



“TEN YEARS WORKING TOGETHER FOR A SUSTAINABLE FUTURE”

Aplicação do Método 3R (Reuso, Remanufatura, e Reciclagem) em uma Linha de Usinagem Baseado na Economia Circular

VICENTE NETO, L. ^{a,b*}, HELLENO, A. L. ^b

a. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – IFSP – Campus Piracicaba

b. Universidade Metodista de Piracicaba - UNIMEP

**Corresponding author, neto.lvn@ifsp.edu.br ou neto.lvn@gmail.com*

Resumo

Atendendo às exigências do mercado e mantendo condições competitivas, muitas empresas estão em busca de tecnologias, que possibilitem inovar os seus processos e produtos. O impacto ambiental relacionado à exploração de recursos naturais, pode ser considerado um problema decorrente do fluxo linear de produção-consumo. Por isto este trabalho tem foco no estudo de iniciativas reais de desenvolvimento de processos ambientalmente amigáveis e de seus resultados frente ao conceito da economia circular, na aplicação do método 3R em uma linha de usinagem. Com uma abordagem metodológica aplicada e objetivo exploratório, dividimos a aplicação em 3 fases: (1) Reuso e Redistribuição; (2) Remanufatura e (3) Reciclagem. Os produtos são usinados em uma linha de torneamento, onde as ferramentas de corte (insertos) são os objetos mais utilizados. Pode-se observar que no modelo de linear de produção, há um aumento do descarte de ferramentas. Aplicando os conceitos de baseados na economia circular temos um ganho na vida útil das ferramentas de corte sem a necessidade de modificar os parâmetros de produção. Conclui-se que é possível aplicar os conceitos de economia circular, mais exista a necessidade de todos os envolvidos no processo produtivo.

Palavras-chave: Economia Circular, Usinagem, 3R, Indústria Automobilística

1. Introdução

A competitividade, a mudança, estratégia, meio ambiente e a organização têm sido temas comuns, tanto no meio empresarial como no meio acadêmico. As empresas têm estudado a melhor maneira de serem mais competitivas no mercado global, que enfrenta rápidas mudanças econômicas e sociais (TEONAS BARTZ, SILUK, BARTZ, 2014; SINGH, 2016; MIERLO, 2017).

Atendendo às exigências do mercado e mantendo condições competitivas, muitas empresas estão em busca de tecnologias, que possibilitem inovar os seus processos e produtos (SINGH, CHAKRABORTY e ROY, 2016). O futuro desafio das organizações é buscar uma manufatura sustentável assegurando que esta contribua para uma melhor qualidade de vida, sem comprometer as gerações futuras, sendo necessárias melhorias contínuas em seu desempenho econômico, social e ambiental (ZAMCOPE et al., 2012).

“TEN YEARS WORKING TOGETHER FOR A SUSTAINABLE FUTURE”

São Paulo – Brazil – May 24th to 26th - 2017

Analisando a evolução histórica da indústria de manufatura nos últimos 60 anos, Merchant et al. (2005) concluíram sobre a importância do uso da tecnologia nos processos produtivos, pois facilita o gerenciamento e o monitoramento dos processos produtivos em tempo real de fabricação.

Porém, a evolução ocorreu com foco em métricas tradicionais como custo e qualidade, muitas vezes não prevendo a demanda por novas métricas, por exemplo, baseadas na integração de aspectos de sustentabilidade (GUNASEKARAN, NGAI, 2012; SINGH, 2016; MIERLO, 2017).

O modelo econômico linear “extrair, transformar, descartar” da atualidade depende de grandes quantidades de materiais de baixo custo e fácil acesso, além de energia. Esse modelo está atingindo seus limites físicos (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2012).

A economia circular é um modelo econômico global que desacopla o crescimento econômico do consumo de recursos finitos. Criando sistemas e processos, cujo objetivo é manter os produtos, componentes e materiais em sua maior utilidade no máximo de tempo possível (WIJFFELS, 2013; SINGH, CHAKRABORTY e ROY, 2016).

Segundo os dados do Ministério do Meio Ambiente, em 2012 foram produzidos cerca de 62 milhões de toneladas de resíduos sólidos no Brasil. Sendo que apenas 2% desse material retorna a cadeia produtiva. Os resíduos não reciclados têm o seguinte destino: (a) – 17,8% acabam em lixões; (b) – 24,2% aterros controlados; (c) 58% acabam sendo depositados em aterros sanitários. A não transformação (reaproveitamento – reciclagem) dos resíduos sólidos custa ao país R\$ 8 bilhões por ano (BRASIL, 2012).

Segundo o relatório da Ellen McArthur Foundation, 2012 – organização sem fins lucrativos que estuda e estimula a adoção da economia circular indica que 65 bilhões de toneladas de matéria prima foram inseridos no sistema produtivo do mundo todo em 2010. As projeções do instituto demonstram que até meados de 2020 a quantidade terá subido para aproximadamente 82 bilhões de toneladas por ano.

Essa outra forma de pensar as cadeias produtivas traz benefícios micro e macroeconômicos, além de estimular a inovação. Os produtos e materiais passam a ser desenvolvidos para que voltem à cadeia de produção (SINGH, CHAKRABORTY e ROY, 2016). Com isso, a extração de matéria-prima diminui e os recursos naturais que entram no ciclo produtivo são utilizados por mais tempo, preservando o meio ambiente. A necessidade de reciclar e reaproveitar materiais promove o desenvolvimento de novas relações entre as empresas, que passam a ser também fornecedoras e consumidoras de materiais que serão reincorporados ao ciclo produtivo (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2012).

A pergunta de pesquisa que guiou este trabalho foi: Como aplicar da método 3r (remanufatura, reuso e reciclagem) em uma linha de usinagem baseado na economia circular?

Para auxiliar nessa problemática foi desenvolvido os seguintes temas: os conceitos de economia circular (seção 1.1); e a importância da ferramenta de corte em uma linha de usinagem (seção 1.2). Por fim, os pressupostos teóricos são confrontados com a realidade observada em uma empresa localizada no interior do Estado de São Paulo, tendo como pano de fundo um planejamento metodológico (seção 2), apresentando-se os resultados obtidos (seção 3) e explorando-se conclusões e apontamentos para a continuidade da linha de investigação (seção 4) e a bibliografia utilizada no trabalho (seção 5).

1.1 - Economia Circular

A economia circular (EC) questiona o paradigma linear da economia que se baseia na lógica “extração-transformação- descarte” (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2012). A EC não questiona a questão do crescimento econômico em si, mas defende o desenvolvimento econômico dissociado do uso de recursos naturais escassos e de modelos lineares de produção e consumo, para construir um modelo de economia restaurativa e regenerativa. (SANTIAGO, 2015).

A noção de EC tem suas raízes na ecologia industrial, uma teoria desenvolvida na década de 70, assim como a economia ecológica (GHISELLINI, CIALANI, ULGIATI, 2015). De acordo com Preston (2012) a

economia circular envolve remodelar o sistema industrial respeitando os ecossistemas terrestres, reconhecendo a e ciência dos ciclos naturais dos recursos no meio ambiente e respeitando seus limites. A trajetória dos materiais passa a ser circular, minimizando ao máximo o desperdício e a utilização de energia e toda a energia utilizada deverá ser provida por fontes renováveis.

Mais recentemente, a partir da sua introdução EC na economia chinesa no início do século XXI, que disseminou o tema baseando-se no princípio dos 3Rs (Redução, Reuso e Reciclagem) e vem se expandindo e desenvolvendo desde então a partir de sua incorporação por nações ocidentais, principalmente na Europa (GENG et al, 2013; SINGH, 2016; MIERLO, 2017).

Uma mudança fundamental no modelo de organização industrial será desconectar crescimento econômico de crescente utilização de recursos, onde produtos e processos são redesenhados para maximizar o valor dos recursos (UTS, 2015). A economia circular (ver, Fig.1) propõe transformar a função dos recursos na economia. Resíduos das fábricas poderão se tornar valiosas matérias primas para outros processos produtivos e os produtos poderão ser reparados, reutilizados e remanufaturados ao invés de serem simplesmente descartados (SINGH, 2016; MIERLO, 2017)

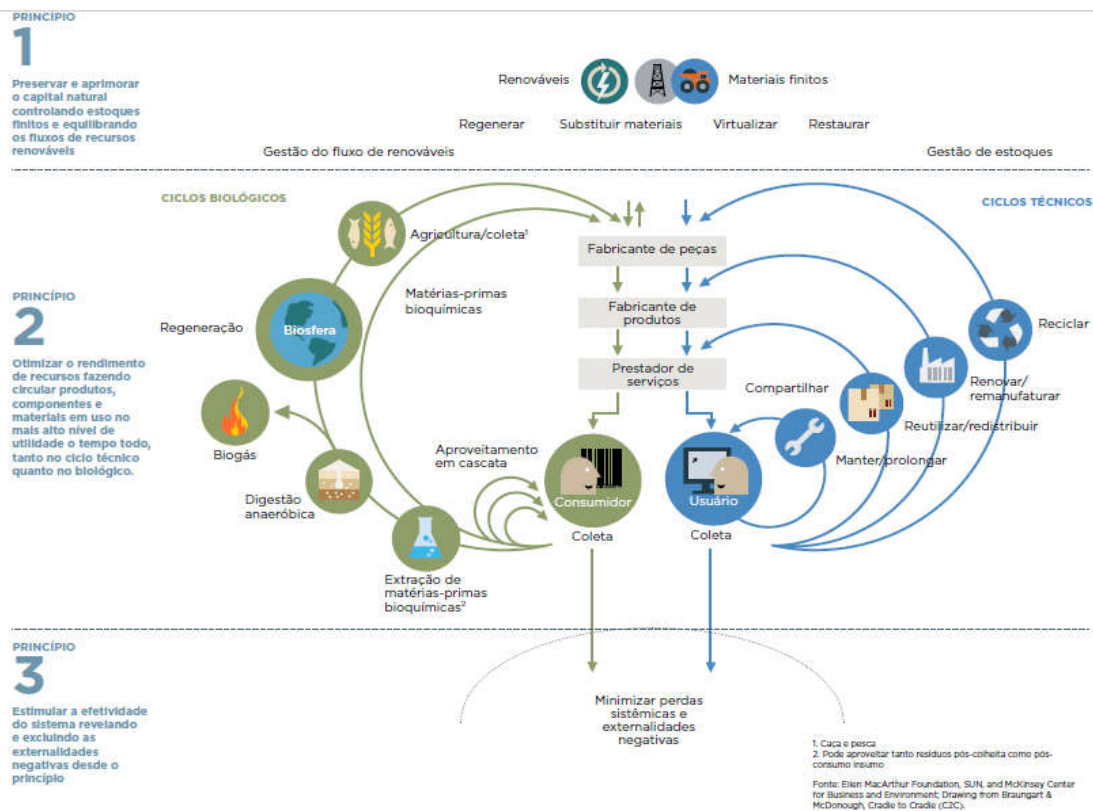


Fig. 1 – Modelo de Economia Circular de ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, (2012).

O modelo de EC vai além da questão da reciclagem, pregando um sistema que seja regenerativo¹ e restaurativo² desde o design do produto, para que eles tenham utilidade máxima e valor pela maior quantidade de tempo, podendo ser reparado, reutilizado e remanufaturado com facilidade (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2012) A ideia é desenvolver produtos que tenham maior ciclo de vida e mantenham suas propriedades se reparados ou transformados e também minimizar ao máximo o uso de energia em todo processo SINGH, 2016; MIERLO, 2017.

¹ "Regenerar*" = 1. Transitivo direto e pronominal - gerar ou produzir novamente; formar(-se) de novo;

² "Restaurar*" = 1. Transitivo direto - recuperar a posse ou o domínio de (alguma coisa perdida); recuperar; 2. Transitivo direto - pôr em bom estado; reparar, recuperar, consertar.

* - Disponível em: <http://www.dicionariodoaurelio.com> com acesso em Março de 2017.

Conforme o demonstrado na Fig. 1 a EC distingue os ciclos de nutrientes técnicos e biológicos: O ciclo técnico envolve a gestão dos estoques de materiais finitos (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2012). O uso substitui o consumo: (I) materiais técnicos são recuperados e, em sua maior parte, restaurados no ciclo técnico; (II) ciclo biológico abrange os fluxos de materiais renováveis. O consumo só ocorre no ciclo biológico. Nutrientes renováveis (biológicos) são, em sua maior parte, regenerados no ciclo biológico (MIRABELLA et. al, 2014).

A EC tem como principais características:

- Design sem resíduo - não existem resíduos quando os componentes são concebidos para desmontagem e reutilização (BAKKER et. al, 2014; WRINKLER, 2011);
- Utilização de energia proveniente de fontes renováveis - os sistemas devem operar com energia renovável (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2012; PRESTON, 2012);
- Pensamento Sistêmico - A capacidade de compreender como as partes se influenciam mutuamente dentro de um todo, e as relações do todo com as partes, é essencial (WIJFFELS, 2013; SINGH, CHAKRABORTY e ROY, 2016);
- Pensar em cascatas - a essência de criação de valor reside na possibilidade de extrair valor adicional de produtos e materiais em cascata através de outras aplicações (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2012;);
- Criar resiliência através da diversidade - Modularidade, versatilidade e adaptabilidade são características que precisam ser priorizadas (BIRAT, 2015; MIRABELLA et. al, 2014).

O conceito EC tem sido aperfeiçoado e aplicado nas práticas de sistemas econômicos modernos e processos industriais, seguindo as escolas de pensamento (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2012):

- A. Design Regenerativo - desenvolvido nos Estados Unidos, John T. Lyle começou a desenvolver ideias de design regenerativo que poderiam ser aplicados para todos os sistemas (GOU e XIE, 2016; HUANG e XU, 2017);
- B. Ecologia Industrial - é o estudo dos fluxos de materiais e energia nos sistemas industriais, que visa à criação de processos de ciclo fechado nos quais os resíduos servem como insumo, eliminando assim a noção de um subproduto indesejável (PAULIUK e HERTWICH, 2016; YAP, 2017).
- C. Economia de Performance - desenvolvido pelo Walter Stahel, esboçou em seu relatório de pesquisa para a Comissão Europeia, com o auxílio de Genevieve Reday, a visão de uma economia em ciclos e seu impacto na criação de emprego, competitividade econômica, redução de recursos e prevenção de desperdícios (MORENO, 2016; STAHEL e CLIFT, 2016; TWOMEY e WASHINGTON, 2016).
- D. Cradle to Cradle - Do berço ao berço - desenvolvida pelo químico Michael Braungart, em conjunto com o arquiteto Bill McDonough, o conceito e o processo de certificação Cradle to Cradle™ (ALIGLERI, ALIGLERI L.A e KRUGLIANSKAS,2016; NIERO e HAUSCHILD, 2016; KAUSCH e KLOSTERHAUS, 2016);
- E. Biomimética - Janine Benuys, autora do conceito de Biomimética - A Inovação é inspirada pela Natureza (SIEGEL, 2016);
- F. Blue Economy - Iniciado pelo belga Gunter Pauli, é um movimento open source, que reúne estudos de casos concretos, inicialmente compilados em um relatório homônimo e entregue ao Clube de Roma.

Em termos econômicos alguns estudos provisionam que a adoção da economia circular poderia gerar consideráveis benefícios (PRESTON, 2012; ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2012;).

A transição para uma economia circular não seria algo simples, mas bastante complexo, requerendo o redesenho dos processos, produtos, sistemas e a mudança de paradigma e cultura em relação ao descarte e a durabilidade dos produtos (CASTELLANI, MIRABELLA, 2015).

A EC traz propostas concretas de mudanças desde a produção até o consumo e isso torna factível de ter seus conceitos aplicados em empresas, através de alteração de processos produtivos (GHISELLINI, CIALANI, ULGIATI, 2015).

1.2 – Processo de Usinagem

Define-se usinagem todo o processo de fabricação em que haja a remoção do material (cavaco) por meio da ação de uma ferramenta de corte (inserto). Para qualquer aplicação, as ferramentas de torneamento controlam cavacos, vida útil da ferramenta e vibração. Isto garante que você esteja em controle, maximize seu tempo de usinagem (DINIZ, MARCONDES e COPPINI, 2003).

A ação combinada entre a geometria da ponta da ferramenta e respectivo avanço, origina a rugosidade podendo ser expressa por equações teóricas para vários processos de usinagem. De outra forma, a rugosidade de processo decorre de outros fatores além do processo de remoção de material durante a usinagem, e está relacionada ao comportamento dinâmico do sistema peça-máquina-fixação da máquina e da ferramenta (DAVIM, 2010).

As características das superfícies usinadas podem ser subdivididas em quatro diferentes níveis: rugosidade, ondulações, marcas de avanço e falhas (MACHADO et al., 2009).

Dando ênfase à usinagem, a rugosidade superficial da peça possui uma influência significativa nos fenômenos inerentes ao corte, independente da escala de usinagem, em especial quando relacionado à redução do avanço da ferramenta até a ordem de dimensão do raio de aresta (MIAN, DRIVER, e MATIVENGA, 2011). Nessa condição a baixa razão do cavaco e fluxo plástico indesejado, podem causar significantes danos na superfície usinada, e o escoamento de material na camada afetada pode aumentar a dureza na superfície da peça (RODRIGUES et al., 2010).

Os dois principais aspectos tem adquirido grande importância na compreensão de fenômenos inerentes ao corte: (I) o efeito de escala com a redução da espessura de corte até a ordem de tamanho do raio de aresta e a significativa influência da microestrutura da peça (DORNFELD, MIN, e TAKEUCHI, 2006); (II) A rugosidade tem sido obtida com valores de avanço menores da ferramenta (MIAN, DRIVER, e MATIVENGA, 2011). No entanto, nessa condição a baixa razão do cavaco e fluxo plástico indesejado, tal como efeito de fluxo lateral podem causar significantes danos na superfície usinada e aumentar a dureza na superfície da peça (RODRIGUES et al., 2010).

Os processos envolvendo a usinagem com espessura de corte na ordem de grandeza do raio de aresta da ferramenta ou ainda menores, é relevante avaliar os fatores mais influentes no processo (MIAN, DRIVER, e MATIVENGA, 2011). O efeito das propriedades da microestrutura da peça, o raio de aresta da ferramenta e espessura de corte podem se associar durante a usinagem, afetando a qualidade do componente e seu desempenho (WU e LIU, 2009).

2. Materiais e Métodos

O trabalho de pesquisa pode ser classificado como aplicado, uma vez que procura o interesse prático e utilizados imediatamente na solução de problemas que ocorrem na realidade, como a maximização do uso das ferramentas de corte (insertos). Quanto aos objetivos, eles são exploratórios - por envolverem o levantamento bibliográfico, proporciona uma experiência com o problema afim de torna-lo explícito (TURRUIONI e MELLO, 2012) e entendimento de um fenômeno (SELLITZ et al., 1967; GIL, 2006) e descritivos - uma vez que buscam estabelecer uma relação entre variáveis (TURRUIONI e MELLO, 2012).

A abordagem experimental são descritas na sequência: planejamento experimental, aplicação, análise dos resultados da aplicação, discussão (ver Fig.3)

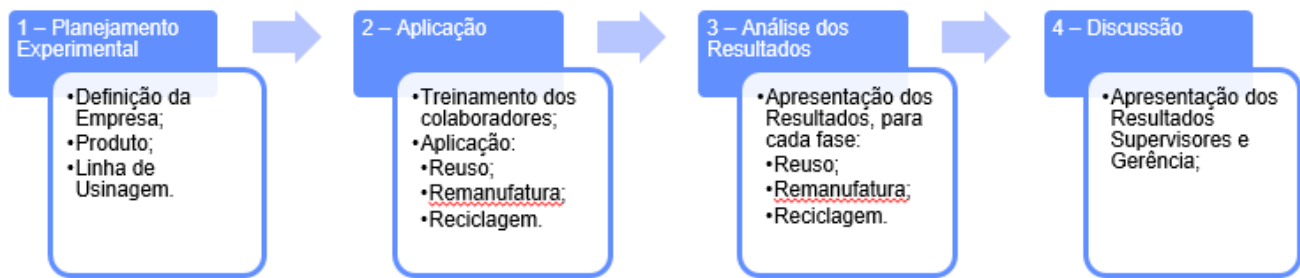


Fig. 3 – Passo a passo da abordagem experimental (Fonte: Autor)

2.1 – Planejamento Experimental

Para a aplicação do método 3r (reuso, remanufatura e reciclagem) em uma linha de usinagem baseado na economia circular, foi escolhido uma linha de usinagem por torneamento:

- Empresa – Indústria do Setor Automobilístico, de origem alemã, localizada no interior de São Paulo. A planta possui aproximadamente 3500 colaboradores diretos;
- Produto – A empresa produz: Pistões e componentes de motores; Filtração e periféricos de motores; Sistemas de Trem de Válvulas; Soluções e produtos para aplicações industriais; componentes mecatrônicos para aplicações automotivas; Sistemas de admissão
- Linha de Usinagem - A empresa produz em larga escala camisas de cilindro em ferro fundido pelo processo de 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.

2.2 - Aplicação

Na segunda etapa, todos os colaboradores da linha passaram por um treinamento de 4 horas abordando os temas - Método 3R; Economia Circular e sua aplicação no processo produtivo;

Em seguida, foi levantado o estado atual a linha de usinagem, ver Fig.4:



Fig.4: Linha de Usinagem das Camisas– Baseada na Economia Linear (Fonte: Autor).

Como observado na Fig.4, em cada estação de trabalho entrava uma ferramenta nova que após ser utilizada era enviada para a reciclagem.

Com a aplicação em 3 fases (ver Fig.5) – (1) Reuso; (2) Remanufatura; (3) Reciclagem.

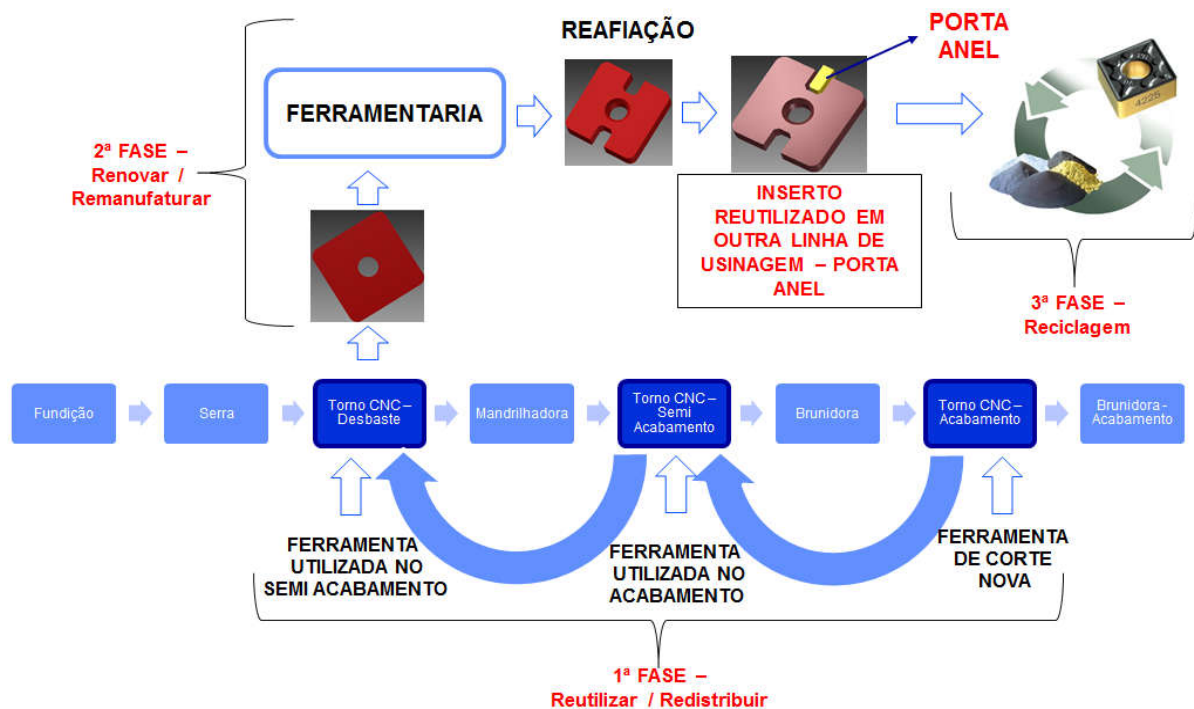


Fig.5: Fases da Linha de Usinagem das Camisas – Baseada na Economia Circular - 3R (Fonte: Autor)

Com a aplicação dos conceitos de 3R na linha de usinagem de camisas temos:

- 1ª Fase – Entrada da ferramenta “nova” na operação de acabamento, não atingindo mais a rugosidade superficial estabelecida a ferramenta é redistribuída e reutilizada na operação de Semi acabamento, após não mais atingir a rugosidade estabelecida a ferramenta é redistribuída e reutilizada na operação de desbaste;
- 2ª Fase – As ferramentas que chegaram na operação de desbaste e não atingem a rugosidade são enviadas para a ferramentaria, onde os inserts são reafiados dando origem a uma nova ferramenta que será utilizada em uma outra linha de usinagem – chamada de porta anel; e
- 3ª Fase – As ferramentas são armazenada 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.

3. Resultados

Nesta seção são apresentados os principais resultados obtidos em cada uma das fases:

A linha de Usinagem das Camisas, baseada na Economia Linear apresentou o 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 ferramenta eram enviadas para a reciclagem.

O Resultado do aplicação proposta baseada na economia circular (3R), apresentou os seguintes resultados, ver Fig.6:

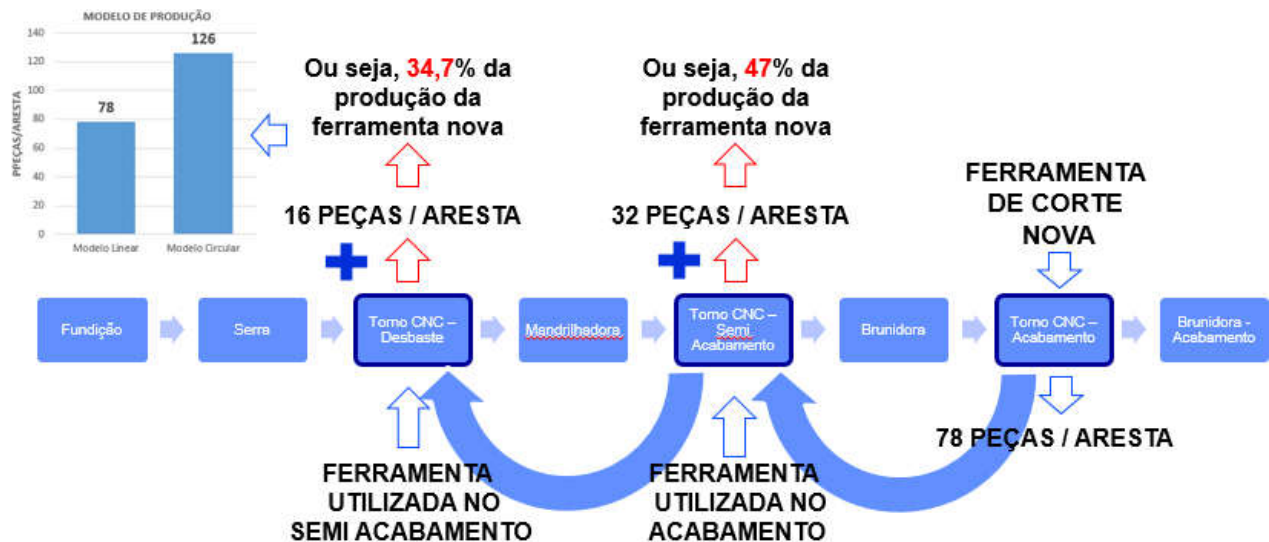


Fig.6: Resultados da Linha de Usinagem das Camisas – Baseada na Economia Circular - 1ª Fase - Reuso e Redistribuição (Fonte: Autor)

A aplicação proposta aumentou a 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 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 segunda fase, a ferramenta após ser remanufaturada apresentou os seguintes resultados:

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

Assim, podemos observar que na terceira fase (reciclagem) as ferramentas foram descartadas após produzirem 206 peças (1ª Fase + 2ª Fase), contra 78 peças produzidas no modelo de produção linear.

Observando que nenhum dos parâmetros de produção foram modificados para essa aplicação.

4. Considerações Finais

Analisando as referências até o presente momento ficou constatada a baixa participação brasileira nas pesquisas relacionadas à economia circular comparativamente aos líderes na área, Europa, Estados Unidos, Austrália e China.

O destaque desses países pode estar associado a fatores como a realidade fabril, produtiva e ao nível tecnológico mais sofisticado e moderno de suas indústrias em relação às do Brasil, o que fortalece a realização de pesquisas na área.

A implantação da economia circular é possível como os resultados demonstraram, o aumento da vida

útil da ferramenta antes da sua reciclagem foi conseguida, mas não é uma tarefa que envolve somente as empresas. É necessário que todos os envolvidos no ciclo de vida de um produto entendam seu papel nesse novo modelo, para gerar e melhorar os modelos de gestão baseados na economia circular, afim que tenhamos lucro sem comprometer o meio ambiente para as novas gerações.

5. Bibliografia

ALIGLERI, L.; ALIGLERI, L. A.; KRUGLIANSKAS, I. 2016. Cradle to cradle: uma análise dos produtos certificados para limpeza geral e lavagem de roupa-Cradle to Cradle: an Analysis of Certified Cleaning Products and Clothes Washing. *GESTÃO. Org-Revista Eletrônica de Gestão Organizacional*, v. 14.

BAKKER, C., WANG, F., HUISMAN, J., DEN HOLLANDER, M., 2014. Products that go round: exploring product life extension through design. *J. Clean. Prod.* 69, 10 - 16.

BARTZ, T.; CEZAR, J.; PAULA B.BARTZ, A. 2014. Improvement of industrial performance with TPM implementation. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, v. 20, n. 1, p. 2-19.

BIRAT, J.-P., 2015. Life cycle assessment, resource efficiency and recycling. *Metall. Res. Technol.* 112 (206), 1 - 24. Castellani, V., Sala, S., Mirabella, N., 2015. Beyond the throwaway society: a life cycle-based assessment of the environmental benefit of reuse. *Integr. Environ.*

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretária Executiva. Fundo Nacional do Meio Ambiente (2012). Modelo de Gestão dos Resíduos Sólidos Urbano. Brasília, MMA – FNMA. Disponível em: www.mma.gov.br/port/fnma/doc/gestao.zip - Acesso em 20 outubro 2016.

DAVIM, J. P. 2010. Surface integrity in machining. New York: Springer.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. 2012. Towards the Circular Economy: Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition.

GENG, Y. et al. 2013. Measuring China's circular economy. *Science*, v. 339, n. 6127, p. 1526-1527.

GHISELLINI, P.; CIALANI, C.; ULGIATI, S. 2016. 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.

GOU, Z.; XIE, X. 2016 Evolving green building: triple bottom line or regenerative design?. *Journal of Cleaner Production*.

GUNASEKARAN, A., & NGAI, E. W. 2012. The future of operations management: An outlook and analysis. *International Journal of Production Economics*, 135(2), 687-701.

HUANG, S.; XU, X. 2017. A regenerative concept for thermoelectric power generation. *Applied Energy*, v. 185, p. 119-125.

KAUSCH, M. F.; KLOSTERHAUS, S. 2016. Response to 'Are Cradle to Cradle certified products environmentally preferable? Analysis from an LCA approach'. *Journal of Cleaner Production*, v. 113, p. 715-716.

MACHADO et al., A. R. 2009. Teoria da usinagem dos materiais. São Paulo: Blucher.

MARCONDES, F. C.; DINIZ, A. E.; COPPINI, N. L. 2003. Tecnologia da Usinagem dos Metais. 4ªed, Editora Artliber, São Paulo.

MERCHANT, M. E., DORNFELD, D., & WRIGHT, P. K. 2005. Manufacturing: its evolution and future. Berkeley. Retrieved from <http://escholarship.org/uc/item/36d27692>

MIAN, A. J., DRIVER, N., MATIVENGA, P. T. 2011. Identification of factors that dominate size effect in micro-machining. *International Journal of Machine Tools & Manufature*, 51, pp.383-394.

MIERLO, J. V.; KILELU, C. 2017. Revised work plan and strategies for 3R Kenya follow up of inception report. 2017.

MIRABELLA, N., CASTELLANI, V., SALA, S., 2014. Current options for the valorization of food manufacturing waste: a review. *J. Clean. Prod.* 65, 28 e 41.

MORENO, M. et al. 2016. A Conceptual Framework for Circular Design. *Sustainability*, v. 8, n. 9, p. 937.

NIERO, M; HAUSCHILD, M. Z.; OLSEN, S. I. 2016. Limitations and opportunities of combining Cradle to Grave and Cradle-to-Cradle approaches to support the circular economy. 10th Convegno Dell' Associazione Rete Italiana Lca 2016.

PAULIUK, S.; HERTWICH, E. G. 2016. Prospective Models of Society's Future Metabolism: What Industrial Ecology Has to Contribute. In: *Taking stock of industrial ecology*. Springer International Publishing, p. 21-43.

PRESTON, F.A. 2012. Global Redesign? Shaping the Circular Economy. *Energy, Environment and Resource Governance*. March 2012

RODRIGUES et al., A. R. 2010. Effects of milling condition on the surface integrity of hot forged steel. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Science & Engineering*, 32, pp. 37-43.

SANTIAGO, L.S.P. 2015. Transição para à Economia Circular: uma Explanção sobre os Metais. *Dissertação de Mestrado*. UFRRJ.

SIEGEL, R. P. 2016. Can 3-D Printing Go Green? *Mechanical Engineering*, v. 138, n. 10, p. 42.

SINGH, M. P.; CHAKRABORTY, A.; ROY, M. 2016. The link among innovation drivers, green innovation and business performance: empirical evidence from a developing economy. *World Review of Science, Technology and Sustainable Development*, v. 12, n. 4, p. 316-334.

STAHEL, W. R.; CLIFT, R. 2016. Stocks and Flows in the Performance Economy. In: *Taking Stock of Industrial Ecology*. Springer International Publishing, p. 137-158.

TWOMEY, P.; WASHINGTON, H. 2016. RELATING THE STEADY STATE ECONOMY TO THE GREEN, CIRCULAR AND BLUE ECONOMIES. *A Future Beyond Growth: Towards a Steady State Economy*, p. 129.

UTS, 2015. What Will a Circular Economy Look like in Australia. Available: <http://www.uts.edu.au/research-and-teaching/our-research/institute-sustainablefutures/news/what-will-circular-economy> (acessado 05.09.2016).

WIJFFELS, H. 2013. The Circular Economy. In: *Symposium Biorefinery for Food, Fuel and Materials*.

WRINKLER, H., 2011. Closed-loop production systems e a sustainable supply chain approach. *CIRP J. Manuf. Sci. Technol.* 4, 243 - 246.

WU, J. H., LIU, Z. Q. 2009. Modeling the minimum chip thickness in orthogonal microcutting. *Advanced Materials Research*, 69-70, pp. 203-208.

YAP, N. T. et al. 2017. *Industrial Ecology*. The Official Journal of the International Society for Industrial Ecology (ISIE), v. 21, n. 1.

ZAMCOPÉ, F. C.; ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R. 2012. Construção de um modelo para avaliação da

sustentabilidade corporativa: um estudo de caso na indústria têxtil. *Gestão e Produção*, v. 19, n. 2, p. 303-321.