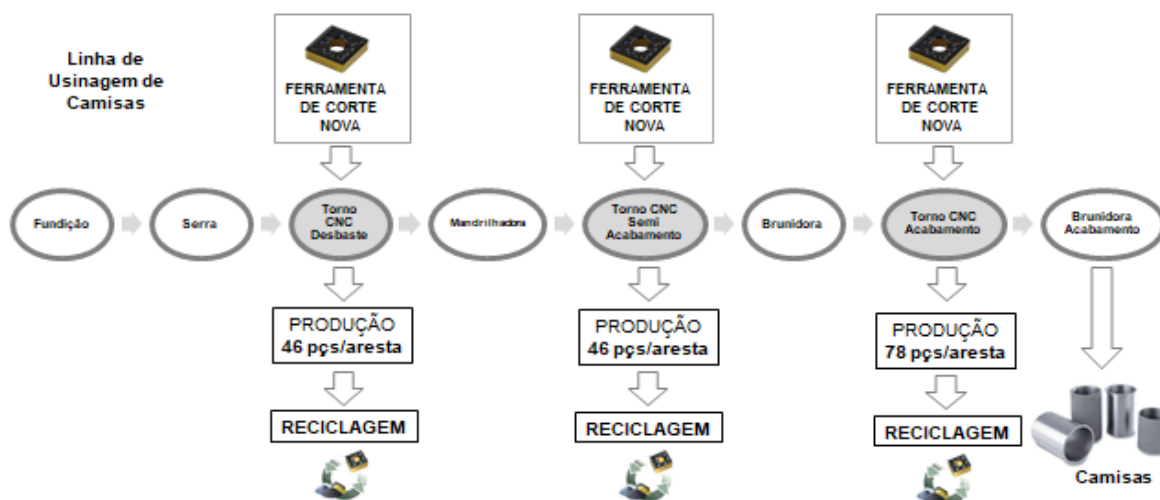
O aspecto produto e gestão do produto (GP) – atingiu um nível de 71% em relação a esse aspecto avaliado. Deve-se melhorar os itens GP3 e GP5 elementos cujo projeto de produtos e o planejamento dos processos devem realizados de acordo com a abordagem do ciclo de vida, em completa consonância os princípios do LM.

Produto e Fluxo de Processos (FP – 87%) – nesta última categoria, os elementos foram consolidados devendo aprimorar as práticas e ferramentas que auxiliem na orientação do fluxo de produção de maneira a integrar-se as necessidades dos clientes.

Coletadas as informações com a Avaliação Diagnóstica (F_0) de maneira a evidenciar problemas e oportunidades, além de permitir que os gestores tomem decisões estratégicas mais assertivas, sendo que essa ação deve ser executada sempre que necessitar de uma visão mais refinada das operações.

Dentre as inúmeras linhas de usinagem dentro da empresa “C”, a escolhida para fazer a avaliação dos Níveis de Implantação do MACI ($N_1...N_5$), produz camisas de cilindro em ferro fundido pelo processo de fundição por centrifugação. A variedade de diferentes tipos de ferro fundido cinzento não ligado, baixa liga ou alta liga, bem como diferentes técnicas de usinagem e tratamento térmico. A Figura 19, demonstra a condição atual da Linha de Usinagem de Camisas.

FIGURA 19 – LINHA DE USINAGEM DE CAMISAS.



FONTE: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR.

A fabricação das camisas ocorre em oito processos diferentes até a obtenção do produto. O MACI foi aplicado apenas na linha de usinagem, que correspondem a seis processos, tendo início no torno CNC (Comando Numérico Computadorizado) de desbaste e acabando na brunidora de acabamento.

N₁ – INICIANTE – a verificação e análise dos primeiros passos aplicáveis às organizações iniciam com a avaliação do processo de usinagem conforme os critérios indicados no Quadro 42.

QUADRO 42 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DA ETAPA N₁ – INICIANTE.

FUNDAMENTO		PONTUAÇÃO					NÍVEL DO ASPECTO (%)
INICIANTE		NÃO REALIZA	INICIAL	EM DESENVOLVIMENTO	CONSOLIDADO	EXCELENTE	
ASPECTO	ITEM AVALIADO						
ÍNDICE DE PRODUÇÃO (IP)	IP.1					100	100%
	IP.2					100	
	IP.3					100	
	IP.4					100	
	IP.5					100	
ÍNDICE DE USINAGEM (IU)	IU.1				75		85%
	IU.2					100	
	IU.3					100	
	IU.4					100	
	IU.5			50			
CONDIÇÃO DE CORTE (CC)	CC.1					100	100%
	CC.2					100	
	CC.3					100	
	CC.4					100	
	CC.5					100	
PROCESSO DE USINAGEM (PU)	PU.1				75		90%
	PU.2				75		
	PU.3					100	
	PU.4					100	
	PU.5					100	
	PU.6				75		
	PU.7					100	
	PU.8				75		
	PU.9					100	
	PU.10					100	
RECICLAGEM (RE)	RE.1				75		85%
	RE.2				75		
	RE.3					100	
	RE.4				75		
	RE.5					100	
INDICADORES DE ELIMINAÇÃO DE ATIVIDADES DE VALOR ZERO (EF)	EF1.					100	90%
	EF2.				75		
	EF3.					100	
	EF4.				75		
	EF5.					100	
NÍVEL DO FUNDAMENTO (%)		91,67%					
PONTUAÇÃO DO FUNDAMENTO		91,67 PONTOS					

FONTE: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR.

Os aspectos avaliados na linha analisada estão totalmente consolidados e em muitos itens o sistema de gestão está bem evoluído, demonstrando excelência no desempenho, competitividade e pleno atendimento às necessidades das partes interessadas, atingindo um nível N₁ um patamar no fundamento de 91,67%.

O controle da integridade superficial IU5 só é solicitado pôr em alguns fabricantes de produtos a maioria dos outros produtos não solicitam essa análise de qualidade.

N₂ – INTERMEDIÁRIO – A avaliação do processo de usinagem conforme os critérios indicados no Quadro 43

QUADRO 43 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DA ETAPA N₂ – INTERMEDIÁRIO

FUNDAMENTO		PONTUAÇÃO					
INTERMEDIÁRIO		NÃO REALIZA	INICIAL	EM DESENVOLVIMENTO	CONSOLIDADO	EXCELENTE	NÍVEL DO ASPECTO (%)
ASPECTO	ITEM AVALIADO						
MANUFATURA (MAN)	MAN.1			50			80%
	MAN.2					100	
	MAN.3					100	
	MAN.4			50			
	MAN.5				75		
	MAN.6				75		
	MAN.7				75		
	MAN.8					100	
	MAN.9				75		
	MAN.10					100	
	MAN. 11				75		
RECICLAR, RECUPERAR E REMANUFATURAR (RRR)	RRR.1				75		70%
	RRR.2			50			
	RRR.3			50			
	RRR.4				75		
	RRR.5					100	
MELHORIA CONTÍNUA (MC)	MC1.				75		89%
	MC2.				75		
	MC3.					100	
	MC4.					100	
	MC5.					100	
	MC6.				75		
	MC7.					100	
NÍVEL DO FUNDAMENTO (%)		79,61%					
PONTUAÇÃO DO FUNDAMENTO		79,62 PONTOS					

FONTE: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR.

Assim como na etapa N₁, a Empresa “C” está com o nível consolidado na maioria dos itens avaliados os itens MAN1 e MAN4 focam na eficiência energética e na recuperação da energia, a organização está fazendo um trabalho de viabilidade técnica e financeira conforme explanado na avaliação global da EC (Quadro 40).

Os itens RR2 e RR3, processo de conservação de produto (*downcycling*) e a política de trabalhar com materiais em cascata necessitam de projeto de *Kaizen* para ser desenvolvidos na organização.

N₃ – RUMO A EC – Nesta etapa, os resultados não medem apenas o desempenho do LM iniciam o aprofundamento na EC a partir dos fluxos de

materiais e de água, mas também os resultados do projeto de produtos e serviços, instalações e equipamentos e uso de energia, conforme o Quadro 44.

QUADRO 44 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DA ETAPA N₃ – RUMO A EC.

FUNDAMENTO RUMO A EC		PONTUAÇÃO					NÍVEL DO ASPECTO (%)
ASPECTO	ITEM AVALIADO	NÃO REALIZA	INICIAL	EM DESENVOLVIMENTO	CONSOLIDADO	EXCELENTE	
DESIGN (DES)	DES.1			50			86%
	DES.2				75		
	DES.3					100	
	DES.4					100	
	DES.5					100	
	DES.6					100	
	DES.7				75		
COLETA E DISPOSIÇÃO (CDI)	CDI.1				75		75%
	CDI.2		25				
	CDI.3					100	
	CDI.4			50			
	CDI.5					100	
	CDI.6					100	
MÉTODO CIRCUYTICS (MC)	MC.1		25				46%
	MC.2			50			
	MC.3			50			
	MC.4			50			
	MC.5			50			
	MC.6				75		
	MC.7		25				
INTEGRAÇÃO COM FORNECEDORES (IF)	IF1.					100	95%
	IF2.					100	
	IF3.					100	
	IF4.					100	
	IF5.				75		
NÍVEL DO FUNDAMENTO (%)		75,54%					
PONTUAÇÃO DO FUNDAMENTO		75,54 PONTOS					

FONTE: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR.

Nos itens design (DES – 86%), demonstrou um aspecto consolidado e com relação (DES1) a maioria dos projetos são desenvolvidos em parceria com as montadoras que hoje são responsáveis pela análise do ciclo de vida do produto e coleta de disposição (CDI – 75%) também consolidado, mas necessitam de uma atenção (CDI1), criando um sistema garantido que os produtos possam ser recuperados, remanufaturados ou reciclados.

Com relação ao método MCI “Circulytics”, a empresa “C” tem iniciado o estudo da viabilidade de integração dos conceitos de EC em seu processo produtivo, tendo em vista que a matriz da empresa já iniciou a adoção dos princípios da EC

em sua planta na Alemanha, fazendo necessário um plano de ação para que os princípios, técnicas e ferramentas sejam implementadas no processo produtivo.

Enquanto no quesito integração com fornecedores (IF – 95%) a avaliação é excelente existindo a necessidade de um refinamento no vínculo estratégico de forma a garantir uma estabilidade em médio e longo prazo.

A inclusão dos fornecedores na elaboração do planejamento de produção, facilitando a troca de informações (IF5) entre as partes criando compromisso e a confiança na parceria e por consequência um ganho mútuo.

N₄ – Experts – Nesta etapa da avaliação, existe a busca por um sistema de gestão evoluído e o pleno atendimento às expectativas do LM e da EC, de acordo com o Quadro 45.

QUADRO 45 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DA ETAPA N₄ – EXPERTS.

FUNDAMENTO		PONTUAÇÃO					NÍVEL DO ASPECTO (%)
EXPERTS		NÃO REALIZA	INICIAL	EM DESENVOLVIMENTO	CONSOLIDADO	EXCELENTE	
ASPECTO	ITEM AVALIADO						
PRODUÇÃO E ENTREGA JUST IN TIME (JIT)	JIT.1					100	90%
	JIT.2.				75		
	JIT.3					100	
	JIT4.				75		
	JIT5.					100	
SISTEMA DE INFORMAÇÃO FLEXÍVEL (SIF)	SFI1.					100	85%
	SFI2.				75		
	SFI3.					100	
	SFI4.				75		
	SFI5.				75		
EQUIPES MULTIFUNCIONAIS (EQM)	EQM1.					100	100%
	EQM2.					100	
	EQM3.					100	
	EQM4.					100	
	EQM5.					100	
NÍVEL DO FUNDAMENTO (%)		91,67%					
PONTUAÇÃO DO FUNDAMENTO		91,67 PONTOS					

FONTE: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR.

Nesta etapa (N₄) a Empresa “C” demonstra que ter os itens consolidados em relação aos pontos JIT – 90% e SIF – 85% em relação às equipes multifuncionais (EQM – 100%) não existe a necessidade do aumento da capacidade de

resposta, responsabilidade, produtividade e tomada de decisões apenas um aprimoramento e aperfeiçoamento à medida que o processo produtivo evolui.

N₅ – Excelência em EC – Nesta etapa espera-se que a organização esteja com à sua capacidade de perseguir seus propósitos estratégicos, e inserida em um ecossistema com os quais interage e dos quais depende (Quadro 46).

QUADRO 46 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DA ETAPA N₅ – EXCELÊNCIA EM EC.

FUNDAMENTO		PONTUAÇÃO					
EXCELÊNCIA EM ECONOMIA CIRCULAR		NÃO REALIZA	INICIAL	EM DESENVOLVIMENTO	CONSOLIDADO	EXCELENTE	NÍVEL DO ASPECTO (%)
ASPECTO	ITEM AVALIADO						
TAXA DE SAÍDA DO RECURSO (TSR)	TSR1.				75		88%
	TSR2.					100	
	TSR3.					100	
	TSR4.					100	
	TSR5.					100	
	TSR6.			50			
	TSR7.				75		
	TSR8.					100	
DESCARTE DE RESÍDUOS E EMISSÃO DE POLUENTES (REP)	REP1.				75		81%
	REP2.					100	
	REP3.					100	
	REP4.			50			
NÍVEL DO FUNDAMENTO (%)		84,38%					
PONTUAÇÃO DO FUNDAMENTO		84,38 PONTOS					

FONTE: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR.

Concluindo a avaliação, a Empresa “C” mantém as taxas de saída de recursos em uma escala evolutiva bem consolidada, precisando desenvolver o item TSR6 em que se faz necessário um olhar do consumo energético levando em consideração o PIB (Produto Interno Bruto).

Nas saídas dos recursos minerais utilizados (REP4), existe a necessidade de desenvolver uma análise que leve em consideração os recursos minerais “virgens” com a integração com os recursos minerais reciclados e reutilizados e como isso afeta o desempenho do produto

Após a conclusão das partes do MACI, originou-se a ideia de um piloto para ser implementado como teste na linha de camisas, nesta aplicação, a princípio, espera-se:

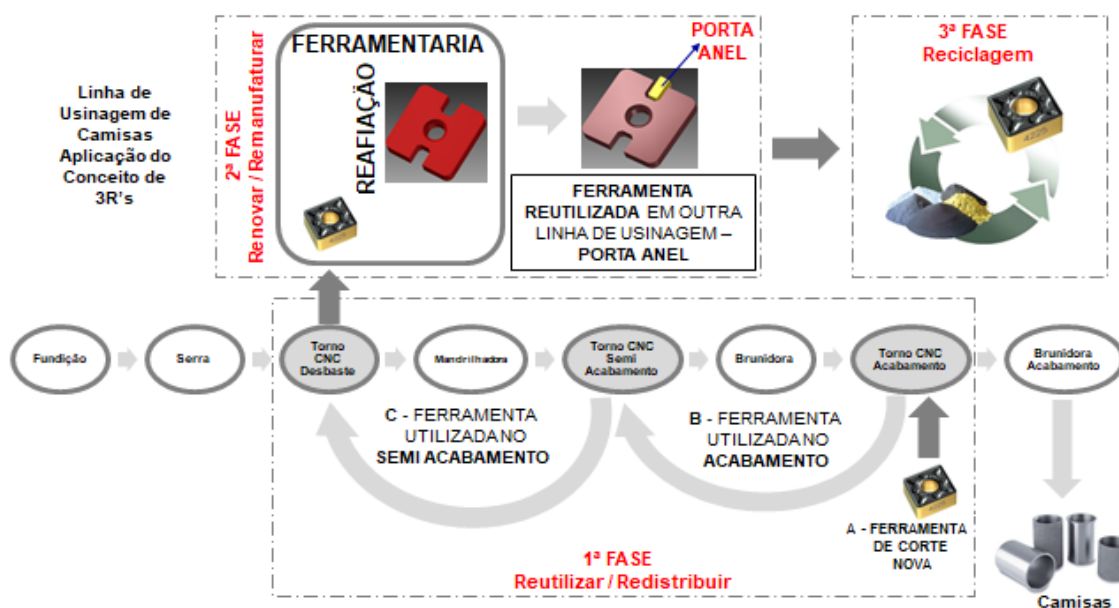
- Aumentar a vida útil das ferramentas de corte, atendendo a melhoria RE2 apresentada no Quadro 42;
- Aplicar o 3R's nos tornos CNC;
- Substituir uma ferramenta especial, utilizada na linha de porta anéis, por uma ferramenta remanufaturada, atendendo a melhoria RE4 apresentada no Quadro 42; e
- Reduzir a quantidade de ferramentas armazenadas para a reciclagem, facilitando o gerenciamento dos resíduos (ferramenta de corte) após a conclusão do processo de usinagem, atendendo a melhoria EF2 apresentada no Quadro 42.

A aplicação contou com o apoio do gerente ambiental da empresa, com o engenheiro de processos responsável pela linha de usinagem de camisas, e a colaboração dos operadores de máquinas.

Observando a Figura 18, em cada estação de trabalho (torno CNC) entrava uma ferramenta nova que, após ser utilizada, era enviada para a reciclagem.

Aplicação (ii) - Na segunda etapa, todos os colaboradores da linha passaram por um treinamento de 4 horas abordando os temas - Método 3R; EC e sua aplicação no processo produtivo. Após o treinamento, foi aplicado o projeto em 3 fases (Figura 20) – (1ª) Reuso / Redistribuir; (2ª) Remanufatura / Renovar; (3ª) Reciclagem.

FIGURA 20 - CONDIÇÃO DA LINHA APÓS A APLICAÇÃO DA EC INICIANDO COM O MÉTODO 3R.



FONTE: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR.

Com a aplicação dos conceitos de 3R na linha de usinagem de camisas obteve-se:

- 1ª Fase – (I) Entrada da ferramenta “NOVA” na operação de acabamento, não atingindo mais a rugosidade superficial estabelecida pelo processo produtivo e pelo controle de qualidade a ferramenta é redistribuída e reutilizada na operação (b) de Semi acabamento, após não mais atingir a rugosidade estabelecida a ferramenta é redistribuída e reutilizada na operação (c) de desbaste, atendendo a melhoria RR3 apresentada no Quadro 43;
- 2ª Fase – As ferramentas (insertos) que chegaram na operação de desbaste e não atingem a rugosidade são enviadas para a ferramentaria, onde são reafiadas dando origem a uma nova ferramenta que será utilizada em uma outra linha de usinagem – chamada de porta anel, atendendo a melhoria RR2 apresentada no Quadro 43; e
- 3ª Fase – As ferramentas são armazenadas em tambores para serem enviadas para uma empresa que faz a reciclagem dos inserts. Reduzindo assim a necessidade de retirada de novos materiais da natureza.

Os principais resultados obtidos em cada uma das fases:

A linha de Usinagem das Camisas, baseada na Economia Linear apresentou os seguintes dados:

- Torno de Acabamento – produção de 78 peças / aresta de corte;
- Torno de Semi Acabamento - produção de 46 peças / aresta de corte;
- Torno de Desbaste - produção de 46 peças / aresta de corte, ao final de todas as operações as ferramentas eram enviadas para a reciclagem.

A aplicação proposta, baseada na EC, proporcionou um aumento da quantidade de peças produzidas por aresta de corte:

- Na operação de acabamento a quantidade de peças produzidas não foi modificada – 78 peças/ aresta;
- Ao redistribuir e reutilizar a mesma ferramenta na operação de semi desbaste a mesma ferramenta produziu mais 32 peças/aresta;
- Novamente redistribuindo e reutilizando na operação de desbaste a mesma ferramenta produziu mais 16 peças/ aresta;
- Com a aplicação proposta baseada na economia circular (3R) a ferramenta produziu um total de 126 peças/aresta, demonstrando um aumento de 61,9% na vida útil da ferramenta, apenas na 1ª Fase.

Na 2ª fase, a ferramenta, após ser remanufaturada, apresentou os seguintes resultados:

- Substituiu uma ferramenta especial, utilizada na linha de porta anéis;
- Produziu mais 80 peças em outra linha de produção (porta anel);
- Retirou uma ferramenta do estoque.

Assim, pode-se observar que na 3ª fase (reciclagem), as ferramentas foram descartadas após produzirem 206 peças (1ª Fase + 2ª Fase), contra 78 peças produzidas no modelo de produção linear. Observando-se que nenhum dos parâmetros de produção foram modificados para essa aplicação.

Na 3ª Fase, reduziu-se a quantidade de ferramentas armazenadas para a reciclagem, melhorando o gerenciamento dos resíduos (ferramenta de corte) após a conclusão do processo de usinagem.

Outros pontos de possíveis ganhos no processo produtivo dessa linha, para serem executados:

- Energia;
 - Esteira funcionando enquanto a linha está parada;
 - Luzes da bancada de inspeção ligadas 24h, deveria existir um sensor de presença que ligue quando o operador for fazer a inspeção e desligue automaticamente assim que ele concluir o trabalho;
 - Controle das funções Miscelâneas de forma automática nos equipamentos CNC: (a) Luz; (b) contra ponta; (c) desligamento da bomba de fluido refrigerante automaticamente;
- Ferramenta de corte
 - Reafiação das arestas de corte para um aumento da vida útil da ferramenta após o processo de redistribuição;
- Material
 - Aplicar um NNS – *Near Net Shape* – menor sobremetal nas peças fundidas;
 - Melhorar a qualidade superficial das peças fundidas para reduzir o lascamento das ferramentas no torno de desbaste.

O uso do MACI tem um aspecto positivo que é a flexibilidade. Se o ambiente de negócios ou as exigências ambientais mudarem, o modelo pode mudar, variando as ponderações, retirando e acrescentando indicadores ou construtos. O mesmo vale para a Avaliação Diagnóstica (F_0).

Por exemplo, no aspecto energia avaliado na empresa “C”, pode-se confirmar a necessidade de um projeto para a utilização de energia renovável, direcionando a tomada de decisão que hoje está focada na gestão de resíduos sólidos, efluentes líquidos ou gestão interna e atendimento à legislação e certificações, para o aspecto avaliado.

Além de priorizar ações e apoiar a tomada de decisão, o MACI pode ser útil para comparações entre operações e pode servir como elo de realimentação para a execução de uma estratégia ambiental. À medida que esta vai sendo executada, o modelo vai informando o quanto avança o resultado e que trocas ou realocações de recursos entre objetivos podem ser favoráveis para o desempenho organizacional.

6. CONCLUSÃO

Este capítulo apresenta as conclusões do estudo elaborado e sugestões de pesquisas futuras.

Diante dos desafios atuais da humanidade, a EC está se tornando um conceito global contendo elementos importantes que podem ser aplicados nas diferentes áreas do conhecimento, integrada às bases e aos ganhos já estabelecidos pelo LM, podendo completar e fortalecer a sustentabilidade nos processos de usinagem.

O objetivo desse trabalho foi criar um modelo de avaliação de uma linha de usinagem integrando o LM e EC para que contribuam para as empresas aferirem seu desempenho sustentável confrontando com suas práticas quotidianas.

Esse objetivo foi atendido plenamente, fazendo parte da composição do modelo denominado MACI uma revisão dos conceitos e indicadores da EC e do LM, já propostos na literatura, além de teste de aplicação em três empresas de manufatura. Portanto, esse estudo é exploratório e limitado a processos de usinagem e ainda não é prudente a aplicação direta a outras atividades ou processos.

Como o resultado oferecido pelo MACI é estruturado (0 a 100%), é possível formar uma série histórica do desempenho ambiental de um processo de usinagem.

Foram realizadas três aplicações do MACI em empresas com processos de usinagem. As duas primeiras aplicações do MACI demonstraram que existe uma grande oportunidade de ampliar o potencial dos processos de usinagem, contribuindo para o desenvolvimento dos negócios e para sua competitividade com sustentabilidade. Na terceira aplicação, utilizou-se a metodologia 3Rs, para melhorar o desempenho de alguns itens avaliados. Obteve-se um aumento no tempo de vida útil da ferramenta de corte na ordem de 61,9%, uma redução no

volume de ferramentas de corte para a reciclagem e o reaproveitamento da ferramenta para outro processo, aumentando assim, a vida útil da ferramenta.

O MACI tem uma contribuição prática, pois permite que as empresas abordem, de forma conjunta, a integração entre a EC e o LM; por permitir que as empresas usuárias deste modelo identifiquem o estágio de implantação da Economia Circular em que se encontram, ou seja, permitir traçar a partir de um diagnóstico sua atual situação e por fornecer um panorama das práticas da empresa voltadas para a Economia Circular e o *Lean Manufacturing*.

Além disso, esta pesquisa contribuiu também para o conhecimento científico-acadêmico por:

- preencher uma lacuna de pesquisa ao integrar a Economia Circular, o *Lean Manufacturing* para ampliar e desenvolver o campo de pesquisa entre os conceitos no que tange a avaliação do processo de usinagem;
- contribuir para o aprimoramento dos processos de usinagem tornando-os mais sustentáveis;
- fortalecer a relação existente entre a Economia Circular e o *Lean Manufacturing*, promovendo novos modelos de gestão dentro do ecossistema organizacional;
- contribuir para a propagação da Economia Circular, visto ser um conceito ainda pouco explorado pela sociedade.

6.1 PROPOSTA PARA TRABALHOS FUTUROS

Considera-se que o modelo MACI é uma proposta que servirá como apoio para o desenvolvimento de pesquisas futuras. Sendo assim, são apresentadas as seguintes sugestões para trabalhos futuros:

- Como os critérios de desempenho das práticas LM e EC podem ser aplicados a todo ecossistema organizacional?

- Como a estrutura de avaliação integrada do LM e da EC poderia ser adaptada a outros contextos organizacionais?
- Como embasar na teoria dos *stakeholders* (Freeman, 1984), os conceitos integrados do LM e da EC para facilitar a integração entre organizações, fornecedores e clientes?
- Como a integração entre os conceitos da EC e do LM podem favorecer a criação de uma agenda de políticas públicas nacionais e internacionais favorecendo as organizações engajadas no pensamento sustentável?

Para a indústria brasileira, a integração entre a EC e LM representa uma grande oportunidade de ampliar o potencial dos processos de usinagem, contribuindo para a resiliência dos negócios e para sua competitividade com sustentabilidade.

Por fim, o MACI propõe-se auxiliar na transição para uma Economia Circular e o Brasil deverá desenvolver as condições de inovação para o desenvolvimento e crescimento dos Sistemas de Negócios Circulares.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALLAH, Ayman Bahjat; DAHIYAT, Samer Eid; MATSUI, Yoshiki. Lean management and innovation performance: Evidence from international manufacturing companies. **Management Research Review**, 2018.

ABNT. NBR 10004: resíduos sólidos. Rio de Janeiro: [s.n.].

ABUALFARAA, Wadhah et al. Lean-green manufacturing practices and their link with sustainability: a critical review. **Sustainability**, v. 12, n. 3, p. 981, 2020.

AGGARWAL, Ruchi et al. Bitter apple peel derived photoactive carbon dots for the sunlight induced photocatalytic degradation of crystal violet dye. **Solar Energy**, v. 197, p. 326-331, 2020.

AGOSTINHO, Oswaldo Luis; VILELLA, Ronaldo Castro; BUTTON, Sérgio Tonini. Processos de fabricação e planejamento de processos. **Unicamp, Faculdade de Engenharia Mecânica, Introdução à Engenharia de Fabricação**, 2004.

AGYABENG-MENSAH, Yaw et al. Organisational identity and circular economy: Are inter and intra organisational learning, lean management and zero waste practices worth pursuing?. **Sustainable Production and Consumption**, v. 28, p. 648-662, 2021.

ALAERTS, Luc et al. Towards a more direct policy feedback in circular economy monitoring via a societal needs perspective. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 149, p. 363-371, 2019.

ÁLVAREZ, M. Estela Peralta; BÁRCENA, Mariano Marcos; GONZÁLEZ, Francisco Aguayo. On the sustainability of machining processes. Proposal for a unified framework through the triple bottom-line from an understanding review. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 3890-3904, 2017.

AMJAD, Muhammad Saad; RAFIQUE, Muhammad Zeeshan; KHAN, Mohammad Aamir. Leveraging Optimized and Cleaner Production through Industry 4.0. **Sustainable Production and Consumption**, v. 26, p. 859-871, 2021.

ANDERSEN, Mikael Skou. An introductory note on the environmental economics of the circular economy. **Sustainability science**, v. 2, n. 1, p. 133-140, 2007.

ANDERSSON, Roy; MANFREDSSON, Peter; LANTZ, Björn. Total productive maintenance in support processes: an enabler for operation excellence. **Total Quality Management & Business Excellence**, v. 26, n. 9-10, p. 1042-1055, 2015.

ANDREADIS, Eleftherios; GARZA-REYES, Jose Arturo; KUMAR, Vikas. Towards a conceptual framework for value stream mapping (VSM) implementation: an investigation of managerial factors. **International Journal of Production Research**, v. 55, n. 23, p. 7073-7095, 2017.

ARLINDO et al., (Eds.) - LUZ, Beatriz. TEIXEIRA, Cláudia Echevengúá. Gestão de ciclo de vida como diferencial. In: PHILIPPI JR., Arlindo et al., (Eds.) **Gestão empresarial e sustentabilidade**. Barueri: Manole, 2017. Cap.16. p.403-426

AURDAHL, Irina. **Adopting circular economy principles in supply chain management of organizations: reverse logistics**. 2016. Dissertação de Mestrado. Nord universitet.

AVANCINI, Paulo Roberto. - **Proposta de um Método de Gestão de Manufatura Sustentável por meio da integração de práticas Lean e Green Manufacturing**. 2019. Tese de Doutorado. Universidade Metodista de Piracicaba.

AWAN, Usama; SROUFE, Robert; SHAHBAZ, Muhammad. Industry 4.0 and the circular economy: A literature review and recommendations for future research. **Business Strategy and the Environment**, v. 30, n. 4, p. 2038-2060, 2021.

BELHADI, Amine et al. The integrated effect of Big Data Analytics, Lean Six Sigma and Green Manufacturing on the environmental performance of manufacturing companies: The case of North Africa. **Journal of Cleaner Production**, v. 252, p. 119903, 2020.

BELHADI, Amine; TOURIKI, Fatima Ezahra; EL FEZAZI, Said. Benefits of adopting lean production on green performance of SMEs: a case study. **Production Planning & Control**, v. 29, n. 11, p. 873-894, 2018.

BERGSMA, G. C. et al. **Evaluation of Dutch National Waste Management Plans 1 and 2 (Evaluatie Landelijk Afvalbeheerplan (LAP))**. CE Delft, 2014.

BIGGS, Claire. **Exploration of the integration of Lean and environmental improvement**. 2009.

BJØRNBET, Marit Moe et al. Circular economy in manufacturing companies: A review of case study literature. **Journal of Cleaner Production**, p. 126268, 2021.

BOCKEN, N. et al. A value mapping tool for sustainable business modelling. *Corporate Governance: The international journal of business in society*, v. 13, n. 5, p. 482–497, 14 out. 2013.

BOCKEN, N. M. P. et al. A literature and practice review to develop sustainable business model archetypes. **Journal of Cleaner Production**, v. 65, p. 42–56, 15 fev. 2014.

BOCKEN, N. M. P.; SCHUIT, C. S. C.; KRAAIJENHAGEN, C. Experimenting with a circular business model: Lessons from eight cases. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, v. 28, p. 79–95, 1 set. 2018.

BORGES, Douglas Silva. **OTIMIZAÇÃO E GERENCIAMENTO DOS PARÂMETROS DE CORTE EM USINAGEM**. 2019.

BRAGLIA, Marcello; FROSOLINI, Marco; GALLO, Mosè. SMED enhanced with 5-Whys Analysis to improve set-upreduction programs: the SWAN approach. **The**

International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 90, n. 5, p. 1845-1855, 2017.

BRAUNGART, Michael; MCDONOUGH, William. **Cradle to cradle**. Random House, 2009.

BS 8001: 2017 – **“Framework for implementing the principles of the circular economy in organizations – Guide”**

CAMPOS, Lucila MS; VAZQUEZ-BRUST, Diego A. Lean and green synergies in supply chain management. **Supply Chain Management: An International Journal**, 2016.

CARTER, Neil. *The politics of the environment: Ideas, activism, policy*. Cambridge University Press, 2018.

CASTRO, Thiago Morais de. **Solidificação/estabilização do lodo gerado no tratamento de efluente de lavanderia industrial têxtil em blocos cerâmicos acústicos e seu desempenho em câmara reverberante**. 2010. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá.

CAYZER, Steve; GRIFFITHS, Percy; BEGHETTO, Valentina. Design of indicators for measuring product performance in the circular economy. **International Journal of Sustainable Engineering**, v. 10, n. 4-5, p. 289-298, 2017.

CENTOBELLI, Piera et al. The impact of leanness and innovativeness on environmental and financial performance: Insights from Indian SMEs. **International Journal of Production Economics**, v. 212, p. 111-124, 2019.

CEZAR LUCATO, W. et al. Performance evaluation of lean manufacturing implementation in Brazil. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 63, n. 5, p. 529–549, 3 jun. 2014.

CHÁVEZ, Clarissa A. González et al. Circular lean product-service systems design: A literature review, framework proposal and case studies. **Procedia CIRP**, v. 83, p. 419-424, 2019.

CILIBERTO, Cristina et al. Enabling the Circular Economy transition: a sustainable lean manufacturing recipe for Industry 4.0. **Business Strategy and the Environment**, 2021.

COOPER, Timothy. Peter Lund Simmonds and the political ecology of 'waste utilisation' in Victorian Britain. **Technology and culture**, v. 52, n. 1, p. 21, 2011.

DA SILVA, Aneirson Francisco et al. Improving manufacturing cycle efficiency through new multiple criteria data envelopment analysis models: an application in green and lean manufacturing processes. **Production Planning & Control**, v. 32, n. 2, p. 104-120, 2021.

DANIYAN, Ilesanmi et al. Review of life cycle models for enhancing machine tools sustainability: lessons, trends and future directions. **Heliyon**, v. 7, n. 4, p. e06790, 2021.

DE OLIVEIRA, Carla Tognato; DANTAS, Thales Eduardo Tavares; SOARES, Sebastião Roberto. Nano and micro level circular economy indicators: Assisting decision-makers in circularity assessments. **Sustainable Production and Consumption**, 2020.

DE OLIVEIRA, Rosenira Izabel; SOUSA, Sammya Oliveira; DE CAMPOS, Fernando Celso. Lean manufacturing implementation: bibliometric analysis 2007–2018. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 101, n. 1, p. 979-988, 2019.

DE SOUSA JABBOUR, Ana Beatriz Lopes et al. Industry 4.0 and the circular economy: a proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations. **Annals of Operations Research**, v. 270, n. 1, p. 273-286, 2018.

DE SOUZA, Leonardo Faustino Lacerda; PAES, Marcos Diego Albuquerque Costa; TIBA, CHIGUERU. ANÁLISE FINANCEIRA DA PRODUÇÃO

COMBINADA DE ELETRICIDADE E CALOR DE PROCESSO INDUSTRIAL COM ENERGIA SOLAR. In: **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS 2018**. 2020.

DESHPANDE, Paritosh C. et al. Multi-criteria decision analysis (MCDA) method for assessing the sustainability of end-of-life alternatives for waste plastics: A case study of Norway. **Science of the Total Environment**, v. 719, p. 137353, 2020.

DINIZ, A. E., MARCONDES, F. C., COPPINI, N. L., (2001). “**Tecnologia da Usinagem dos Metais**”, Artliber, São Paulo.

DORNFELD, David et al. Introduction to green manufacturing. In: **Green Manufacturing**. Springer, Boston, MA, 2013. p. 1-23.

DUARTE, Susana; CRUZ-MACHADO, V. Modelling lean and green: a review from business models. **International Journal of Lean Six Sigma**, 2013.

DÜES, Christina Maria; TAN, Kim Hua; LIM, Ming. Green as the new Lean: how to use Lean practices as a catalyst to greening your supply chain. **Journal of cleaner production**, v. 40, p. 93-100, 2013.

ELIA, V.; GNONI, M. G.; TORNESE, F. Measuring circular economy strategies through index methods: A critical analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 2741-2751, 2017.

EMF. Rumo à economia circular: o racional de negócio para acelerar a transição. **Ellen Macarthur Foundation**, 2015.

EMF. Towards the circular economy. Vol.2: Opportunities for the consumer goods sector. **Ellen Macarthur Foundation**, 2013.

EMF. Towards the circular economy. Vol. 1: Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition. **Ellen Macarthur Foundation**, 2012.

EMF. Towards the circular economy. Vol.3: Accelerating the scale-up across global supply chains. **Ellen Macarthur Foundation**, 2014.

EMILIANI, M. L.; EMILIANI, Michael. Music as a framework to better understand Lean leadership. **Leadership & Organization Development Journal**, 2013.

ENYOGHASI, Christian; BADURDEEN, Fazleena. Industry 4.0 for sustainable manufacturing: Opportunities at the product, process, and system levels. **Resources, conservation and recycling**, v. 166, p. 105362, 2021.

EPA, United States Environmental Protection Agency, (2009). **Lean Manufacturing and the Environment: Research on Advanced Manufacturing Systems and the Environment and Recommendations for Leveraging Better Environmental Performance**. Available at: <http://www.epa.gov/lean/environment/toolkits/index.htm> (acessado em 20/08/2020).

ERCEG, Olgica; MARGETA, Jure. Selection of food waste management option by promethee method. **Advances in Civil and Architectural Engineering**, v. 10, n. 19, p. 87-97, 2019

ESMAEILIAN, Behzad; BEHDAD, Sara; WANG, Ben. The evolution and future of manufacturing: A review. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 39, p. 79-100, 2016.

ESPOSITO, Mark; TSE, Terence; SOUFANI, Khaled. Introducing a circular economy: New thinking with new managerial and policy implications. **California Management Review**, v. 60, n. 3, p. 5-19, 2018.

FARIAS, L. M. S. et al. Criteria and practices for lean and green performance assessment: Systematic review and conceptual framework. **Journal of Cleaner Production**, v. 218, p. 746–762, 1 maio 2019.

FAULKNER, William; BADURDEEN, Fazleena. Sustainable Value Stream Mapping (Sus-VSM): methodology to visualize and assess manufacturing sustainability performance. **Journal of cleaner production**, v. 85, p. 8-18, 2014.

FERRARESI, D., 1977, “**Fundamentos da Usinagem dos Metais**”, Ed. Edgard Blücher, São Paulo, Brasil, 751 p

FERRARESI, Dino. **Fundamentos da usinagem dos metais**. Editora Blücher, 2018.

FERRONATO, Navarro et al. How to improve recycling rate in developing big cities: An integrated approach for assessing municipal solid waste collection and treatment scenarios. **Environmental Development**, v. 29, p. 94-110, 2019.

FIKSEL, Joseph; SANJAY, Praveena; RAMAN, Kavya. Steps toward a resilient circular economy in India. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 23, n. 1, p. 203-218, 2021.

FITZPATRICK, Michael. **Introdução aos processos de usinagem**: Série Tekne. Bookman Editora, 2013.

FOGARASSY, Csaba; FINGER, David. Theoretical and practical approaches of circular economy for business models and technological solutions. **Resources**, v. 9, n. 6, p. 76, 2020.

FRANKLIN-JOHNSON, Elizabeth; FIGGE, Frank; CANNING, Louise. Resource duration as a managerial indicator for Circular Economy performance. **Journal of Cleaner Production**, v. 133, p. 589-598, 2016.

GALL, Markus et al. Building a circular plastics economy with informal waste pickers: Recyclate quality, business model, and societal impacts. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 156, p. 104685, 2020.

GARCIA-BERNABEU, Ana et al. A process oriented MCDM approach to construct a circular economy composite index. **Sustainability**, v. 12, n. 2, p. 618, 2020.

GARCÍA-BUSTAMANTE, Carlos Alberto et al. Development of indicators for the sustainability of the sugar industry. **Environmental & Socio-Economic Studies**, v. 6, n. 4, p. 22-38, 2018.

GAUTAM, N.; SINGH, N. Lean product development: Maximizing the customer perceived value through design change (redesign). **International Journal of Production Economics**, v. 114, n. 1, p. 313–332, 1 jul. 2008.

GEISSDOERFER, M.; MORIOKA, S. N.; CARVALHO, M. M.; EVANS, S. Business models and supply chains for the circular economy. **Journal of Cleaner Production**, v. 190, p. 712-721, 2018.

GEISSDOERFER, Martin et al. The Circular Economy—A new sustainability paradigm?. **Journal of Cleaner Production**, v. 143, p. 757-768, 2017.

GENG, Y.; SARKIS, J.; ULGATI, S.; ZHANG, P. Measuring China's circular economy. **Science**, v. 339, n. 6127, p. 1526-1527, 2013.

GENG, Yong; SARKIS, Joseph; BLEISCHWITZ, Raimund. How to globalize the circular economy. 2019

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo. **Métodos de pesquisa**. Plageder, 2009.

GERTSAKIS, John; LEWIS, Helen. Sustainability and the waste management hierarchy. **Retrieved on January**, v. 30, p. 2008, 2003.

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.

GHOSH, Sadhan Kumar (Ed.). Circular economy: global perspective. **Singapore: Springer**, 2020.

Gil, A. C. (2011) **Metodologia do ensino superior**. 4a ed. São Paulo: Atlas.

GOINDI, Gyanendra Singh; SARKAR, Prabir. Dry machining: a step towards sustainable machining—challenges and future directions. **Journal of Cleaner Production**, v. 165, p. 1557-1571, 2017.

GRIPPO, Valeria; ROMANO, Severino; VASTOLA, Antonella. Multi-criteria evaluation of bran use to promote circularity in the cereal production chain. **Natural Resources Research**, v. 28, n. 1, p. 125-137, 2019.

GUE, Ivan Henderson V. et al. Sector perception of circular economy driver interrelationships. **Journal of Cleaner Production**, v. 276, p. 123204, 2020.

GUPTA, Himanshu; KUMAR, Ashwani; WASAN, Pratibha. Industry 4.0, cleaner production and circular economy: An integrative framework for evaluating ethical and sustainable business performance of manufacturing organizations. **Journal of Cleaner Production**, v. 295, p. 126253, 2021.

GUPTA, Munish Kumar et al. Ecological, economical and technological perspectives based sustainability assessment in hybrid-cooling assisted machining of Ti-6Al-4 V alloy. **Sustainable Materials and Technologies**, v. 26, p. e00218, 2020.

HAAS, W.; KRAUSMANN, F.; WIEDENHOFER, D.; HEINZ, M. How circular is the global economy? An assessment of material flows, waste production, and recycling in the European Union and the world in 2005. **Journal of Industrial Ecology**, v. 19, n. 5, p. 765-777, 2015.

HARRIS, Steve; MARTIN, Michael; DIENER, Derek. Circularity for circularity's sake? Scoping review of assessment methods for environmental performance in the circular economy. **Sustainable Production and Consumption**, v. 26, p. 172-186, 2021.

HAUPT, M.; VADENBO, C.; HELLWEG, S. Do We Have the Right Performance Indicators for the Circular Economy? Insight into the Swiss Waste Management System. Volume 21, Number 3, **Journal of Industrial Ecology**, 2016.

HEDLUND, Christer et al. More value from fewer resources: how to expand value stream mapping with ideas from circular economy. **International Journal of Quality and Service Sciences**, 2020.

HEGAB, H. A.; DARRAS, B.; KISHAWY, H. A. Towards sustainability assessment of machining processes. **Journal of Cleaner Production**, v. 170, p. 694-703, 2018.

HENAO, Rafael; SARACHE, William; GÓMEZ, Iván. Lean manufacturing and sustainable performance: Trends and future challenges. **Journal of Cleaner Production**, v. 208, p. 99-116, 2019.

HERMOSO-ORZÁEZ, Manuel Jesús et al. Environmental criteria for assessing the competitiveness of public tenders with the replacement of large-scale LEDs in the outdoor lighting of cities as a key element for sustainable development: Case study applied with PROMETHEE methodology. **Sustainability**, v. 11, n. 21, p. 5982, 20

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

HINES, P.; RICH, Nick. The Seven Value Stream Mapping Tools, **International Journal of Operational and Production Management**. 1997.

HINES, Peter; TAYLOR, Darrin; WALSH, Aidan. The Lean journey: have we got it wrong?. **Total quality management & business excellence**, v. 31, n. 3-4, p. 389-406, 2020.

HOPKINSON, Peter et al. Managing a complex global circular economy business model: opportunities and challenges. **California Management Review**, v. 60, n. 3, p. 71-94, 2018.

HUYSMAN, Sofie et al. Performance indicators for a circular economy: A case study on post-industrial plastic waste. **Resources, conservation and recycling**, v. 120, p. 46-54, 2017

ISLAM, Syed Anwarul et al. Improving workplace by using 5'S tool-a typical application of sorting method. **International Journal of Services and Operations Management**, v. 22, n. 3, p. 323-335, 2015.

ISO TC 323 (2019) **Standards by ISO/TC 323 circular economy**.
www.iso.org/committee/7203984/x/catalogue/. 5 Nov 2021

IUNG, B.; LEVRAT, E. Advanced maintenance services for promoting sustainability. **Procedia CIRP**, v. 22, p. 15-22, 2014.

JABBOUR, Charbel José Chiappetta et al. Environmental management and operational performance in automotive companies in Brazil: the role of human resource management and lean manufacturing. **Journal of Cleaner Production**, v. 47, p. 129-140, 2013.

JABBOUR, Charbel Jose Chiappetta et al. Unlocking the circular economy through new business models based on large-scale data: an integrative framework and research agenda. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 144, p. 546-552, 2019.

JABBOUR, Charbel Jose Chiappetta et al. Who is in charge? A review and a research agenda on the 'human side' of the circular economy. **Journal of cleaner production**, v. 222, p. 793-801, 2019.

JACOBI, Nikolai et al. Providing an economy-wide monitoring framework for the circular economy in Austria: Status quo and challenges. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 137, p. 156-166, 2018.

JANG, Duk-yong; JUNG, Jeehyun; SEOK, Jongwon. Modeling and parameter optimization for cutting energy reduction in MQL milling process. **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology**, v. 3, n. 1, p. 5-12, 2016.

JIMÉNEZ, Mariano et al. 5S methodology implementation in the laboratories of an industrial engineering university school. **Safety science**, v. 78, p. 163-172, 2015.

KALMYKOVA, Yuliya; SADAGOPAN, Madumita; ROSADO, Leonardo. Circular economy—From review of theories and practices to development of

implementation tools. **Resources, conservation and recycling**, v. 135, p. 190-201, 2018.

KAMBLE, Sachin; GUNASEKARAN, Angappa; DHONE, Neelkanth C. Industry 4.0 and lean manufacturing practices for sustainable organisational performance in Indian manufacturing companies. **International Journal of Production Research**, v. 58, n. 5, p. 1319-1337, 2020.

KAMPERMAN SANDERS, Anselm et al. World Economic and Social Survey 2018: **Frontier Technologies for Sustainable Development**. 2018.

KARIM, Azharul; ARIF-UZ-ZAMAN, Kazi. A methodology for effective implementation of lean strategies and its performance evaluation in manufacturing organizations. **Business Process Management Journal**, 2013.

KASZTELAN, Armand. How circular are the European economies? A taxonomic analysis based on the INEC (index of national economies' circularity). **Sustainability**, v. 12, n. 18, p. 7613, 2020

KATAYAMA, Hiroshi. Legend and future horizon of lean concept and technology. **Procedia Manufacturing**, v. 11, p. 1093-1101, 2017.

KAŹMIERCZAK, Urszula; BLACHOWSKI, Jan; GÓRNIAK-ZIMROZ, Justyna. Multi-criteria analysis of potential applications of waste from rock minerals mining. **Applied Sciences**, v. 9, n. 3, p. 441, 2019

KAZUVA, Emmanuel et al. GIS-and MCD-based suitability assessment for optimized location of solid waste landfills in Dar es Salaam, Tanzania. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, n. 9, p. 11259-11278, 2021.

KIRCHHERR, Julian; REIKE, Denise; HEKKERT, Marko. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. **Resources, conservation and recycling**, v. 127, p. 221-232, 2017.

KÖCHE, José Carlos. **Fundamentos de metodologia científica: teoria da ciência e iniciação à pesquisa**. 25. ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2008.

KORHONEN, J.; NUUR, C.; FELDMANN, A.; BIRKIE, S.E. Circular economy as an essentially contested concept. **Journal of Cleaner Production**, v. 175, p. 544-552, 2018.

KOVÁCS, Tibor; KŐ, Andrea; DEMETER, Krisztina. Measuring the impact of lean practices on manufacturing performance—case study from the process industry. **International Journal of Lean Six Sigma**, 2020.

KRISTENSEN, Heidi Simone; MOSGAARD, Mette Alberg. A review of micro level indicators for a circular economy—moving away from the three dimensions of sustainability?. **Journal of Cleaner Production**, v. 243, p. 118531, 2020

KUMAR, Naveen; MATHIYAZHAGAN, Kaliyan. Sustainability in lean manufacturing: a systematic literature review. **International Journal of Business Excellence**, v. 20, n. 3, p. 295-321, 2020.

KUMAR, Sunil; DHINGRA, Ashwani Kumar; SINGH, Bhim. Process improvement through Lean-Kaizen using value stream map: a case study in India. The International **Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 96, n. 5-8, p. 2687-2698, 2018.

KURDVE, Martin; BELLGRAN, Monica. Green lean operationalisation of the circular economy concept on production shop floor level. **Journal of Cleaner Production**, v. 278, p. 123223, 2021.

LA FÉ PERDOMO, Iván et al. Sustainability-focused multi-objective optimization of a turning process. International **Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology**, v. 7, n. 5, p. 1009-1018, 2019.

LAHANE, Swapnil; PRAJAPATI, Himanshu; KANT, Ravi. Emergence of circular economy research: a systematic literature review. **Management of Environmental Quality: An International Journal**, 2021.

LEITÃO, A. Economia circular: uma nova filosofia de gestão para o séc. XXI. **Portuguese Journal of Finance, Management and Accounting**, v. 1, n. 2, 2015.

LI, Shulin. The research on quantitative evaluation of circular economy based on waste input-output analysis. **Procedia Environmental Sciences**, v. 12, p. 65-71, 2012.

LIEDER, Michael; RASHID, Amir. Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. **Journal of cleaner production**, v. 115, p. 36-51, 2016.

LIKER, J. K. **O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

LINDER, Marcus; SARASINI, Steven; VAN LOON, Patricia. A metric for quantifying product-level circularity. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 3, p. 545-558, 2017.

LU, Jiunn-Chenn; YANG, Taho. Implementing lean standard work to solve a low work-in-process buffer problem in a highly automated manufacturing environment. **International Journal of Production Research**, v. 53, n. 8, p. 2285-2305, 2015.

LUCATO, W. C., CALARGE, F. A., JUNIOR, M. L., & CALADO, R. D. (2014). Performance evaluation of lean manufacturing implementation in Brazil. **International Journal of Productivity and Performance Management**, 63(5), 529-549. doi:10.1108/IJPPM-04-2013-0085

LUCATO, Wagner Cezar et al. Model to evaluate the Industry 4.0 readiness degree in Industrial Companies. **IFAC-Papers On Line**, v. 52, n. 13, p. 1808-1813, 2019.

LÜDEKE-FREUND, Florian; GOLD, Stefan; BOCKEN, Nancy MP. A review and typology of circular economy business model patterns. **Journal of Industrial Ecology**, v. 23, n. 1, p. 36-61, 2019.

MACHADO, Álisson Rocha et al. **Teoria da usinagem dos materiais**. Editora Blucher, 2015.

MANI, Mahesh et al. Review on Sustainability Characterization for Manufacturing Processes. **National Institute of Standards and Technology**, Gaithersburg, MD, Report No. NISTIR, v. 7913, 2013.

MANNINEN, Kaisa et al. Do circular economy business models capture intended environmental value propositions?. **Journal of Cleaner Production**, v. 171, p. 413-422, 2018.

MARKKANEN, J. **Circular Economy in Real Estate Investment Companies**. Case Study: Suomen Yliopistokiinteistöt Oy, Kampusareena. 2016.

MARODIN, Giuliano et al. Lean product development and lean manufacturing: Testing moderation effects. **International Journal of Production Economics**, v. 203, p. 301-310, 2018.

MARTINS, R. A. Abordagens Quantitativa e Qualitativa. In: MIGUEL, P. A. C. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. 2.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

MEADOWS, Donella H. et al. Limites do crescimento: um relatório para o projeto do Clube de Roma sobre o dilema da humanidade. São Paulo: **Perspectiva**, 1972.

MELO, Julio Cesar. **Proposta de um framework para análise do grau de maturidade lean em empresas de manufatura**. 2021.

MESA, J.; ESPARRAGOZA, I.; MAURY, H. Developing a set of sustainability indicators for product families based on the circular economy model. **Journal of Cleaner Production**, v. 196, p. 1429-1442, 2018.

MIA, Mozammel et al. Six sigma optimization of multiple machining characteristics in hard turning under dry, flood, MQL and solid lubrication.

Journal of Production Systems and Manufacturing Science, v. 1, n. 1, p. 6-6, 2020.

MICHELINI, G.; MORAES, R. N.; CUNHA, R. N.; COSTA, J. M. H.; OMETTO, A. R. From linear to circular economy: PSS conducting the transition. **Procedia CIRP**, v. 64, p. 2-6, 2017.

MIES, Annika; GOLD, Stefan. Mapping the social dimension of the circular economy. **Journal of Cleaner Production**, p. 128960, 2021.

MILLAR, Neal; MCLAUGHLIN, Eoin; BÖRGER, Tobias. The circular economy: swings and roundabouts?. **Ecological economics**, v. 158, p. 11-19, 2019.

MIRANDA, H. C. D., 2012 “**Processos de Fabricação**”. Universidade Federal do Ceará- UFC. Fortaleza, Brasil, 2012 pp. 175.

MISHRA, Shraddha et al. Evaluating indicators for international manufacturing network under circular economy. **Management Decision**, 2019.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Catadores de Materiais Recicláveis. Brasília**, 2018. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuossolidos/catadores-de-materiais-reciclaveis>>. Acesso em: Novembro 2021.

MOKTADIR, Md Abdul et al. Critical success factors for a circular economy: Implications for business strategy and the environment. **Business strategy and the environment**, v. 29, n. 8, p. 3611-3635, 2020.

MORGAN, James M.; LIKER, Jeffrey K. The Toyota product development system: integrating people, process, and technology. **Productivity press**, 2020.

MORONE, Piergiuseppe; YILAN, Gülşah; IMBERT, Enrica. Using fuzzy cognitive maps to identify better policy strategies to valorize organic waste flows: An Italian case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 319, p. 128722, 2021.

MORTAZAVI, Mina; IVANOV, Atanas. Sustainable μ ECM machining process: indicators and assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 235, p. 1580-1590, 2019.

MOSTAFA, Sherif et al. Lean thinking for a maintenance process. **Production & Manufacturing Research**, v. 3, n. 1, p. 236-272, 2015.

MURRAY, Alan; SKENE, Keith; HAYNES, Kathryn. The circular economy: an interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. **Journal of business ethics**, v. 140, n. 3, p. 369-380, 2017.

NADEEM, Simon Peter. **Coalescing the lean and circular economy**. 2019

NESS, David. Sustainable urban infrastructure in China: Towards a Factor 10 improvement in resource productivity through integrated infrastructure systems. **The International Journal of Sustainable Development & World Ecology**, v. 15, n. 4, p. 288-301, 2008.

NIERO, Monia; HAUSCHILD, Michael Z. Closing the loop for packaging: finding a framework to operationalize Circular Economy strategies. **Procedia Cirp**, v. 61, p. 685-690, 2017.

NIERO, Monia; KALBAR, Pradip P. Coupling material circularity indicators and life cycle based indicators: A proposal to advance the assessment of circular economy strategies at the product level. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 140, p. 305-312, 2019.

NIERO, Monia; RIVERA, Ximena C. Schmidt. The role of life cycle sustainability assessment in the implementation of circular economy principles in organizations. **Procedia CIRP**, v. 69, p. 793-798, 2

NIKANOROVA, Marta; STANKEVIČIENĖ, Jelena. Development of environmental pillar in the context of circular economy assessment: Baltic Sea Region case. **Entrepreneurship and Sustainability Issues**, v. 8, n. 1, p. 1209, 2020.

NOWAKOWSKI, Piotr; KRÓL, Aleksander; MRÓWCZYŃSKA, Bogna. Supporting mobile WEEE collection on demand: A method for multi-criteria vehicle routing, loading and cost optimisation. **Waste Management**, v. 69, p. 377-392, 2017

OHNO, T. Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production. Oregon: **Productivity Press**, 1988. 149p.

OHNO, Taiichi; BODEK, Norman. Toyota production system: beyond large-scale production. **Productivity press**, 2019.

ONU - UNITED NATIONS DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS. 2019 **Revision of World Population Prospects**. 2019.

PAES ET AL. - AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE LEAN MANUFACTURING E CIRCULAR ECONOMY: PROPOSTA DE UM FRAMEWORK TEÓRICO, **XXVI SIMPEP**, 2019

PAGLIOSA, Marcos; TORTORELLA, Guilherme; FERREIRA, Joao Carlos Espindola. Industry 4.0 and Lean Manufacturing: A systematic literature review and future research directions. **Journal of Manufacturing Technology Management**, 2019.

PALAFIX-ALCANTAR, P. Giovani; HUNT, Dexter VL; ROGERS, Chris DF. A hybrid methodology to study stakeholder cooperation in circular economy waste management of cities. **Energies**, v. 13, n. 7, p. 1845, 2020.

PANG, Rui; ZHANG, Xiaoling. Achieving environmental sustainability in manufacture: A 28-year bibliometric cartography of green manufacturing research. **Journal of cleaner production**, v. 233, p. 84-99, 2019.

PANWAR, Avinash; JAIN, Rakesh; RATHORE, A. P. S. Lean implementation in Indian process industries—some empirical evidence. **Journal of Manufacturing Technology Management**, 2015.

PARK, Joo Young; CHERTOW, Marian R. Establishing and testing the “reuse potential” indicator for managing wastes as resources. **Journal of environmental management**, v. 137, p. 45-53, 2014.

PAULIUK, Stefan. Critical appraisal of the circular economy standard BS 8001: 2017 and a dashboard of quantitative system indicators for its implementation in organizations. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 129, p. 81-92, 2018.

PAWAR, Piyush J.; RAO, R. Venkata. Parameter optimization of machining processes using teaching–learning-based optimization algorithm. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 67, n. 5-8, p. 995-1006, 2013.

PERALTA, M. E.; LUNA, P.; SOLTERO, V. M. Towards standards-based of circular economy: knowledge available and sufficient for transition?. **International Journal of Sustainable Development & World Ecology**, v. 27, n. 4, p. 369-386, 2020.

PESCE, Marco et al. Circular economy in China: Translating principles into practice. **Sustainability**, v. 12, n. 3, p. 832, 2020.

PETIT-BOIX, Anna; LEIPOLD, Sina. Circular economy in cities: Reviewing how environmental research aligns with local practices. **Journal of Cleaner Production**, v. 195, p. 1270-1281, 2018.

PNUMA – PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE. **Caminhos para o Desenvolvimento Sustentável e a Erradicação da Pobreza**. Síntese para Tomadores de Decisão. 2011.

PNUMA - **XXII Fórum de Ministros do Meio Ambiente da América Latina e Caribe, 1 e 2 February 2021 - Barbados - “Coalizão Regional de Economia Circular”**, 2021. Disponível em: <<https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/comunicado-de-imprensa/america-latina-e-caribe-lancam-coalizao-de-economia>> Acesso em: fevereiro de 2021.

POMPONI, Francesco; MONCASTER, Alice. Circular economy for the built environment: A research framework. **Journal of cleaner production**, v. 143, p. 710-718, 2017.

PRESTON, Felix. A global redesign? Shaping the circular economy. 2012.

RAJEMI, M. F.; MATIVENGA, P. T.; ARAMCHAROEN, A. Sustainable machining: selection of optimum turning conditions based on minimum energy considerations. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 10-11, p. 1059-1065, 2010.

RAUDBERGET, Dag; BJURSELL, Cecilia. A3 reports for knowledge codification, transfer and creation in research and development organisations. **International Journal of Product Development**, v. 19, n. 5-6, p. 413-431, 2014.

REIKE, Denise; VERMEULEN, Walter JV; WITJES, Sjors. The circular economy: new or refurbished as CE 3.0?—exploring controversies in the conceptualization of the circular economy through a focus on history and resource value retention options. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 135, p. 246-264, 2018.

REIS, José Salvador da Motta et al. Striding towards sustainability: A framework to overcome challenges and explore opportunities through industry 4.0. **Sustainability**, v. 13, n. 9, p. 5232, 2021..

RIBEIRO, Flávio de Miranda; SILVA, G. A. Enfoque sobre produto: uma necessária mudança de paradigma para busca do desenvolvimento sustentável. In: Global Conference: Building a Sustainable World, São Paulo. Global Conference: **Building a Sustainable World**. 2002.

RINCÓN-MORENO, J. et al. Advancing circular economy performance indicators and their application in Spanish companies. **Journal of Cleaner Production**, v. 279, p. 123605, 2021.

ROMERO, David; ROSSI, Monica. Towards circular lean product-service systems. **Procedia CIRP**, v. 64, p. 13-18, 2017.

ROOS LINDGREEN, Erik; SALOMONE, Roberta; REYES, Tatiana. A critical review of academic approaches, methods and tools to assess circular economy at the micro level. **Sustainability**, v. 12, n. 12, p. 4973, 2020.

SAE. SAE J4000: Identification and measurement of best practice in implementation of lean operation. Warrendale, PA, **Society of Automotive Engineers**, 1999.

SAE. SAE J4001: Implementation of lean operation user manual. Warrendale, PA, **Society of Automotive Engineers**, 2021

SAIDANI, Michael et al. A taxonomy of circular economy indicators. **Journal of Cleaner Production**, v. 207, p. 542-559, 2019.

SAIDANI, Michael et al. How to assess product performance in the circular economy? Proposed requirements for the design of a circularity measurement framework. **Recycling**, v. 2, n. 1, p. 6, 2017.

SAN MARTIN, David et al. Multi-criteria assessment of the viability of valorising vegetable by-products from the distribution as secondary raw material for animal feed. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, n. 13, p. 15716-15730, 2021.

SARIKAYA, Murat et al. A state-of-the-art review on tool wear and surface integrity characteristics in machining of superalloys. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, v. 35, p. 624-658, 2021.

SARJA, Milla; ONKILA, Tiina; MÄKELÄ, Marileena. A systematic literature review of the transition to the circular economy in business organizations: Obstacles, catalysts and ambivalences. **Journal of Cleaner Production**, p. 125492, 2020.

SASSANELLI, Claudio et al. Circular economy performance assessment methods: A systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**, v. 229, p. 440-453, 2019.

SCHMITT, Thomas et al. Beyond “Leanear” production: A multi-level approach for achieving circularity in a lean manufacturing context. **Journal of Cleaner Production**, v. 318, p. 128531, 2021.

SCHROETER, R. B.; LINDOLFO, W. **Tecnologia da usinagem com ferramentas de corte de geometria definida–Parte 1**. Translation and adaptation of the book “Fertigungsverfahren–Drehen, Bahren, Fräsen”, Florianópolis, Santa Catarina, Brazil, 2002.

SCHULTHEISS, Fredrik et al. Sustainable machining through increasing the cutting tool utilization. **Journal of cleaner production**, v. 59, p. 298-307, 2013.

SEN, Binayak et al. Eco-friendly cutting fluids in minimum quantity lubrication assisted machining: a review on the perception of sustainable manufacturing. **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology**, v. 8, n. 1, p. 249-280, 2021.

SEVERINO, Antônio Joaquim. **Metodologia do trabalho científico**. Cortez editora, 2017.

SHEN, X.; QI, C. Countermeasures towards circular economy development in west regions. **Energy Procedia**, v. 16, p. 927-932, 2012.

SHOU, Wenchi et al. A cross-sector review on the use of value stream mapping. **International Journal of Production Research**, v. 55, n. 13, p. 3906-3928, 2017.

SILVA, ANTONIO CARLOS RIBEIRO. **Metodologia da pesquisa aplicada**. São Paulo: Atlas, 2003.

SILVA, C. R. de O. **Metodologia e Organização do Projeto de Pesquisa (Guia Prático)**. Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará, 2004.

SINGH, Gurpreet; AGGARWAL, Vivek; SINGH, Sehijpal. Critical review on ecological, economical and technological aspects of minimum quantity lubrication

towards sustainable machining. **Journal of Cleaner Production**, p. 122185, 2020.

SINGH, Tejinder Pal; AHUJA, Inderpreet Singh. Evaluating manufacturing performance through strategic total productive maintenance implementation in a food processing industry. **International Journal of Productivity and Quality Management**, v. 21, n. 4, p. 429-442, 2017.

DELLA SPINA, Lucia. Multidimensional assessment for “culture-led” and “community-driven” urban regeneration as driver for trigger economic vitality in urban historic centers. **Sustainability**, v. 11, n. 24, p. 7237, 2019.

SU, B.; HESHMATI, A.; GENG, Y.; YU, X. A review of the circular economy in China: moving from rhetoric to implementation. **Journal of Cleaner Production**, v. 42, p. 215-227, 2013.

SYNNES, Elisabeth Lervåg; WELO, Torgeir. Enhancing integrative capabilities through lean product and process development. **Procedia CIRP**, v. 54, p. 221-226, 2016.

THOMAS, J.S.; BIRAT, J. P. Methodologies to measure the sustainability of materials – focus on recycling aspects. **Rev. Metall.**, 110 (1), 3-16. 2013.

TOKOLA, Henri; NIEMI, Esko; KYRENIUS, Pekka. How Lean transformation affects scheduling. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 43, p. 171-178, 2017.

TSENG, Ming-Lang et al. Sustainable industrial and operation engineering trends and challenges Toward Industry 4.0: A data driven analysis. **Journal of Industrial and Production Engineering**, p. 1-18, 2021.

TYAGI, Satish et al. Value stream mapping to reduce the lead-time of a product development process. **International journal of production economics**, v. 160, p. 202-212, 2015.

URBINATI, Andrea; CHIARONI, Davide; CHIESA, Vittorio. Towards a new taxonomy of circular economy business models. **Journal of Cleaner Production**, v. 168, p. 487-498, 2017.

VAN LOON, Patricia; VAN WASSENHOVE, Luk N. Assessing the economic and environmental impact of remanufacturing: a decision support tool for OEM suppliers. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 4, p. 1662-1674, 2018

VINANTE, Christian et al. Circular economy metrics: Literature review and company-level classification framework. **Journal of Cleaner Production**, v. 288, p. 125090, 2021.

WALKER, Stuart et al. Evaluating the environmental dimension of material efficiency strategies relating to the circular economy. **Sustainability**, v. 10, n. 3, p. 666, 2018.

WANG, Minxi et al. A scientometric review of resource recycling industry. **International journal of environmental research and public health**, v. 16, n. 23, p. 4654, 2019.

WARODELL, Emelie; LINDHOLM, Victor. **Circular economy—the way to a more sustainable urban environment? A study of how conversion and a circular economic business model can benefit the aspects of sustainability.** 2016.

WICKRAMASINGHE, K. C. et al. Green Metalworking Fluids for sustainable machining applications: A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 257, p. 120552, 2020.

WIJFFELS, Herman. The Circular Economy. In: **Symposium Biorefinery for Food, Fuel and Materials 2013.** 2013.

WILSON, Shellyanne; ALI, Nazma. Product wheels to achieve mix flexibility in process industries. **Journal of Manufacturing Technology Management**, 2014.

WOMACK, James P.; JONES, Daniel T. **Lean solutions: how companies and customers can create value and wealth together**. Simon and Schuster, 2015.

WOMACK, James P.; JONES, Daniel T.; ROOS, Daniel. **The machine that changed the world: The story of lean production--Toyota's secret weapon in the global car wars that is now revolutionizing world industry**. Simon and Schuster, 2007.

YADAV, Gunjan et al. Development of a lean manufacturing framework to enhance its adoption within manufacturing companies in developing economies. **Journal of Cleaner Production**, v. 245, p. 118726, 2020.

ZAMAN, Atiq Uz; LEHMANN, Steffen. The zero waste index: a performance measurement tool for waste management systems in a 'zero waste city'. **Journal of cleaner production**, v. 50, p. 123-132, 2013.

ZANUTO, Rodolfo de Souza. **Avaliação de parâmetros de sustentabilidade de processos de usinagem**. 2016.

ZHANG, Linda; NARKHEDE, Balkrishna Eknath; CHAPLE, Anup P. Evaluating lean manufacturing barriers: an interpretive process. **Journal of Manufacturing Technology Management**, 2017.

ZHAO, Haoran; ZHAO, Huiru; GUO, Sen. Evaluating the comprehensive benefit of eco-industrial parks by employing multi-criteria decision making approach for circular economy. **Journal of cleaner production**, v. 142, p. 2262-2276, 2017..

ZHOU, Bin. Lean principles, practices, and impacts: a study on small and medium-sized enterprises (SMEs). **Annals of Operations Research**, v. 241, n. 1, p. 457-474, 2016.

ZORE, Žan; ČUČEK, Lidija; KRAVANJA, Zdravko. Synthesis of sustainable production systems using an upgraded concept of sustainability profit and circularity. **Journal of cleaner production**, v. 201, p. 1138-1154, 2018