

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

NATÁLIA RODRIGUES COSTA

**ECONOMIA CIRCULAR COMO PROPOSTA PARA O PROCESSO INDUSTRIAL
SIDERURGICO NACIONAL**

CURITIBA

2017

NATÁLIA RODRIGUES COSTA

**ECONOMIA CIRCULAR COMO PROPOSTA PARA O PROCESSO INDUSTRIAL
SIDERURGICO NACIONAL**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Especialista em Economia do Meio Ambiente, no Curso de Pós-Graduação em Economia do Meio Ambiente, Departamento de Economia Rural e Extensão, Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Professor Msc. Rodrigo Medeiros Ribeiro

Coorientador: Msc. Luciano Ramos Marques

CURITIBA

2017

TERMO DE APROVAÇÃO

NATÁLIA RODRIGUES COSTA

ECONOMIA CIRCULAR COMO PROPOSTA PARA O PROCESSO INDUSTRIAL SIDERURGICO NACIONAL

Monografia apresentada como requisito parcial à para obtenção do grau de Especialista no Curso de Economia do Meio Ambiente, Departamento de Economia Rural e Extensão, Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Msc. Rodrigo Medeiros Ribeiro
Departamento de Economia Rural e Extensão
Setor de Ciências Agrárias, UFPR

Coorientador: Msc. Luciano Ramos Marques
Mestre em Ciências dos Materiais
Setor de Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais,
UFRS

Curitiba, 08 de abril de 2017.

Dedico este trabalho aos meus avós: avó Mariinha, que já se foi há algum tempo; avô Zezé, que tanto se orgulhava da neta engenheira; avó Carmem, que tanto sofria por todas as viagens e andanças dessa neta, e avô Antonio, que da roça vê os netos explorando o mundo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, e à sua infinita misericórdia.

Agradeço aos meus pais, Luiz Antonio e Cassia, por tanto incentivo ao meu estudo continuado, e ao idealismo da filha.

Agradeço à Universidade Federal do Paraná pela disponibilização de um curso de especialização à distância em uma área de pesquisa tão oportuna.

Agradeço aos colegas da turma por todas as atividades compartilhadas e discussões desenvolvidas, seja nos fóruns oficiais, nas redes sociais, nas aulas presenciais ou nos encontros após as aulas.

À Elisa da Costa Guida, minha amiga Lili, Engenheira Ambiental como eu, idealista como eu, que mesmo com os afazeres diários de empreendedora nesse “universo verde”, dedicou algumas horas na leitura desta produção, engrandecendo-a com dicas valiosas.

Por fim, agradeço ao professor orientador Rodrigo, que sempre me atendeu e compreendeu as dificuldades de uma aluna que, antes de estudante, é profissional na indústria do aço, e ao Luciano, colega de trabalho e grande conhecedor de siderurgia, que aceitou ser coorientador nessa empreitada.

A todos os que me ouviram falar tanto de Economia Circular, meu muito obrigada.

Viva. Ame. Aprenda. Deixe um
legado.
(STEPHEN R COVEY)

RESUMO

A economia de exploração e descarte vem apresentando indícios de saturação, fazendo com que alternativas sejam desenvolvidas no intuito de promover a sustentabilidade no desenvolvimento, e a economia circular desponta como resposta às lacunas criadas pelo sistema linear de produção. O presente trabalho objetiva apresentar conceitos acerca da economia circular, suas tendências de desenvolvimento e sua aplicação à indústria do aço, notadamente à nacional. Para tal, realizou-se levantamento bibliográfico dos temas considerando publicações especializadas em economia circular, relatórios e documentos de organizações de classe e indústrias siderúrgicas, produções de organizações governamentais, não governamentais e acadêmicas. Foi possível observar a relevância com que a circularização da economia passou a ser estudada e aplicada ao longo da última década, principalmente na Europa e na Ásia. Em contrapartida, atestou-se a inexistência de plataforma nacional rumo à economia circular, bem como a pouca organização da indústria do aço para tal mudança no modo de produzir. O trabalho propõe iniciar discussões sobre o tema no ramo siderúrgico como proposta alternativa de promoção de resiliência e competitividade do setor.

Palavras-chave: Economia Circular, Siderurgia, Indústria do Aço, Sustentabilidade

ABSTRACT

The economy of exploration and disposal has shown signs of saturation. In order to promote sustainable development, the circular economy emerges as a response to the gaps created by the linear system of production. This paper aims to present concepts about the circular economy, its development trends and its application to the steel industry, especially to the national context. For this, a bibliographical survey of the topics was carried out considering publications specialized in circular economy, reports and documents of class organizations and steel industries, productions of governmental, non-governmental and academic organizations. It was possible to observe the relevance with which the circularization of the economy began to be studied and applied during the last decade, mainly in Europe and Asia. On the other hand, there was no evidence of a national platform for the circular economy, as well as the lack of organization of the steel industry for such a change in the mode of production. The paper proposes to initiate discussions on the subject in the steel sector as an alternative to promote resilience and competitiveness of the sector.

Key-words: Circular Economy, Steel Industry, Sustainability

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. O Sistema Linear de Produção	16
Figura 2. A Bomba Potencial do Sistema Linear de Produção	18
Figura 3. Diagrama Circular	22
Figura 4. Mercado de Trabalho na União Europeia frente à Economia Circular	24
Figura 5. A Rota Integrada de Produção do Aço	27
Figura 6. Etapa de Refino.....	28
Figura 7. A Rota Semi-integrada de Produção do Aço.....	29
Figura 8. Diagrama Esquemático da Produção Semi-integrada.....	30
Figura 9. Produção Mundial de Aço, em Milhões de Toneladas	32
Figura 10. A Economia Circular na Siderurgia	35
Figura 11. Potencial Mundial do Reuso do Aço.....	37
Figura 12. Produtos e Subprodutos da Produção de Aço	39

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	JUSTIFICATIVA.....	14
1.2	OBJETIVOS	14
1.2.1	Objetivo Geral.....	14
1.2.2	Objetivos Específicos	14
2	METODOLOGIA.....	15
3	ECONOMIA CIRCULAR	16
3.1	DESAFIOS DO SISTEMA LINEAR DE PRODUÇÃO	16
3.2	ECONOMIA CIRCULAR COMO SOLUÇÃO	19
3.2.1	Escolas de Pensamento	19
3.2.2	Os Princípios e Características da Economia Circular	20
3.2.3	Oportunidades da Economia Circular	23
4	A INDÚSTRIA SIDERÚRGICA.....	26
4.1	ROTAS TECNOLÓGICAS DE PRODUÇÃO DO AÇO	26
4.2	PANORAMA SIDERÚRGICO MUNDIAL.....	31
4.3	PANORAMA SIDERÚRGICO NACIONAL.....	32
5	A ECONOMIA CIRCULAR NA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA	34
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
6.1	A TEMÁTICA DA ECONOMIA CIRCULAR NA SIDERURGIA MUNDIAL	41
6.2	A TEMÁTICA NO ACERVO CIENTÍFICO NACIONAL	42
6.3	A TEMÁTICA NAS INSTITUIÇÕES E INDÚSTRIAS SIDERÚRGICAS DE ATUAÇÃO NACIONAL.....	43
6.4	OPORTUNIDADES E DESAFIOS DA ECONOMIA CIRCULAR NA SIDERURGIA NACIONAL.....	44
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
	REFERÊNCIAS.....	50

1 INTRODUÇÃO

Para produzir todos os bens e serviços dos quais a humanidade necessita em seu cotidiano, utilizam-se alguns fatores básicos, que, na teoria econômica, são denominados fatores de produção, classicamente: os recursos naturais, que correspondem aos estoques e reservas provindos do planeta Terra; o trabalho, que deriva da atuação laborativa do ser humano; e o capital, que compreende aquele monetário, e todos os advindos da transformação de matéria-prima em produto.

Desde a Revolução Industrial, a economia seguiu o modelo “extrair, transformar, descartar” (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015), em que todo o crescimento econômico depende do consumo de recursos naturais finitos. Tal linearidade traz consigo, em uma das pontas, o risco iminente do esgotamento de matérias primas, e, na outra, um volume incalculável de resíduos de processo. De acordo com a Organização Internacional *Global Footprint Network*, anualmente, a humanidade consome recursos de cerca de 1,6 planetas Terra e, considerando as taxas demográficas crescentes, em 15 anos as necessidades de recursos tenderão a dois planetas (OVERSHOOT DAY, 2016). Portanto, nos processos produtivos atuais, a transformação rápida e linear de recursos em resíduos ultrapassa a capacidade ecológica de recuperação.

Considerando o delineado, parece ser direta a conclusão acerca da necessidade de mudanças que promovam resiliência do sistema socioeconômico, e o conceito da Economia Circular (EC) traz consigo tal quebra de paradigma, propondo que o valor do recurso natural extraído seja mantido em circulação, dado objetivo de “manter produtos, componentes e materiais em seu mais alto nível de utilidade, o tempo todo” (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015).

O modo de produção da EC tem provado ser vantajoso para alcance do almejado desenvolvimento sustentável, por promover crescimento econômico, justiça social e equilíbrio ambiental. Exemplos como da União Europeia, Japão e China, que têm plataformas econômicas já com fundamentos circulares, apresentam perspectivas de aumento na oferta de empregos, melhor distribuição de renda e restauração de ambientes degradados.

Dessa forma o presente trabalho busca fornecer mais informações sobre o tema afim de fomentar sua pesquisa, dado potencial de utilização no cenário nacional, com enfoque dado à indústria siderúrgica, em função da importância econômica no país e as potencialidades inerentes dos processos recicladores de metais.

1.1 JUSTIFICATIVA

O que impulsionou a realização desse trabalho foram demandas de busca por novas formas de gestão e negócio na siderurgia, ramo de atuação da autora da pesquisa. A descoberta da EC como possível solução para contrapor à volatilidade do mercado siderúrgico deu-se a partir da participação em workshops e palestras sobre o tema e seus desdobramentos. Corroboraram para pesquisa as recentes crises da indústria do aço, a necessidade iminente de reduzir a dependência de recursos minerais e de implementar formas inovadoras de gestão de resíduos. Usando de conceitos, definições e exemplos internacionais, pretende-se apresentar potenciais de aplicação da EC à indústria do aço em nível nacional para seus tomadores de decisão.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Propor a utilização da Economia Circular como um modelo para setor siderúrgico no Brasil.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- a) Abordar os principais conceitos que fazem parte do modelo de EC;
- b) Contextualizar o modelo frente ao processo industrial de produção do aço;
- c) Demonstrar onde o modelo já funciona e como é executado;
- d) Apresentar o status do modelo no contexto siderúrgico nacional e;
- e) Verificar as oportunidades e os desafios da modelagem circular na indústria siderúrgica nacional a partir dos conceitos apresentados e modelos internacionais.

2 METODOLOGIA

Para que sejam atingidos os objetivos mencionados, requer-se um entendimento global do modelo da EC, suas bases conceituais e enfoques, bem como faz-se necessário explanar acerca do processo produtivo do aço. Além disso, faz-se necessária uma apresentação do mercado siderúrgico nacional.

Os procedimentos metodológicos utilizados para o desenvolvimento deste trabalho envolvem, quanto aos meios, pesquisa bibliográfica no que concerne às rotas tecnológicas de produção do aço e atuação no mercado brasileiro, e do modelo da EC, objetivando sua descrição e contextualização. A pesquisa bibliográfica se deu a partir de material científico disponível, sendo em sua grande maioria publicações de entidades do setor siderúrgico, principalmente *World Steel Association* e Instituto Aços Brasil, e patrocinadoras do modelo circular, com destaque para a *Ellen MacArthur Foundation*. Foram ainda considerados artigos com enfoque ao desenvolvimento da EC na siderurgia em nível internacional (particularmente europeu), advindos principalmente de publicações da União Europeia e do Fórum Econômico Mundial. Finalmente, produção acadêmica nacional e material interno de companhias siderúrgicas.

Quanto aos fins, a metodologia utilizada envolve processo exploratório, dado pouco conhecimento nacional desenvolvido na temática central, e uso de ferramentas de busca em websites das principais companhias siderúrgicas em níveis mundial e nacional; e descritiva, uma vez que o alcance dos objetivos inclui a verificação do processo siderúrgico dentro da nova onda econômica apresentada.

A primeira etapa deu-se na definição dos objetivos e determinação do escopo de trabalho. Foram priorizadas referências relevantes e confiáveis, publicadas em passado não superior a dez anos. Já a etapa exploratória foi realizada por meio de busca de palavras-chave na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD), nos dispositivos de busca dos websites das companhias siderúrgicas, nas seções de meio ambiente e/ou sustentabilidade, e também nos relatórios anuais ou relatórios de sustentabilidade.

Finalmente, frente aos exemplos internacionais apresentados, foram escolhidos temas correlacionados e contribuintes para a EC, para verificação de pontos fortes, tendências e oportunidades em âmbito nacional.

3 ECONOMIA CIRCULAR

3.1 DESAFIOS DO SISTEMA LINEAR DE PRODUÇÃO

A economia a nível global evoluiu, ao longo dos últimos 200 anos, dominada pelo modelo linear de produção, isto é, em que mercadorias são produzidas a partir de matérias-primas virgens, vendidas e usadas para, quando obsoletas, serem descartadas como resíduos (Figura 1).



Figura 1. O Sistema Linear de Produção

Fonte: IDEIA CIRCULAR, 2016

Tal processo desenvolveu-se dada facilidade de obtenção e descarte de recursos, contudo, congrega ao longo da cadeia de valor, perdas significativas (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015):

- a) Perdas na cadeia produtiva, isto é, recursos que não chegam a fazer parte do produto final;
- b) Resíduos ao final da cadeia, uma vez que para grande parte dos materiais os custos de recuperação são menores que aqueles advindos da manufatura de produtos primários;
- c) Uso de energia: perda da energia residual existente nos produtos em final de vida; e
- d) Erosão dos serviços ecossistêmicos, tais como regulação do clima e da disponibilidade global de água, além dos custos relacionados à contenção de perda de solo agricultável.

Quatro importantes riscos devem ser considerados no tocante ao modelo econômico vigente. O primeiro, riscos de preços, relaciona-se à volatilidade do mercado, principalmente de recursos básicos, ou seja, aqueles advindos de processos minerários e agrícolas (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013a). O segundo, risco de recursos, ligado a finitude dos recursos básicos e de energia, e ao consumo, em algumas regiões, superior à disponibilidade natural ou à capacidade de geração.

O terceiro, degradação dos sistemas naturais, e as ações regulamentares para o seu controle, a saber todo o arcabouço legal ambiental mundial relativo às principais externalidades negativas, e os diversos protocolos internacionais (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013b). O quarto, riscos políticos, dada a vulnerabilidade da grande maioria da comódites frente a crises políticas, e a prevalência da disponibilidade de recursos em nações instáveis (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015).

Além disso, deve-se considerar as tendências de crescimento populacional. Índia e China, países mais populosos do mundo, dobraram seus produtos internos brutos (PIB) em 16 e 12 anos, respectivamente. Comparativamente, no Reino Unido, o mesmo crescimento se deu em mais de 150 anos (ROSER; NAGDY, 2016). Associa-se a isso o desenvolvimento das classes médias consumidoras – segundo estudos do *Instituto McKinsey* (DOBBS; OPPENHEIM; THOMPSON, 2012), até 2030, mais de três bilhões de pessoas ascenderão à tal classe, com grande impacto na demanda por recursos – uma bomba potencial, segundo definido por estudos Banco Mundial (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013b) (Figura 2).

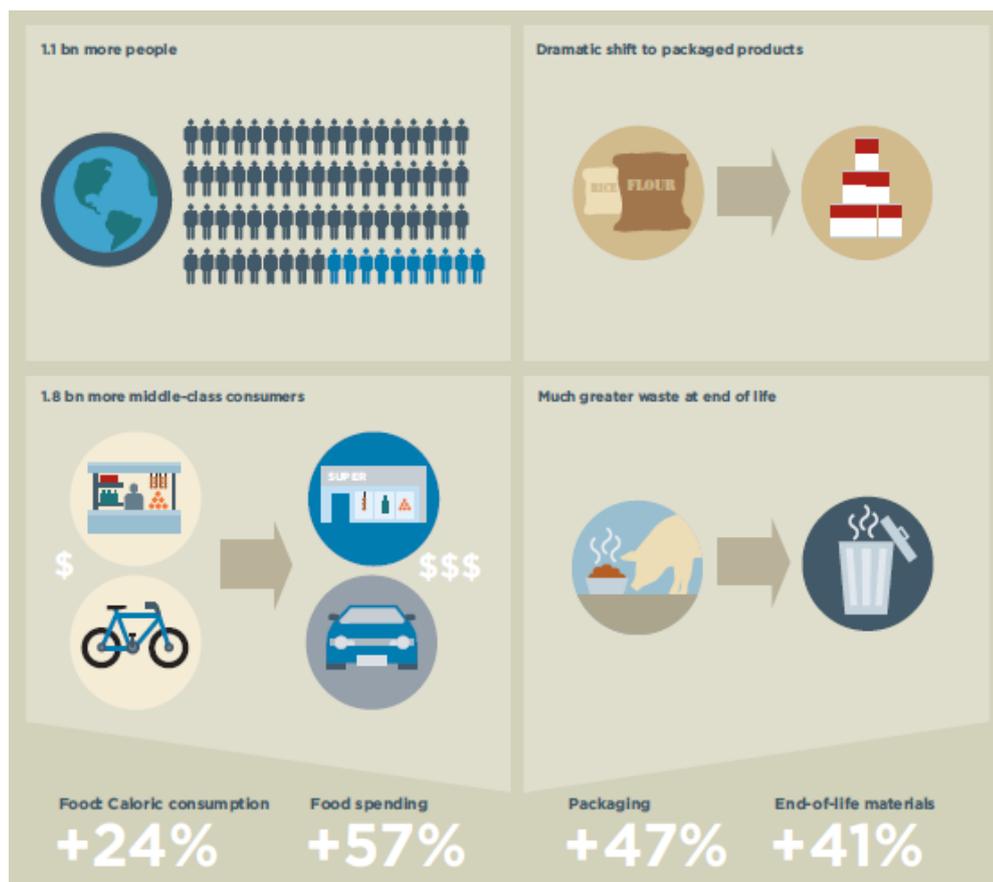


Figura 2. A Bomba Potencial do Sistema Linear de Produção¹

Fonte: ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013b

Logo, tal prospecto sublinha a necessidade de alteração nos modelos de negócios, nos quais mais produtos possam ser reusados, remanufaturados, redistribuídos e reciclados, dentro da ótica circular (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013a), dissociando o desenvolvimento econômico do consumo de recursos finitos. O pensamento sistêmico da EC parece, portanto, alternativa de alta favorabilidade.

¹Traduções da Figura 2:

1.1 bn more people: 1.1 bilhões de pessoas a mais

Dramatic shift to package products: aumento “dramático” de produtos embalados

1.8 bn more middle-class consumers: 1.8 bilhões de consumidores de classe média a mais

Must greater waste and end of life: maior desperdício e fim de vida de produtos

Food - caloric consumption: Alimentos – calorias consumidas

Food spending: Gastos com alimentos

Packaging: Embalagens

End-of-life materials: Materiais em fim de vida

3.2 ECONOMIA CIRCULAR COMO SOLUÇÃO

3.2.1 Escolas de Pensamento

Dentro desse contexto, a partir da década de 1970, algumas escolas de pensamento sistêmico surgiram, com enfoque em, inserindo ou retirando variáveis do processo econômico, chegar a uma resultante com mais externalidades positivas que negativas. Inicialmente, cita-se o conceito do Design Regenerativo, de John Lyle, por meio do qual o conceito de regeneração poderia ser aplicado não somente à agricultura, mas a todos os outros meios de produção (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2016). Tal escola, anos mais tarde, transformou-se no atualmente conhecido *cradle-to-cradle*, ou “do berço-ao-berço”, no qual os resíduos são nutrientes, tal como acontece na natureza: ao final do seu ciclo de vida, os materiais podem voltar aos ciclos ecológicos (nutrientes biológicos) ou voltar aos ciclos produtivos (nutrientes técnicos) (BRAUNGART; MCDONOUGH, 2014).

A filosofia da Economia de Serviços, ou Economia de Desempenho, foi conceitualizada por Walter Stahel em 1976, em seu relatório “O Potencial de Substituir Mão de obra por Energia”, e apresentou o ideal de economia em círculos como um conceito genérico, em torno do qual gravitam uma série de princípios básicos (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2016).

A Biomimética, por sua vez, baseia-se na “imitação da natureza”, desenvolvendo produtos e processos a partir de “boas ideias” naturais. Nessa inovação com inspiração natural, três princípios são importantes: a natureza como um modelo para solução de problemas humanos, como um método para julgar a sustentabilidade das inovações, e como um guia de aprendizados (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013a).

Já a Ecologia Industrial, segundo a mesma publicação, adota uma visão sistêmica o mais próximo possível dos ambientes vivos, focando na restauração do capital natural e no bem-estar social. Em se tratando de ecologia, estuda como matéria e energia fluem dentro dos sistemas industriais

Por fim, a Economia Azul, reúne estudos de caso baseado em 21 princípios base, enfatiza a gravidade como energia principal e trabalha com a customização de soluções segundo características físicas e ecológicas locais (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2016a).

Dessa forma, a EC passa a ser um conceito restaurativo e regenerativo (Design Regenerativo), fundamentado em análise de ciclo de vida e processos não lineares (*Cradle-to-cradle* e Economia do Desempenho), que, considerando modelos naturais e sistêmicos (Biomimética e Ecologia Industrial) como parâmetros, pretende desenvolver o sistema econômico pela erradicação do desperdício em qualquer escala (Economia Azul). Trata-se da gestão de dois fluxos, um concebido para reentrar na biosfera com segurança, que abrange os fluxos de materiais renováveis e envolve consumo, e outro para circular em alta qualidade sem alcançar a biosfera, envolvendo uso (e não consumo) dos estoques de materiais finitos (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION 2013a; 2015).

Sendo assim, consiste em um ciclo contínuo de desenvolvimento positivo que minimiza os riscos e perdas da economia linear - no qual o “lixo” não existe - e desenvolve-se um novo contrato entre consumidores e fornecedores, especialmente para os nutrientes tecnológicos, baseado na performance dos produtos ao longo do ciclo de vida (WORLD ECONOMIC FORUM, 2014), com aporte de tecnologia e mínimo gasto energético (LETT, 2014).

3.2.2 Os Princípios e Características da Economia Circular

Segundo a organização *Ellen MacArthur Foundation*, criada em 2000 e principal detentora de conhecimentos e iniciativas rumo à EC, o conceito baseia-se em três princípios (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015):

- a) Controlar estoques finitos e equilibrar fluxos de recursos renováveis: promovendo a entrega virtual de produtos e serviços ou, quando impossível, escolhendo tecnologias e processos que utilizem recursos renováveis e de alta performance, criando ainda condições para regeneração do sistema;
- b) Otimizar o rendimento de recursos, agregando valor o tempo todo: projetar para a remanufatura, a renovação e a reciclagem, para que os nutrientes técnicos continuem circulando; reduzir o tamanho dos ciclos, maximizando o número dos ciclos ou o tempo de cada um; e para que os nutrientes biológicos tenham o máximo de valor extraído;
- c) Estimular a efetividade do sistema: por meio da exclusão das externalidades negativas desde o princípio.

Embora tais princípios caracterizem a EC, as cinco outras características trazem o conceito para a prática (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013a):

- a) Perdas são excluídas: dentro da EC, não há geração de resíduos e, para isso, os produtos são especialmente projetados. Os nutrientes biológicos devem ser altamente biodegradáveis e facilmente retornáveis ao ecossistema, enquanto que os materiais técnicos são projetados para recuperação, renovação e atualização com mínimo gasto energético;
- b) Diversidade valorizada: em repetição da resiliência dos ambientais naturais biodiversos, a EC valoriza economias em que negócios de diferentes portes coexistam;
- c) Uso de fontes renováveis de energia: o uso de tais fontes aumenta a resiliência dos sistemas ao reduzir a dependência de recursos diretamente influenciados por disponibilidade e crises. Limiares reduzidos de energia também são fatores preponderantes;
- d) Pensamento sistêmico: a EC é holística, e trata o mercado como um grande organismo, em que empresas, consumidores e até mesmo os recursos naturais fazem parte de um mesmo sistema complexo;
- e) Preços refletem custos reais: na EC, as externalidades negativas e positivas são internalizadas, bem como os valores dos serviços ambientais prestados, para, ao final, resultarem no real custo dos produtos e serviços.

A figura 3 resume os princípios e características da EC, tratando, do lado direito, do fluxo dos nutrientes técnicos, e, no lado esquerdo, da cadeia de nutrientes tecnológicos. Analisar um processo produtivo dentro do ciclo proposto pela EC considera, então, a compreensão de todo o ciclo de vida de todos os nutrientes envolvidos.

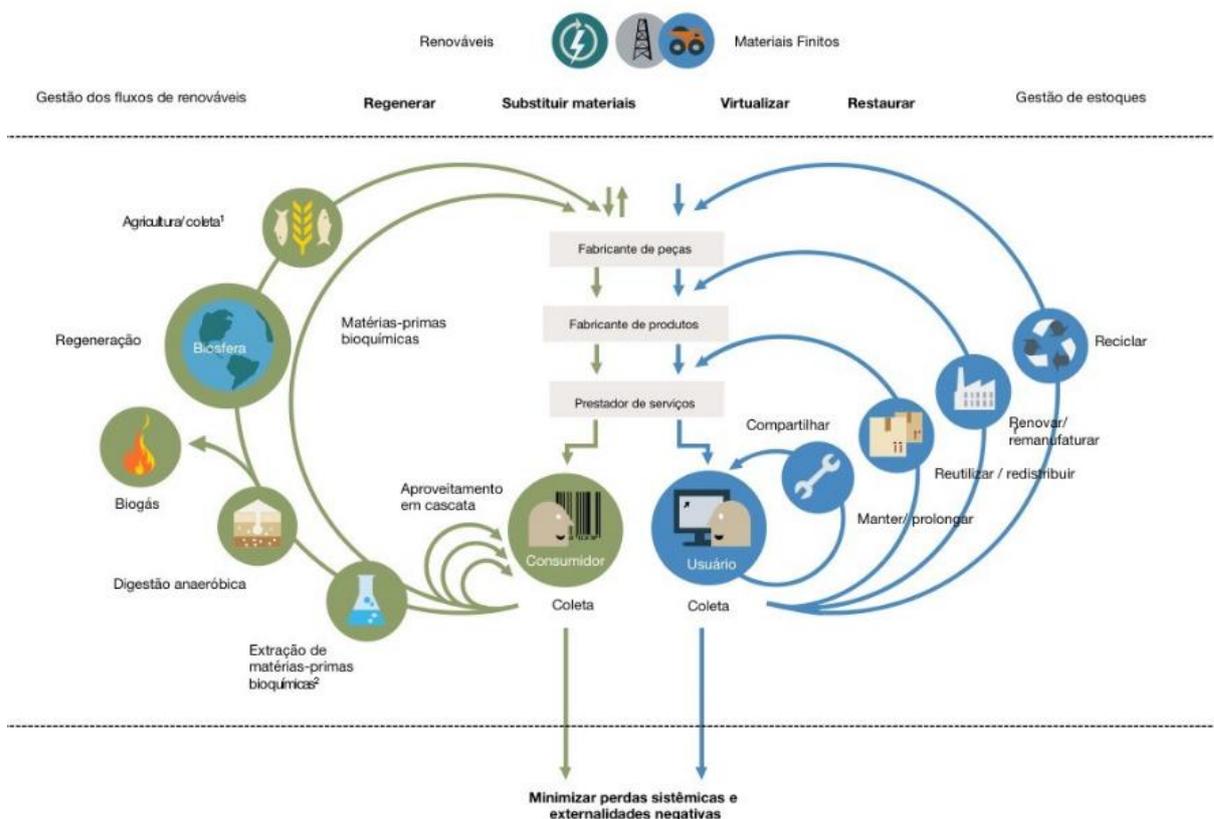


Figura 3. Diagrama Circular

Fonte: ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2016b

E, finalmente, a somatória dos princípios e das características promovem quatro formas de criação de valor (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015; WORLD ECONOMIC FORUM, 2014; ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2014). A primeira, focada nos ciclos menores, preconiza manutenção e reparo, e, posteriormente, reutilização e remanufatura, sendo a reciclagem a última via considerada. A segunda, explicada pelo maior número, ou tempo de duração dos ciclos, tem inerente a ideia de que menos produto, mão de obra e energia precisarão ser utilizados para criar novos. A terceira, cascadeamento do reuso de um produto, em que o redesign e a desconstrução promove uma diversidade de usos até a devolução final à biosfera. A quarta, empodera os insumos puros e não contaminados, o que, principalmente para nutrientes técnicos, aumenta eficiência de coleta e distribuição, além de manter sua qualidade.

3.2.3 Oportunidades da Economia Circular

Estudos da *Ellen MacArthur Foundation (2015)*, em conjunto com as consultorias a SUN e a *McKinsey*, demonstram impactos positivos da inserção do modelo da EC na União Europeia frente ao conhecido tripé da sustentabilidade, a saber, promoção de desenvolvimento sustentável com justiça social, geração de divisas e equilíbrio ambiental.

Quanto às oportunidades ambientais, são destacadas possibilidade de redução de emissões de gases de efeito estufa em quase 50% nos próximos 15 anos, redução de 30% no consumo de materiais primários em todos os setores, recuperação de solos degradados em até 80% na visão 2050.

Economicamente, considerando a redução dos custos globais de produção e aumento de receita pela inserção de novas atividades, tem-se resultante de perspectiva de crescimento do PIB europeu em 27% até 2050, duas vezes mais que o previsto na atual economia linear. Isso se deve ao fato de redução de custos líquidos e aumento na geração de emprego e renda (Figura 4).

Para empresas, vê-se amplificação nas oportunidades de negócios, e redução de riscos frente à volatilidade dos mercados dependentes de produtos primários. Socialmente, dada a redução nos custos de produtos, os supracitados estudos apontam 11% de crescimento da renda familiar média da União Europeia.

Frente às oportunidades listadas, aos desafios do sistema linear de produção, aos riscos ambientais largamente estudados, à globalização acelerada movida pelas facilidades dos meios de comunicação, e à transição para uma sociedade com maior aceitação de negócios alternativos e colaborativos, os tomadores de decisão ao redor do mundo têm desenvolvido políticas públicas rumo a esse novo modo de guiar a economia.

O Japão, geológica e geograficamente limitado, iniciou, no começo dos anos 2000, um processo de circularização econômica fundamentado em políticas públicas acerca de gestão de resíduos e suprimento de recursos. Além disso, como preconizado pelos fundamentos da EC, houve mudanças no sistema educacional. A China, por sua vez, vem desenvolvendo políticas públicas desde 2003, via Lei de Produção Limpa, e, em 2009, implementou a Lei de Promoção da Economia Circular, que, com planos endereçados para os 50 anos seguintes, tem sua estratégica

baseada em tratamento de resíduos domésticos, eficiência energética e redução de emissões atmosféricas (WORLD ECONOMIC FORUM, 2014).



Figura 4. Mercado de Trabalho na União Europeia frente à Economia Circular

Fonte: ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015

Finalmente, na União Europeia, uma série de estudos vêm se desenvolvendo acerca dos potenciais e dificuldades da implementação da EC (UNIÃO EUROPEIA, 2014), com discussão de políticas públicas implementadas nos países membros. A principal publicação desse grupo está reunida no Manifesto para o Uso Eficiente de Recursos na Europa (UNIÃO EUROPEIA, 2014b), no qual são propostos uso de taxas aplicadas à utilização de certos materiais não recicláveis, o estímulo às embalagens totalmente recuperáveis, a criação da obrigatoriedade de uso de reciclados na composição de alguns produtos, e as facilidades na estruturação de novos negócios aderentes à EC.

O Fórum Econômico Mundial, organização criada em 1971 que reúne líderes empresariais, políticos, intelectuais e jornalistas, tem sido meio catalisador para a promoção da EC em nível mundial. Segundo seu relatório específico sobre o tema, *Towards the Circular Economy: Accelerating the scale-up across global supply chains*, existem 4 categorias de materiais cujos estudos demonstram maior viabilidade para implementação dos ciclos técnicos e biológicos preconizados pelo conceito da EC.

São eles os *future blockbusters*, materiais inovadores e advindos de tecnologia de ponta (tais como os relacionados a impressões em 3D e com biodesign); os *rough diamonds* (diamantes brutos), como são denominados os resíduos de processos dado potencial de preservação propiciado por sua reutilização; os *high potentials* (alto potencial), que têm como principal exemplo os polímeros, que são produtos com alto valor agregado, mas com dificuldades sistêmicas relacionadas à coleta, manutenção de qualidade e pureza, especificidade de fórmulas, cadeias de suprimento e tecnologias de tratamento; e finalmente os *golden oldies* (velhos dourados), que são os materiais já produzidos e utilizados em larga escala, com já estruturada cadeia de reciclagem, e com potencial imediato para a implementação. Dentro dessa última categoria, o aço é protagonista (WORLD ECONOMIC FORUM, 2014).

4 A INDÚSTRIA SIDERÚRGICA

4.1 ROTAS TECNOLÓGICAS DE PRODUÇÃO DO AÇO

O aço é uma liga metálica de ferro que contém até 2% de carbono e 1% de outros metais e ametais ligantes, adicionados segundo propriedades mecânicas exigidas pelo produto final (GERDAU, 2012a). Existem cerca de 3500 diferentes tipos de aço, com diferentes propriedades físicas, químicas e ambientais.

Globalmente, o aço é produzido em duas principais rotas: a integrada, que utiliza altos-fornos e tem como principais fases redução, refino e laminação, e como principais matérias-primas o minério de ferro, finos de cal e coque metalúrgico; e a semi-integrada, que opera nas fases de refino e laminação, utilizando como matéria-prima sucata, e como processo de refino na aciaria o uso de fornos elétricos a arco (GERDAU, 2012b).

Segundo dados da Organização Mundial do Aço (WORLD STEEL ASSOCIATION, 2016x'), cerca de 70% do aço mundial é produzido pela rota integrada, e 29% pela rota semi-integrada via fornos elétricos a arco. Uma terceira via, em processo de descontinuação, responde pelo 1% restante.

No processo integrado de produção do aço (Figura 5), a primeira etapa corresponde à preparação das matérias-primas brutas: o carvão, que pode ser de origem mineral ou vegetal (biorredutor), que é transformado em coque; e o minério de ferro, que é processado via pelotização, que corresponde à aglomeração dos finos em “pelotas” de tamanho definido para eficiência do processo do alto-forno, e via sinterização, via pela qual o minério é preparado quanto a características físicas e químicas, tais como resistência mecânica, porosidade, granulometria, composição química e redutibilidade (GERDAU, 2012a).

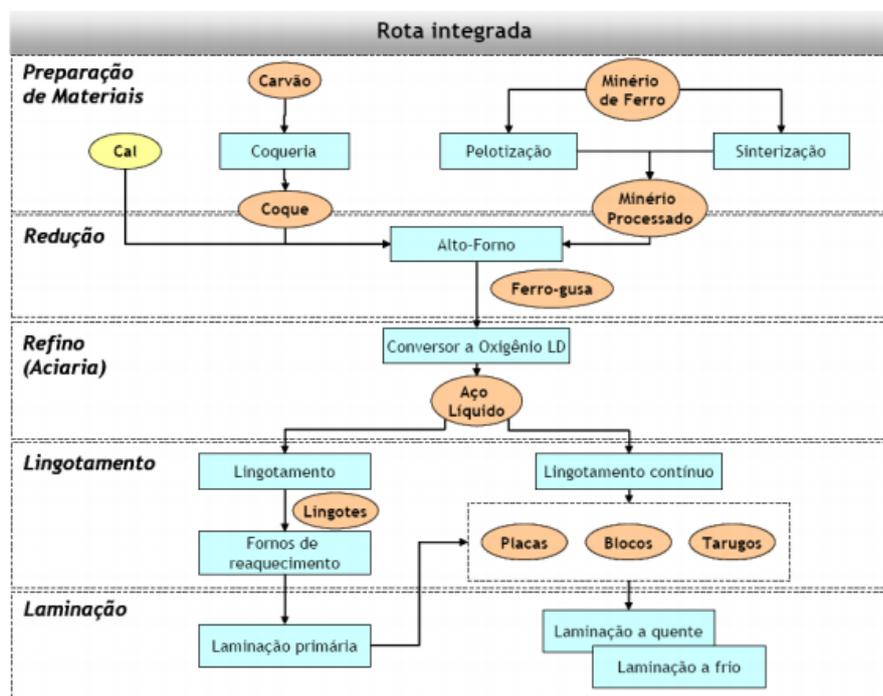


Figura 5. A Rota Integrada de Produção do Aço
 Fonte: EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2009

Na redução, via alto-forno, ocorre a transformação do minério de ferro em ferro-gusa (liga de ferro e carbono), por meio da redução induzida pelo coque. Ainda nessa etapa são adicionados fundentes e escorificantes – calcário calcítico e dolomítico em sua maioria – com a função de formar compostos com maior ponto de fusão ao agregar-se com impurezas do minério de ferro e do carvão, a saber sílica e alumina (GERDAU, 2012a). A escória de alto-forno é um coproduto com diversas aplicações, principalmente na indústria cimenteira, da construção civil e em obras de infraestrutura de transportes, modais ferroviário e rodoviário.

Os altos-fornos, embora sejam equipamentos de maior gasto energético do processo siderúrgico, têm capacidade de produção de gases que, após beneficiados, são fonte de energia para processos subsequentes, sendo, portanto, um dos mais relevantes processos de autogeração dentro da indústria do aço (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2016).

Na etapa seguinte, refino, insere-se oxigênio ao processo, com o objetivo de oxidar carbono, manganês, silício e fósforo presentes no ferro-gusa. Tal processo se desenvolve na aciaria, via conversor LD/BOF (Lins-Donawitz/ Basic Oxygen Furnace) (Figura 6). Após o carregamento do ferro-gusa líquido, e oportunamente ferro-gusa sólido e sucata para refrigeração (GERDAU, 2012b), e juntamente do sopro de

oxigênio, são adicionados fundentes e cal, objetivando alcance de propriedades químicas do banho e produção de escória via agregação dos inservíveis. A escória de LD/BOF, assim como a escória de alto-forno e a da aciaria elétrica (a ser apresentada no próximo tópico) é coproduto com alto valor agregado, principalmente para construção civil.

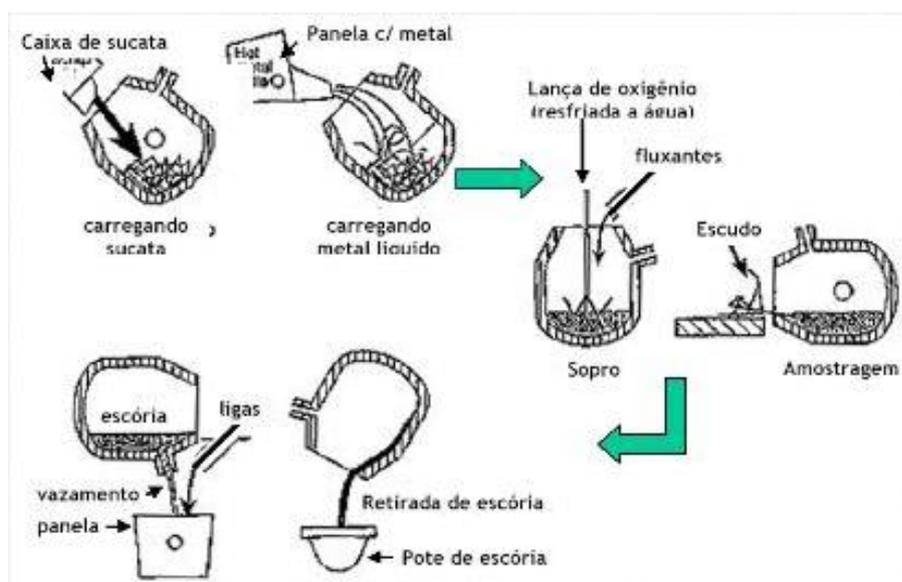


Figura 6. Etapa de Refino

Fonte: GERDAU, 2012a

O metal líquido é então lingotado e destinado às etapas posteriores de conformação mecânica. Tais processos serão explicados na próxima seção, como contínuos à aciaria elétrica das usinas semi-integradas.

Já nas usinas semi-integradas (Figura 7), o processo de fabricação do aço delimita-se em refino, que acontece na aciaria, e conformação, que acontece na laminação. Na fase de refino, o aço é propriamente produzido por meio de uma reação de oxidação do ferro, a partir do ferro-gusa, ou do ferro esponja, e sucata. Os insumos são oxidados afim de se reduzir os teores de carbono, silício, fósforo, enxofre e nitrogênio, aumentando o grau de pureza e lhe conferindo propriedades específicas. Tal oxidação é viabilizada pelo uso de energia elétrica, e, quando necessário, por outras fontes de energia.

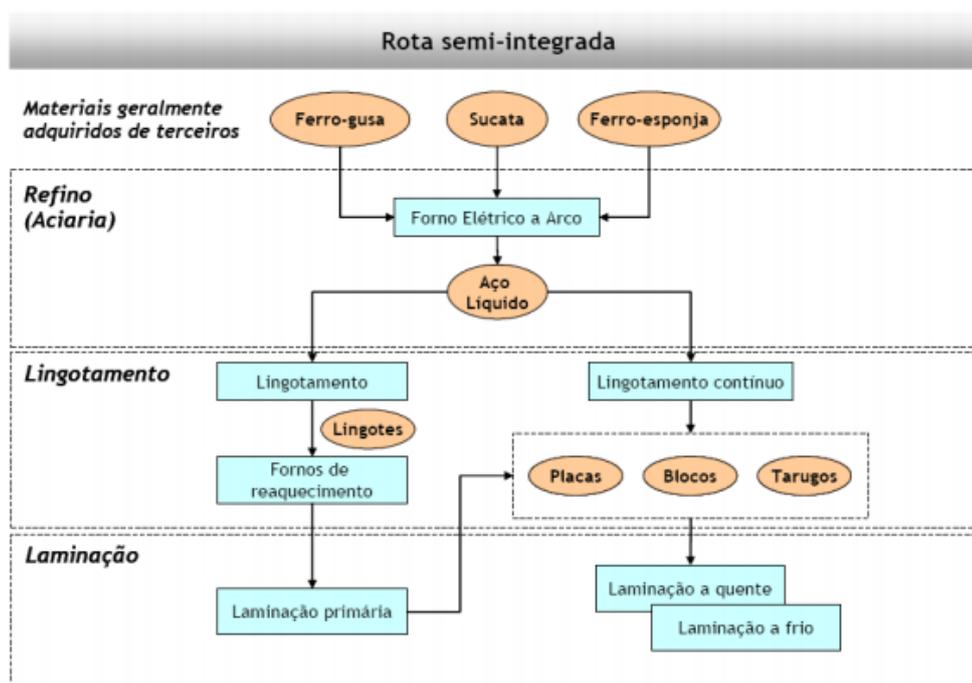


Figura 7. A Rota Semi-integrada de Produção do Aço
 Fonte: EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2009

A sucata é a principal matéria-prima desse processo de produção, respondendo tradicionalmente por 70 a 75% da constituição final do aço refinado (GERDAU, 2012a). Tal material pode advir de reaproveitamentos internos, de sobras de processos industriais subsequentes (como por exemplo, rebarbas de estamparia da indústria automotiva) e, principalmente, da obsolescência de material ferroso de origem diversa.

Sucata, ferro-gusa e demais elementos ligantes são carregados por meio de “cestões” dentro da “panela” de fusão. Após carregamento, os eletrodos são ajustados para permitir a formação do arco elétrico e dar início à fusão (Figura 8). Após a última etapa da fusão, e com o objetivo de reduzir teores de carbono e fósforo, inicia-se a etapa de refino oxidante, por meio da adição de oxigênio ao banho. O processo de fusão gera dois resíduos característicos: o pó de aciaria, composto de fumos metálicos diversos, e a escória, que congrega materiais diversos metálicos e não metálicos existentes no banho.

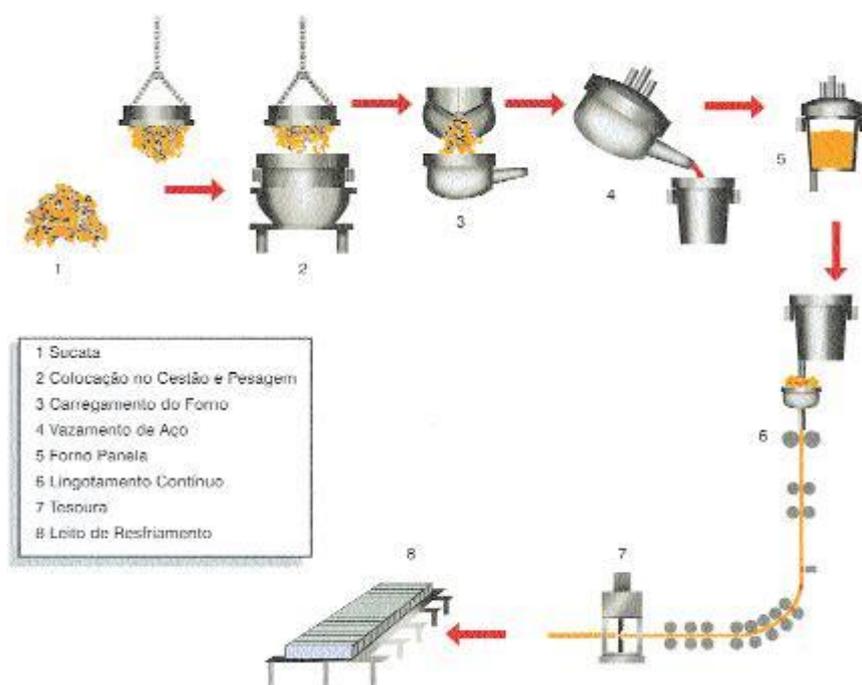


Figura 8. Diagrama Esquemático da Produção Semi-integrada

Fonte: GERDAU, 2012a

Quando a oxidação é completada, o metal é vazado (GERDAU, 2012a), iniciando a etapa do lingotamento, que consiste, basicamente, no despejo de aço líquido em moldes, para que, após resfriado, ganhe forma específica, denominada de lingotes. O processo de lingotamento apresenta duas tecnologias alternativas: o lingotamento convencional, donde o metal é vazado para lingoteiras individuais, e o lingotamento contínuo, no qual, o aço é vazado num funil distribuidor, que direciona o metal para moldes de forma contínua.

Os lingotes são então enviados para a próxima etapa, a laminação, que consiste em diversas etapas de aquecimento e processos de deformação em série. De forma geral, o material passa por dois cilindros girantes, que têm como objetivo a conformação mecânica do material. A laminação pode ser feita a quente ou a frio, e deve atender a especificações referentes a formas, dimensões, propriedades mecânicas e outras normas (GERDAU, 2012b). Quando o lingote não é transportado imediatamente para o processo de laminação, passa previamente por fornos de reaquecimento, cujos combustíveis principais são gás natural e óleo diesel. Também é a laminação, principalmente no processo à quente, uma das etapas com maior consumo de água, dada necessidade de resfriamento dos equipamentos de conformação. O principal resíduo desta etapa é a carepa, material oxidado de ferro

que é removido da superfície do lingote, que pode estar puro, com borra oleosa ou em emulsão de água e óleo. Da laminação, o aço conformado pode ser enviado para outros processos industriais, ou continuar em linha, para a produção de produtos finais laminados e trefilados, por exemplo.

O quadro 1, de produção própria, apresenta, de forma resumida, os insumos e subprodutos do processo de produção de aço.

<i>Insumos</i>		<i>Produtos</i>			
Energéticos	Materiais	Energéticos	Emissões Atmosféricas	Efluentes Líquidos	Resíduos Sólidos
Eletricidade	Sucata	Eletricidade	Inorgânicos: SO ₂ , NO ₂ , CO e CO ₂	Óleos e graxas	Escórias (de alto-forno, de aciaria, de refino secundário)
Gás Natural	Ferro gusa	Vapor	Material Particulado	Metais	Pós diversos
Óleo Diesel/ Óleo Combustível	Ferri ligas	Calor	Metais	Sólidos Suspensos	Carepa
Oxigênio	Calcário (calcítico e dolomítico)	Gás de alto-forno (autogeração)	Compostos orgânicos voláteis (VOC)	Amônia	Refratários
Carvão (mineral ou vegetal)	Água	Gás de coqueria (autogeração)	H ₂ S	Fenóis	Óleos
Vapor	Minério de ferro	Gás de aciaria (autogeração)	HCl/HF	Cianetos	
		Alcatrão	Organoclorados		

Quadro 1: Insumos e Produtos da Produção do Aço

Fonte: A AUTORA (2017)

4.2 PANORAMA SIDERÚRGICO MUNDIAL

A produção siderúrgica mundial tem crescido quase que monotonicamente, numa trajetória análoga à economia como um todo (Figura 9). No ano de 2016, atingiu patamar de mais de 1,6 milhões de toneladas de aço produzidas, com crescimento de mais de 500 mil toneladas apenas nos últimos 10 anos.

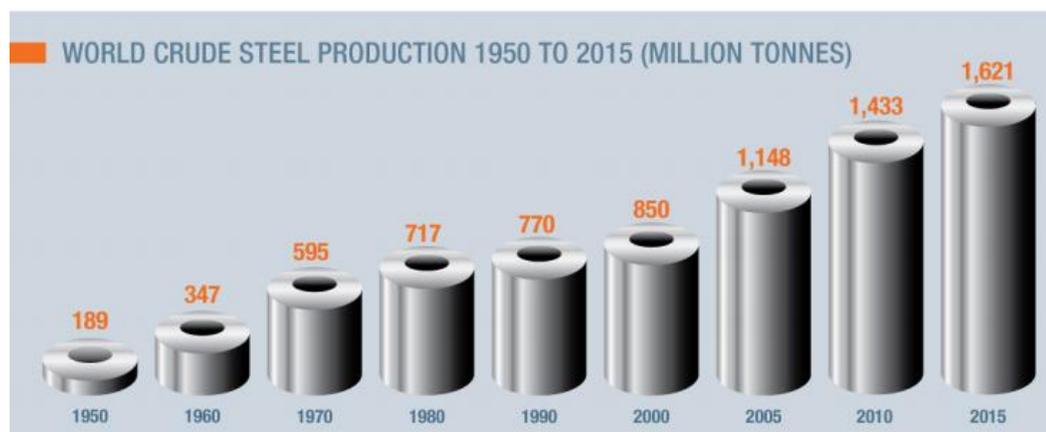


Figura 9. Produção Mundial de Aço, em Milhões de Toneladas

Fonte: WORLD STEEL ASSOCIATION, 2016b

Atualmente, os maiores produtores mundiais localizam-se na Ásia, e apenas a China responde por aproximadamente 50% do montante (WORLD STEEL ASSOCIATION, 2016b). Por sua característica de comódite, o aço produzido tem características normalizadas e uniformes, e preços negociados em bolsas de valores, fazendo com que a atuação de mercado seja globalizada. Além disso, a produção de aço é controlada por grandes grupos com escala e atuação globais, fazendo com que a expansão da capacidade de produção se dê na direção de otimização de resultados, frente aos principais mercados consumidores.

Embora tenha apresentado recessão no último ano, com capacidade instalada ociosa em quase todos os países produtores, dados oficiais da *World Steel Association* (2016c) apresentam aumento de mais de 50kg por pessoa no período 2001 a 2015, com perspectivas de aumento em 1,5 vezes em 2050.

4.3 PANORAMA SIDERÚRGICO NACIONAL

Dentro desse panorama, o Brasil ocupa a 8ª posição quanto à produção mundial, com mais de 30 milhões de toneladas de aço bruto produzidas em 2016 (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2016a). Para tal, 29 usinas siderúrgicas operam em todas as regiões – 14 integradas e 15 semi-integradas - com capacidade instalada de cerca de 49 milhões de toneladas por ano. Quanto à participação na produção, as 15 supracitadas respondem por 23% da produção bruta nacional (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2012).

Para alcançar os citados patamares de produção, segundo dados mais recentes publicados pelo Instituto Aços Brasil (2016b), foram utilizadas mais de 9,3 milhões de toneladas de sucata, e outras 28 milhões de toneladas de ferro-gusa, com 95,5% de recirculação de água industrial. Quanto aos resíduos, as estatísticas indicam a geração de quase 600 kg de material a cada tonelada produzida, com reaproveitamento de cerca de 88% dos coprodutos gerados. Já quanto à energia consumida, tem-se intenso uso de carvão mineral e coque (mais de 75% da matriz energética do setor), embora seja considerado um processo produtivo energointensivo também quanto à energia elétrica (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2016).

Frente a dados de estudos de demanda da Empresa de Pesquisa Energética (2015), o cenário de expansão do aço no Brasil é modesto, com previsão de incremento de 18 milhões de toneladas até 2024, com possível retomada de crescimento após esse período. Tal perspectiva decorre da relação direta entre queda de desempenho dos setores consumidores do aço e o processo de base. Ainda segundo estimativas da mesma entidade, o consumo per capita de aço no país passará de 147 kg/habitante/ano para 203 kg/habitante/ano, principalmente pela retomada de obras estruturais e desenvolvimento de processos alternativos de geração e transmissão elétrica, que consumirão aço e produtos com maior valor agregado.

A indústria mundial do aço busca manter o *status* tecnológico e seu crescimento sustentável, demandando desenvolvimento de alternativas que promovam sustentabilidade, dentre os quais citam-se eficiência energética e de uso da água, uso do carvão vegetal como biorredutor, promoção de uso de seus coprodutos e aumento no consumo de sucata – o aço pode ser reciclado indefinidamente e, segundo a Confederação Nacional das Indústrias (2012), é um dos protagonistas da inserção do país na agenda de economia verde. Frente a esse contexto, a reavaliação do processo produtivo e econômico, daquele linear, para um processo circularizado, parece ser alternativa para manutenção da competitividade.

5 A ECONOMIA CIRCULAR NA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA

O aço é um dos materiais primários mais utilizados no mundo e, segundo dados da *World Steel Association*, a demanda mundial do setor dobrará até 2050. Em contrapartida, dentre os processos industriais, é o maior consumidor de energia.

Segundo Broadbent (2016), a ideia de manter valor ao produto quando do alcance do final de seu ciclo de vida, e, ao mesmo tempo, reduzir ou eliminar os resíduos gerados, fundamento principal da EC, coloca o aço em vantagens competitivas, uma vez que estudos acerca do ciclo de vida do aço têm sido amplamente desenvolvido nos últimos 20 anos.

Dentro do conceito da EC, o aço tem vantagens competitivas que, segundo a *World Steel Association* (2015) podem ser delineadas por quatro palavras chave: redução, reutilização, remanufatura e reciclagem (Figura 10).

A primeira, redução, concerne tanto a busca pela eficiência nos processos, principalmente quanto ao uso de energia, quanto o desenvolvimento tecnológico que promove a descoberta de novos aços para mesmas aplicações, diminuindo, por exemplo, a quantidade de aço usado para mesmas propriedades mecânicas finais. O design desses produtos reduz a emissão de gases de efeito estufa durante a produção (menos aço produzido) e o transporte (cargas mais leves). O reuso é possível dada a durabilidade do aço, e já vem sendo aproveitado na indústria automobilística, em construções e linhas de trem.

Muitos produtos siderúrgicos, como motores automobilístico e turbinas eólicas, podem ser remanufaturados, com a vantagem da durabilidade de seus componentes. Por fim, a reciclagem, força motriz da EC na siderurgia.

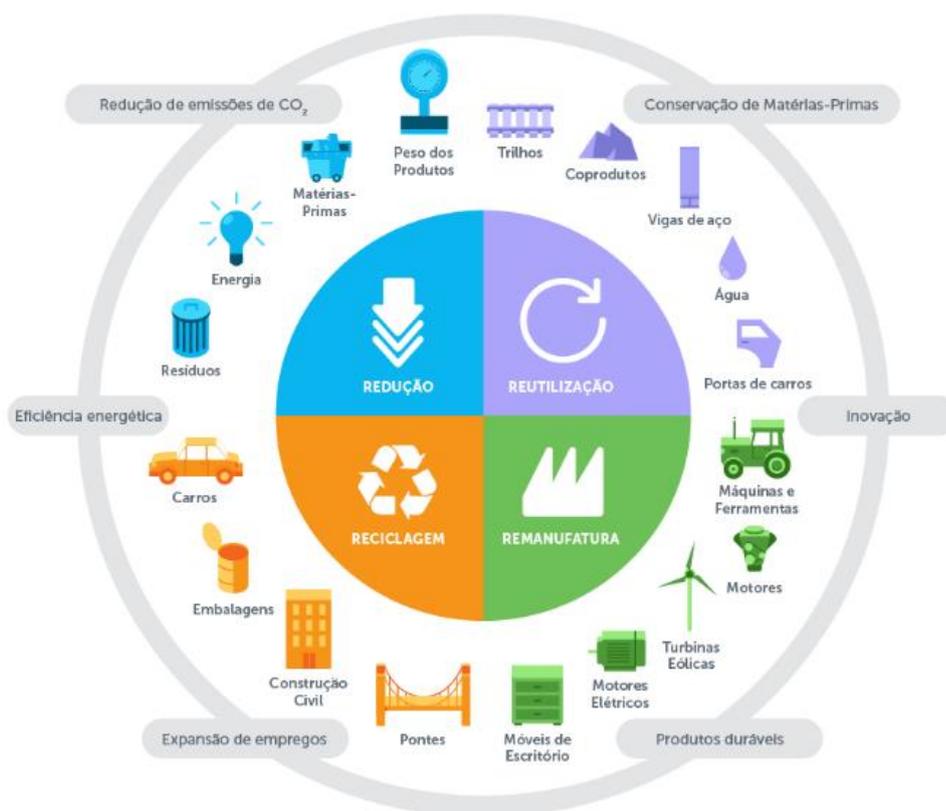


Figura 10. A Economia Circular na Siderurgia
 Fonte: INSTITUTO AÇO BRASIL, 2016b

O aço é 100% reciclável, e o valor final de um produto da indústria do aço não é determinado pelo percentual de sucata agregado – este pode variar de 5 a 100%. A União Europeia, que, desde 2010, vem desenvolvendo plataformas que garantam eficiência de processos, adota os metais, dentre os quais o aço, como elementos centrais de seu pacote rumo à EC (UNIÃO EUROPEIA, 2015).

A reciclagem do aço tem uma série de benefícios. Quanto aos ambientais, destaca-se menor intensidade de emissões de gases de efeito estufa e 20 vezes menos energia total consumida, quando em comparação com a produção primária. Quanto aos econômicos e sociais, destaca-se a criação de cadeias, e, como consequência, maior segurança em suprimentos.

Contudo, considerando a crescente demanda supracitada, nem todo o aço do mundo pode ser obtido pela via secundária, havendo, assim, coparticipação da via primária – aquela desenvolvida nas usinas integradas à base de minério de ferro. Entretanto, dado longo ciclo de vida – que é princípio da EC -, e manutenção de propriedades ao longo do mesmo, existe, atualmente, a criação de um estoque

antropogênico de aço, que poderá ser utilizado no futuro (HAGELÜKEN *et al.*, 2016). Os Estados Unidos tiveram, por exemplo, grande parte de sua produção de aço por meio da rota integrada ao longo do século XX, e tornaram-se a primeira potência mundial, com elevado nível de crescimento e de consumo. Como consequência, esse país tem, atualmente, maior oferta de sucata e consegue ter maior percentual de produção pela rota semi-integrada.

Na grande maioria dos casos, a via primária é tanto mais eficiente quanto menos impurezas forem toleradas no aço pretendido. Considerando o incremento supracitado na demanda, há contínua capacidade de absorção de sucata e, se mais sucata com alto valor agregado (isto é, com menos impurezas) for disponibilizada ao mercado, mais a rota recicladora (semi-integrada) será priorizada, representando assim um fluxo fechado de nutriente técnico, tal como preconizado na EC. Para isso, os produtos devem ser pensados em ciclos simplificados e com fácil desmontagem. Nesse contexto, a mesma sucata que apresenta vantagem à indústria do aço, é seu fator limitante.

Alguns desafios apresentam-se para o pleno desenvolvimento da EC na siderurgia. O primeiro está relacionado à capacidade de coleta de equipamentos em fim de ciclo de vida, ou ainda da coleta de resíduos. Aços cada vez mais específicos demandam ligas que dificultam a separação final de todos os componentes. Custos logísticos podem onerar a cadeia de reciclagem, fazendo com que os custos dos minérios brutos sejam mais atraentes. A presença de contaminantes, ou constituintes perigosos também são fatores críticos, assim como a existência de leis, regulações, e, por fim, o comprometimento dos consumidores de cada etapa dos ciclos. A figura 11, adaptada de Cooper (2015), apresenta uma comparação entre o reuso do aço, suas potencialidades e pontos críticos.

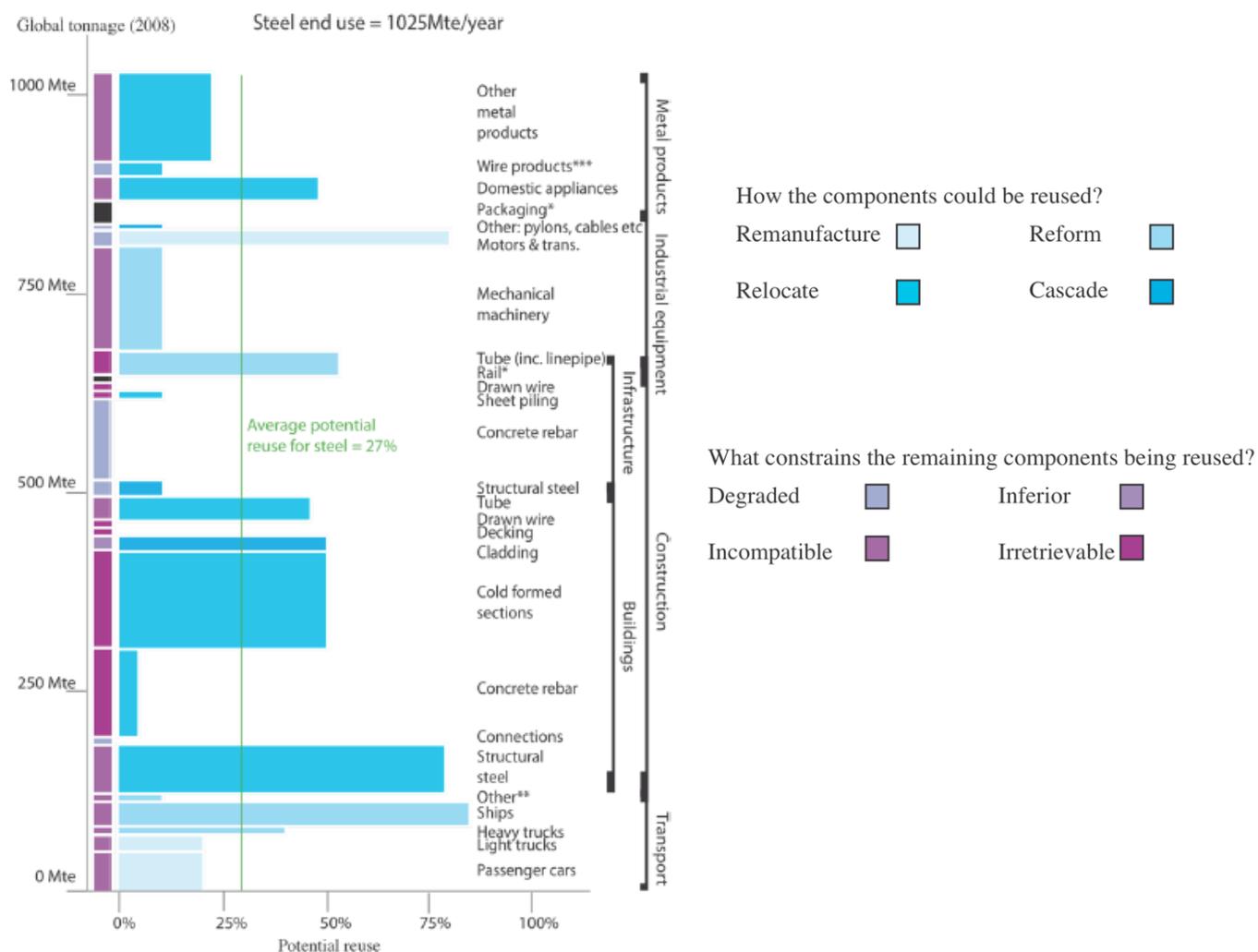


Figura 11. Potencial Mundial do Reuso do Aço²

Fonte: COOPER, 2015

² Leitura da figura:

- Eixo vertical: produção mundial do aço no ano de 2008
- Eixo horizontal: percentual de reuso
- Barras azuis: potencial de reuso para cada tipo de aço
- Marcas em tons de roxo: fatores limitantes para o reuso do aço em cada setor econômico

Traduções:

How the componentes could be reused: Como os componentes podem ser reutilizados

Remanufacture: remanufatura

Reform: reforma

Realocate: realocação

Cascade: cascadeamento

What constrains the remaining componentes being reused: O que pode dificultar o reuso dos componentes

Degraded: degradação

Inferior: qualidade inferior

Incompatible: incompatibilidade

Irretrievable: irrecuperável

O pleno desenvolvimento da EC depende também de políticas públicas que promovam a circularidade proposta, tais como aquelas citadas para Japão, Europa e China, e pesquisas científicas que busquem identificar e sanar perdas dos processos, principalmente por meio das análises quali-quantitativas do ciclo de vida dos produtos.

Outro ponto importante para viabilizar a EC dentro da siderurgia está nas iniciativas dos setores consumidores dos produtos de aço, a saber, principalmente a automobilística e a construção civil. A primeira tem como principal iniciativa a análise do berço ao túmulo de seus produtos, exigindo da siderurgia aços mais leves, eficientes, e com menor taxa de emissão de carbono equivalente desde o início da fabricação. A segunda exige, por exemplo, certificações acerca do processo produtivo, dentre os quais o renomado *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED), do Green Building Council's (US GREEN BUILDING COUNCIL, 2016). Oportunidades também existem na indústria da energia. O estabelecimento de segurança comercial na cadeia de suprimentos, com garantia de fornecimento, isto é, de que as siderúrgicas comprarão material sucata, e os fornecedores de matéria-prima terão suprimentos a oferecer, também é ponto crítico.

A resiliência da siderurgia, segundo economistas e estudiosos do setor, depende da consideração das externalidades do processo, a saber eficiência ambiental e impacto social, dentro do custo final do produto. Deve-se aqui ressaltar que, embora o aço seja 100% reciclado, sua produção não é 100% eficiente: para se produzir uma tonelada de aço em fornos elétricos a arco, são necessários cerca de 800kg de sucata, 300 kg de ferro (sob forma de ferro gusa ou ferro esponja), 16 kg de carvão e 64kg de calcário, com geração de cerca de 200kg de coprodutos (GERDAU, 2012b). E, dentro da EC, na visão de inexistência de resíduo, há ainda o desafio de gestão dos mesmos.

Mundialmente, 97,3% da matéria-prima utilizada para a fabricação de aço é convertida em produto final e coprodutos, com um desafio inferior a 3% para fechamento do ciclo (WORLD STEEL ASSOCIATION, 2016d) (Figura 12). Alguns subprodutos, como a escória, seja ela do alto-forno ou de forno elétrico, têm alto valor agregado e plena utilização na indústria da construção civil (em substituição ao cimento) e pavimentação (em substituição à rocha britada) em nível mundial, por vantagens técnicas e restrições legais quanto à sua destinação a aterros. No primeiro caso, o uso de escória pode reduzir em cerca de 60% as emissões de CO₂ e 42% da energia requerida para a fabricação de concreto.

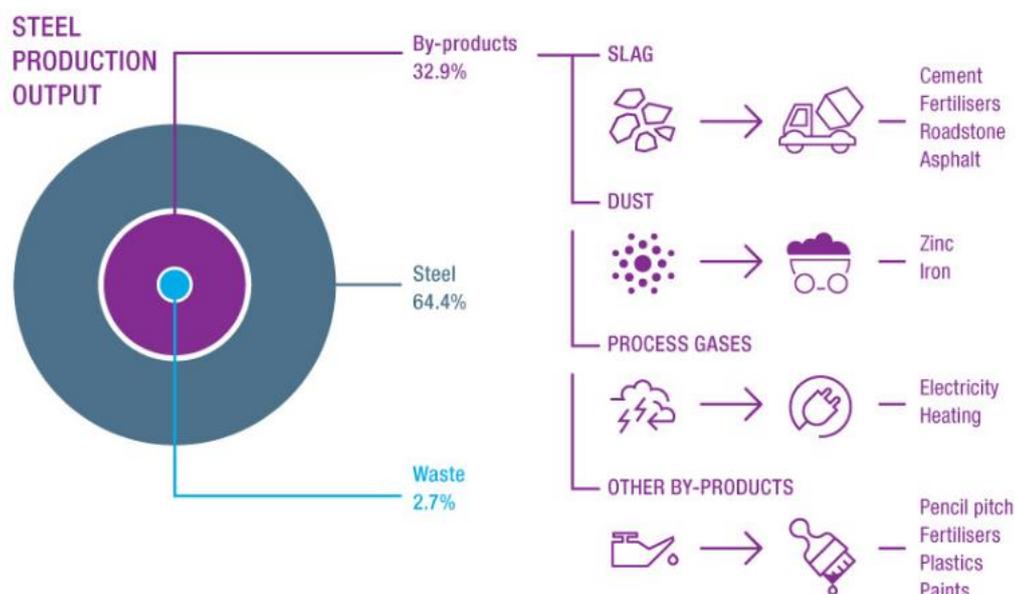


Figura 12. Produtos e Subprodutos da Produção de Aço³

Fonte: WORLD STEEL ASSOCIATION, 2016d

Outros subprodutos com tecnologias de recuperação e reuso já desenvolvidas são os advindos dos processos despoeiramento. Para os da rota integrada, tem-se recuperação de ferro e de substâncias como sulfato, benzeno, tolueno, xileno, alcatrão e naftaleno, utilizados em diversos ramos industriais, sendo originalmente advindos de fontes fósseis. Para a rota semi-integrada, destaca-se a recuperação e venda de zinco (WORLD STEEL ASSOCIATION, 2016e).

Deve-se ainda considerar aqueles portadores de ferro e carbono, como as carepas de lingotamento e laminação. Em nível mundial, diversas tecnologias para conversão destes subprodutos em metal líquido ou pré-reduzidos têm sido

³ Traduções da figura:

Steel production output: saídas da produção de aço

By-products: Coprodutos

Slag: escória

Dust: poeiras/pós

Cement/Fertilisers/Roadstone/Asphalt: cimento/fertilizantes/brita/asfalto

Process gases: gases de processo

Zinc/Iron: zinco/ferro

Other by-products: outros coprodutos

Pencil pitch/ fertilisers/plastics/paints: lãpis/fertilizantes/plásticos/tintas

Steel: aço

Waste: resíduo

desenvolvidas. Destaca-se a briquetagem, isto é, a substituição de unidades de ferro contidas na sucata ou no minério de ferro por briquetes de subprodutos que substituem a sucata na aciaria, briquetes refrigerantes que substituem o minério refrigerante. A Agência Europeia para o Controle e Prevenção da Poluição (EIPPCB) *apud World Steel Association* (2016), aponta que a reciclagem dos resíduos portadores de ferro e carbono gerados na aciaria e no alto-forno é a melhor solução técnica disponível na atualidade. A reciclagem interna dos materiais reflete o ciclo curto, incentivado pela EC.

Entretanto, ainda há uma série de subprodutos cuja destinação final é o aterramento, e, conseqüentemente, a geração de passivo, principalmente aqueles com altas concentrações de óleos e graxas. Segundo relatório publicado pelo grupo *European Steel Technology Platform* (entidade que congrega áreas de pesquisa e desenvolvimento das principais siderúrgicas europeias) em 2012, alguns projetos piloto de tratamento piro-metalúrgicos têm-se desenvolvido, mas ainda sem viabilidade técnica e comercial para uso em grande escala. Tais materiais são o maior desafio da indústria siderúrgica na cadeia circular (ESTEP, 2012).

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 A TEMÁTICA DA ECONOMIA CIRCULAR NA SIDERURGIA MUNDIAL

Para apresentar exemplos de onde o modelo da EC já funciona no contexto industrial siderúrgico, determinou-se como escopo de pesquisa as 10 maiores indústrias siderúrgicas mundiais em tonelagem produzida (Quadro 2). Dentro do website de cada uma das empresas, realizou-se busca da palavras-chave “*circular economy*”. Foram consideradas as seções de meio ambiente e sustentabilidade dos *websites*, e também as publicações mais recentes dos relatórios anuais ou de sustentabilidade.

Posição	Companhia	Produção (t)	Website Pesquisado
1	ArcelorMittal	97.136	http://corporate.arcelormittal.com/
2	Hesteel Group	47.745	http://www.tangsteel.com.cn/en/
3	Nippon Steel and Sumitomo Metal Corporation (NSSMC)	46.374	http://www.nssmc.com/
4	POSCO	41.975	http://www.posco.com/
5	Baosteel Group	34.938	http://www.baosteel.com/group_en/
6	Shagang Group	34.214	http://www.sha-steel.com/eng/
7	Ansteel Group	32.502	http://en.ansteel.cn/index.html
8	JFE Steel Corporation	29.825	http://www.jfe-steel.co.jp/en/
9	Shougang Group	28.553	http://www.zs.com.cn/en/
10	Tata Steel Group	26.314	http://www.tatasteel.com/

Quadro 2. As 10 Maiores Siderúrgicas do Mundo

Fonte: WORLD STEEL ASSOCIATION, 2015b

Em todas aquelas em que foi possível obter informações, evidenciou-se a existência de uma plataforma de sustentabilidade e de iniciativas para a eco eficiência, com exceção da Shougand Group e da Hesteel Group, ambas chinesas.

A primeira da lista, ArcelorMittal, tem em sua plataforma de sustentabilidade 10 pontos de enfoque, dentro dos quais a EC é presente. Tem-se como exemplos a proposta de reuso de chapas de aço na construção civil, em uma relação comercial de arrendamento; a criação de um grupo de trabalho de pesquisa e inovação para avaliação das perspectivas comerciais dentro do novo modelo; e a parceria no

desenvolvimento de uma planta industrial para produção de etanol a partir de gases residuais (ARCELORMITTAL, 2015).

As japonesas NSSMC e JFE Steel Corporation, por sua vez, desenvolvem um processo inovador de integração do setor do plástico ao seu processo, com a produção de coque por termodecomposição desses materiais (JFE GROUP, 2016; NSSMC, 2016). A segunda tem ainda desenvolvido destinações alternativas para a escória de alto-forno, como o de decomposição do sulfeto de hidrogênio sedimentar de baías e portos altamente antropizados.

Já a chinesa Shagang tem processos de desenvolvimento de tecnologia rumo ao atendimento de metas do país, dentre as quais o modelo de EC para infraestrutura urbana, pelo qual foi premiada (SHAGANG GROUP, 2017).

Vê-se que o incentivo à EC dentro das plataformas de governo dos países asiáticos, bem como o plano de ação europeu estabelecido em 2015, parecem ser fatores contribuintes para a mudança da visão corporativa. Tais organizações apresentam a EC como força motriz para sustentabilidade e resiliência de seus processos.

6.2 A TEMÁTICA NO ACERVO CIENTÍFICO NACIONAL

A temática da EC no Brasil, mesmo num contexto geral, é recente, uma vez que a organização referência no tema, *Ellen MacArthur Foundation*, somente chegou ao país no final de 2015.

Para a realização desta revisão bibliográfica, foi utilizado a Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD)⁴, que centraliza 107 instituições de ensino e pesquisa nacionais. Considerando as palavras chave “economia circular” e “*circular economy*”, apenas duas referências foram encontradas, sendo uma na temática de resíduos eletrônicos (SCHNEIDER, 2016) e outra considerando o setor automotivo (LUTKEMEYER FILHO, 2014). Portanto, dentro da fonte de pesquisa, não foi possível encontrar produção nacional em nível acadêmico para a temática da EC na siderurgia. Além disso, destaca-se, de forma geral, pouco desenvolvimento de pesquisa quanto ao assunto central dentro dos principais órgãos de ensino nacionais.

⁴ Website: <http://bdtd.ibict.br/vufind/>

Ponto importante, todavia, é a parceria firmada entre a instituição supracitada e a Universidade de São Paulo em setembro de 2016 (EDIMILSON LUCHESI, 2016), fazendo da USP uma Pioneer University, isto é, da rede de universidades que desenvolvem pioneirismo e inovação para a EC ao redor do planeta. Tal integração sinaliza perspectivas de desenvolvimento acadêmico no tocante ao assunto no país.

6.3 A TEMÁTICA NAS INSTITUIÇÕES E INDÚSTRIAS SIDERÚRGICAS DE ATUAÇÃO NACIONAL

Para tal levantamento, foram considerados os *websites* das duas maiores instituições do ramo – Instituto Aços Brasil (IABR)⁵ e Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração (ABM)⁶, além daqueles das principais indústrias siderúrgicas nacionais.

O IABR conta, atualmente, em seu *website*, com uma seção simplificada acerca das definições da EC (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2016b), que traduz literalmente aquilo também apresentado pela organização internacional *World Steel Association* (2017), tendo sido construído no ano de 2015, uma vez que o Relatório de Sustentabilidade do ano de 2014 ainda não apresenta tal tema em suas discussões centrais. No ano de 2016, o Congresso Brasileiro do Aço, promovido pela instituição, teve como tema central de um dos painéis a temática da EC (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2016). Já as buscas no website da ABM não retornaram em resultados.

Quanto às indústrias pesquisadas, foram consideradas as de maior relevância nacional, e afiliadas ao IABR, a saber: Aperam⁷, ArcelorMittal⁸, Companhia Siderúrgica Nacional - CSN⁹, Companhia Siderúrgica do Pecém - CSP¹⁰, Gerdau¹¹, Sinobrás¹², Thyssenkrup CSA Siderúrgica do Atlântico¹³, Usiminas¹⁴, Vallourec¹⁵,

⁵ Website IABR: <http://www.acobrasil.org.br/site2015/>

⁶ Website ABM: <http://www.abmbrasil.com.br/>

⁷ Website Aperam: <http://brasil.aperam.com/>

⁸ Website ArcelorMittal: <http://brasil.arcelormittal.com.br/>

⁹ Website CSN: <http://www.csn.com.br/>

¹⁰ Website CSP: <http://www.cspecem.com/>

¹¹ Website Gerdau: <https://www.gerdau.com/br/pt>

¹² Website Sinobrás: <http://www.sinobras.com.br/>

¹³ Website CSA: <https://www.thyssenkrupp-csa.com.br/pt-br/>

¹⁴ Website Usiminas: <http://www.usiminas.com/>

¹⁵ Website Vallourec: <http://www.vallourec.com/COUNTRIES/BRAZIL/PT/Paginas/Default.aspx>

Villares Metals¹⁶, Votorantim Siderurgia¹⁷ e Vallourec Sumitomo do Brasil - VSB¹⁸. Embora todas as empresas apresentem plataformas de meio ambiente e sustentabilidade em seus *websites*, apenas a Companhia Siderúrgica Nacional trata de forma específica da temática da EC, uma vez que é a única siderúrgica do mundo a integrar o programa de inovação competitiva e captura de oportunidades *CE100 Internacional da Ellen MacArthur Foundation* (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017). Todavia, ainda não foram apresentados pela CSN resultados acerca do processo de mudança cultural promovido pela economia circular.

Frente a esse resultado, vê-se acentuada discrepância quanto à abordagem do desenvolvimento industrial siderúrgico em níveis mundial (notadamente Ásia e Europa) e nacional. Contudo, destaca-se aqui que, devido à globalidade do mercado siderúrgico, à competitividade, e à resiliência demonstrada pelo sistema circular, existe tendência de desenvolvimento do tema EC em âmbito nacional – a saber o Congresso supracitado.

6.4 OPORTUNIDADES E DESAFIOS DA ECONOMIA CIRCULAR NA SIDERURGIA NACIONAL

Frente ao apresentado na seção de fundamentação bibliográfica, e dada pouca base bibliográfica nacional sobre o tema, resolve-se aqui discutir brevemente acerca das oportunidades e os desafios da EC na siderurgia considerando a aplicação dos conceitos à prática.

Diferentemente dos países asiáticos e da União Europeia, o Brasil ainda não tem uma plataforma com enfoque à EC, e o desenvolvimento de políticas públicas parece ser o primeiro passo. Considerando os exemplos existentes, tais pacotes devem considerar, por exemplo:

- a) Valorização dos coprodutos, e pleno desenvolvimento de legislação ambiental direcionada para seu reuso e retorno ao ciclo de nutrientes técnicos;
- b) Incentivo à pesquisa, tecnologia e inovação, tanto no ambiente acadêmico, quanto nas empresas do setor;

¹⁶ Website Villares Metals: <http://www.villaresmetals.com.br/pt>

¹⁷ Website Votorantim Siderurgia: <http://www.vsiderurgia.com.br/pt-BR/Paginas/home.aspx>

¹⁸ Website VSB: <http://www.vstubos.com/>

- c) Internalização de externalidades negativas e positivas ao preço do aço, o que depende da estruturação legal dos pagamentos por serviços ambientais¹⁹ e valoração econômica ambiental²⁰;
- d) Valorização de pequenas empresas e estímulo à cadeia de valor dos negócios, dada necessidade de encurtamento dos ciclos: desenvolvimento de empresas que atuem na remanufatura e reuso do aço, bem como incentivo às recicladoras, com a legalização de fornecedores de sucata, que, em alguns casos, atuam na clandestinidade;
- e) Determinação de metas para redução na geração de subprodutos, efluentes e emissões de processo, e incentivo ao reuso, remanufatura e reciclagem;
- f) Incentivos à geração de emprego e renda, por meio também de investimentos em novos negócios alinhados à EC.
- g) Investimentos em tecnologias de uso eficiente de recursos;
- h) Subsídios e patrocínios públicos e privados para o desenvolvimento de tecnologia, com taxaço daqueles que não se adequam à nova forma de produzir, além de proteção de mercado;
- i) Criação de mercados consumidores para produtos advindos de processos de EC;
- j) Integração de atores dentro de uma mesma temática, com fortalecimento de cadeias de suprimentos;
- k) Incentivo aos projetos e design dos produtos, por meio da inclusão de disciplinas relacionadas ao tema em cursos técnicos e de ensino superior;
- l) Taxação de uso de materiais não recicláveis;
- m) Incentivo à EC dentro das contratações e chamadas públicas de prestação de serviços;
- n) Desenvolvimento de complexos industriais simbióticos, dentre outros.

Cabe ainda destacar que, uma vez que a EC se define na inexistência de resíduo, e retorno do material indefinidamente dentro dos ciclos de nutrientes biológicos e técnicos, há iminente necessidade de regulamentação da logística

¹⁹ Pagamentos por serviços ambientais são aportes, monetários ou não, que ajudam a manter o produzir os serviços ambientais, como por exemplo a ciclagem de nutrientes, a regulação do clima, a produção de alimentos, dentre outros (nota da autora)

²⁰ Valoração econômica ambiental, ou valoração ambiental, consiste em precificar os ativos ambientais, e às mudanças ocorridas nesses, como exemplo, valor de uma unidade de conservação, ou de uma espécie ameaçada de extinção (nota da autora).

reversa, instrumento definido pela Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS (BRASIL, 2010), cujos processos de regulamentação ainda se restringem a poucos setores, tais como da cadeia do óleo lubrificante. Para a siderurgia, tal regulamentação pode ser determinante para o aumento nos processos pela via recicladora de sucata, pois promove educação de todos os setores, bem como empodera e delinea deveres ao consumidor final. Em contrapartida, a via integrada poderá, por exemplo, ter seu enfoque direcionado aos aços com maior exigência de pureza e maior valor agregado, e na criação de estoque antropogênico de aço, dado prognóstico de demanda crescente em setores como infraestrutura e construção civil.

Também seguindo exemplos internacionais, parece ser importante a organização setorial no estabelecimento de plataformas de gestão, e na determinação de metas e propostas de pacotes de ação. Mais uma vez aqui vê-se incipiência nacional, uma vez que os primeiros indícios de organização das entidades do setor datam do ano passado, frente às mobilizações internacionais que já remontam, no mínimo, 5 anos. A indústria do aço brasileira ainda se calca na valorização da reciclagem, havendo necessidade de quebra do paradigma de reciclar o resíduo para a idealização do material para que não se transforme em descarte.

Levando em consideração ainda a resiliência da indústria siderúrgica, a circularização da economia apresenta potenciais nos enfoques de eficiência energética. Como já citado, a siderurgia é setor energointensivo, entretanto, com grande potencial de substituição da matriz energética, principalmente via incremento do uso do carvão vegetal, e incentivo ao aumento na participação da via semi-integrada. A cogeração de energia, já existente nas usinas integradas, deve ser incentivada e tecnologicamente incrementada – vide inovação da ArcelorMittal Europeia.

Finalmente, destaca-se o potencial de desenvolvimento de aço para geração de energia de fontes renováveis. A expansão da oferta hidroelétrica e centrais eólicas faz parte da Política Nacional sobre Mudança do Clima (BRASIL, 2009), e o aço tem participação fundamental para o pleno alcance das metas.

Existe uma série de outras iniciativas tomadas por governos e entidades internacionais que podem ser estudados, com a ressalva de análise prévia da viabilidade técnica e econômica. No principal exemplo de desenvolvimento, a Europa, tem-se a consideração da indústria do aço como setor priorizado para a EC, com duas

estratégias principais, a saber: melhorar o design de produtos utilizando menos aço, e aumentar o uso de aços de alta resistência.

Para a primeira estratégia, Allwood *et al.* (2011) *apud* União Europeia (2014a) identificou quatro alternativas para que o mesmo serviço final seja realizado com menos aço: evitar simplificações extremas, selecionar os melhores materiais, otimizar os produtos como um todo e otimizar os componentes de forma individual. Já para a segunda, a mesma organização apresenta potencial de redução da demanda de aço, principalmente nos setores da construção civil e automotivo, desde que haja desenvolvimento de parcerias e educação continuada dos técnicos e tomadores de decisão para a escolha e definição de tais aços em seus projetos: arquitetos e engenheiros devem passar a considerar o uso de menos aço, governos e empresas devem passar a exigir o uso de aços de alta resistência em seus processos licitatórios.

O mesmo autor destaca ainda que as duas estratégias podem incorrer em perdas imediatas para a indústria do aço, fazendo com que tais atores se posicionem contra as iniciativas. O Brasil é nação em desenvolvimento, com forte dependência econômica de setores de base, além de se caracterizar como potência exportadora de produtos primários, tais como o minério de ferro. Somam-se a este fato a disponibilidade de água, as vantagens geográficas e geopolíticas do país, a existência de estoques de recursos minerários e fósseis, fazendo com que as capturas relacionadas ao aço em final de ciclo de vida, os novos mercados criados para coprodutos e energia, e o aumento do valor agregado ao aço de alta tecnologia ainda não sejam vislumbrados pelos gestores como compensadores daquelas perdas.

A plataforma europeia, mais desenvolvida até o presente momento, reflete uma realidade socioeconômica diferente da brasileira, e condições de controle e adaptações metodológicas são indispensáveis para o sucesso. Diante de importante crise em níveis mundial e nacional, do posicionamento de vanguarda da maior organização siderúrgica mundial, e da participação voluntária de importante siderúrgica brasileira em grupo de fomento à EC, o contexto parece demonstrar enfoque visionário, ainda que embrionário, do setor.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A EC é muito mais do que reciclagem. Uma economia linear faz, usa e elimina materiais. A EC olha para todas as opções através da cadeia para usar o menor número de recursos possível, em primeiro lugar, manter os recursos em circulação pelo maior tempo possível, extrair o máximo valor deles enquanto estiver em uso, em seguida, recuperar e regenerar os produtos na fim de vida útil.

As escolas de pensamento que originaram o conceito atualmente conhecido como EC remontam mais de 40 anos de desenvolvimento, contudo, apenas num passado recente a finitude dos recursos e seus impactos passaram a ser percebidos de forma consistente. Num contexto que agrega situações de escassez, grandes riscos ambientais e sociais, crises econômicas e políticas e aumento de demanda e consumo, o modelo circular aparece como solução para o desenvolvimento sustentável.

A siderurgia, muito embora seja setor energointensivo e de exploração de recursos minerais, apresenta-se em vantagem por sua aptidão em reciclagem, via tecnológica de produção já plenamente desenvolvida. A permanente reciclabilidade do aço, com manutenção do valor agregado ao produto, faz com que o material seja um dos principais motes para a EC em nível global.

A partir de incentivos públicos, advindos de pacotes econômicos e agendas específicas, a EC vem sendo desenvolvida na indústria do aço, com exemplos de sucesso no Japão, na China, e nos países integrantes da União Europeia. Em todos os casos descritos, viu-se na EC a solução para a resiliência do processo. Dentre as 10 maiores siderurgias de atuação mundial, quatro têm plataformas voltadas para a estabilização dos processos e aumento de competitividade e produtividade por meio da EC, e organizações internacionais do ramo do aço transformaram a EC na via de produção desse século.

Entretanto, a realidade em âmbito nacional ainda é de inexistência de estratégia, nem para a EC como um todo, nem para setores específicos. Não existem políticas públicas gerais, nem planos setoriais, e, para os existentes, ainda há carência de regulamentação – como é o caso da logística reversa da PNRs. A mesma organização, líder mundial na siderurgia e destaque no desenvolvimento de tecnologia para a EC na Europa sequer apresenta agenda na temática no Brasil.

Como setor produtivo, a indústria do aço ainda esboça poucas iniciativas na direção da circularização da economia. O IABR, organismo representante do setor, iniciou discussões sobre o tema no ano de 2016 e, dentre as suas 17 afiliadas, apenas uma companhia apresenta a EC como estratégia consumada de gestão.

Contudo, a partir da fundamentação de uma política pública para a EC, as oportunidades nacionais na indústria do aço são elevadas, em função da expertise das organizações, da abrangência de mercado atingido, e dos exemplos já implementados. Ao contrário de outras correntes de pensamento econômico, a EC conecta os três pilares do tripé da sustentabilidade, e a siderurgia tem atributos para pioneirismo no país.

Frente à descoberta do escasso desenvolvimento de pesquisas quanto a EC em âmbito nacional, propõe-se que a temática seja amplamente estudada de forma global, afim de determinar seus reais potenciais e fatores limitantes em economias em desenvolvimento, como é o caso do Brasil.

Notadamente na indústria do aço, existe enorme potencial em pesquisa e desenvolvimento. Recomenda-se aprofundamento na correlação entre análise de ciclo de vida e a EC, além da avaliação da criação de indicadores de EC para o setor. Ainda, dados diversos usos do aço, trabalhos que estudem a cadeia de suprimentos do berço ao berço seriam de grande contribuição conceitual e metodológica.

REFERÊNCIAS

ARCELORMITTAL. **Annual review 2015: Structural Resilience**. 2015. Disponível em: <<http://annualreview2015.arcelormittal.com/#arcelor038>>. Acesso em: 05 jan. 2017.

BRASIL. **Lei Nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009**: Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências. Brasília, DF, 30 dez. 2009. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm>. Acesso em: 04 jan. 2017

BRASIL. **Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**: Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 03 jan. 2017.

BRAUNGART, Michael; MCDONOUGH, William. **Cradle to Cradle: Criar e Reciclar Ilimitadamente**. São Paulo: Gustavo Gili Editora, 2014

BROADBENT, Clare. Steel's recyclability: demonstrating the benefits of recycling steel to achieve a circular economy. **The International Journal Of Life Cycle Assessment**, [s.l.], v. 21, n. 11, p.1658-1665, 21 mar. 2016. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s11367-016-1081-1>

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **A indústria do aço no Brasil: Encontro da Indústria para a Sustentabilidade**. Brasília: Confederação Nacional da Indústria, 2012. Disponível em: <http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/sustentabilidade/downloads/livro_cni.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2016

COOPER, Daniel. **The Circular Economy**. Cambridge: Mit, 2015. 51 slides, color.

DOBBS, Richard; OPPENHEIM, Jeremy; THOMPSON, Fraser (Org.). **Mobilizing for a resource revolution**. 2012. Disponível em: <<http://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability-and-resource-productivity/our-insights/mobilizing-for-a-resource-revolution>>. Acesso em: 15 dez. 2016

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (Brasil). **RUMO À ECONOMIA CIRCULAR: O RACIONAL DE NEGÓCIO PARA ACELERAR A TRANSIÇÃO**. São Paulo: Ellen MacArthur Foundation, 2015. 22 p. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Rumo-à-economia-circular_Updated_08-12-15.pdf>. Acesso em: 20 set. 2016

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (Brasil). **Economia circular: Diagrama Sistêmico**. 2016b. Disponível em: <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/pt/economia-circular-1/diagrama-sistemico>>. Acesso em: 10 jan. 2017

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (Brasil). **Economia circular: Escolas de Pensamento**. 2016a.. Disponível em: <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/pt/economia-circular-1/escolas-de-pensamento>>. Acesso em: 10 jan. 2017.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (United Kingdom). **DELIVERING THE CIRCULAR ECONOMY: A TOOLKIT FOR POLICYMAKERS**. 1.1 Canves: Ellen Macarthur Foundation, 2015. 177 p. Disponível em: <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/delivering-the-circular-economy-a-toolkit-for-policymakers>>. Acesso em: 05 jan. 2017.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (United Kingdom). **Towards the Circular Economy: Accelerating the scale-up across global supply chains**. 3. ed. Cowes: Ellen Macarthur Foundation, 2014. Disponível em: <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Towards-the-circular-economy-volume-3.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2016

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (United Kingdom). **Towards the Circular Economy: Economic and business rationale for an accelerated transition**. Cowes: Ellen Macarthur Foundation, 2013a. 98 p. (Rethink the future). Disponível em: <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an-accelerated-transition>>. Acesso em: 20 nov. 2016.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (United Kingdom). **Towards the Circular Economy: Opportunities for the consumer goods sector**. 2. ed. Cowes: Ellen Macarthur Foundation, 2013b. 112 p. Disponível em: <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/towards-the-circular-economy-vol-2-opportunities-for-the-consumer-goods-sector>>. Acesso em: 20 nov. 2016

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **CE 100 Brasil**. Disponível em: <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/ce100/localised-networks/brasil>>. Acesso em: 06 jan. 2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço Energético Nacional 2016: Ano Base 2015**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2016. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2016.pdf>. Acesso em: 03 jan. 2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **NOTA TÉCNICA DEA 02/09: Caracterização do uso da Energia no Setor Siderúrgico brasileiro**. Rio de Janeiro: Epe, 2009. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/Série_Estudos_de_Energia/20090430_2.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2017

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **NOTA TÉCNICA DEA 03/15: Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2015-2024)**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2015. (ESTUDOS DA DEMANDA). Disponível em: <http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/DEA_03-2015-Projeções_da_Demanda_de_Energia_Elétrica_2015-2024.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2016

ESTEP. **Report on resources for the steel industry prepared by ESTEP's WG4**. Bruxelas: Estep, 2012. Disponível em: <<https://www.estep.eu/ftp.cordis.europa.eu/pub/estep/docs/wg4-resources-report-2012-09.pdf>>. Acesso em: 05 jan. 2017

GERDAU. **Curso Básico de Siderurgia**. Rio de Janeiro: Centro de Educação Gerdau, 2012a. Color. Material do Curso - Acesso Restrito

GERDAU. **SID-500**: Porto Alegre: Laboratório de Siderurgia da UFRGS, 2012b. Color. Material do Curso - Acesso Restrito

HAGELÜKEN, Christian et al. The EU Circular Economy and Its Relevance to Metal Recycling. **Recycling**, [s.l.], v. 1, n. 2, p.242-253, 27 jul. 2016. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/recycling1020242>.

IDEIA CIRCULAR. **O que é a Economia Circular?** 2016. Flock. Disponível em: <http://www.ideiacircular.com/sobre-1>>. Acesso em: 03 nov. 2016

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Congresso Brasileiro do Aço**: Edição 27. 2016. Programação do Evento. Disponível em: <http://www.acobrasil.org.br/congresso2016/programa>>. Acesso em: 05 jan. 2017.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Estatística Preliminar**. 022. ed. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil, 2016a. Disponível em: http://www.acobrasil.org.br/site/arquivos/estatisticas/ESTATIS-PDF/Preliminar_Janeiro_2017.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2017

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Relatório de Sustentabilidade 2014/2015**. 2016b. Disponível em: <http://www.acobrasil.org.br/sustentabilidade/>>. Acesso em: 10 nov. 2016

JFE GROUP. **CSR Report 2016**. Tokyo: Jfe Group, 2016. Disponível em: http://www.jfe-holdings.co.jp/en/environment/csr_report/csr2016e.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2017

LETT, Lina A. Las amenazas globales, el reciclaje de residuos y el concepto de economía circular. **Revista Argentina de Microbiología**, Buenos Aires, v. 46, n. 1, p.1-2, mar. 2014. Disponível em: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0325-75412014000100001>. Acesso em: 03 jan. 2017

LUTKEMEYER FILHO, Mario Gilberto. **Avaliação da aderência aos princípios de sustentabilidade em desenvolvimento de produto à luz de abordagens ecoeficiente e ecoefetivas**: uma aplicação no setor automotivo. 2014. 171 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2014. Disponível em: <http://www.repositorio.jesuita.org.br/bitstream/handle/UNISINOS/4115/Mario-GilbertoLutkemeyer-Filho.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 05 jan. 2017

NSSMC. **Sustainability Report**. Tokyo: Nssmc, 2016. Disponível em: http://www.nssmc.com/en/csr/report/nssmc/pdf/report2016_all.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2017.

OVERSHOOT DAY. **Earth Overshoot Day**. 2016. Disponível em: <http://www.overshootday.org/>>. Acesso em: 02 jan. 2017

ROSER, Max; NAGDY, Mohamed. **Economic Growth**. 2016. Disponível em: <https://ourworldindata.org/economic-growth>>. Acesso em: 04 jan. 2017

SCHNEIDER, Alice Frantz. **The recycling of electronic waste: Regulations and corporate strategies in Brazil and in Europe.** 2016. 153 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Produção, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3136/tde-18082016-083507/publico/AliceFrantzSchneiderOrig16.pdf>>. Acesso em: 05 jan. 2017.

SHAGANG GROUP. **Group Brief Introduction.** Disponível em: <<http://www.sha-steel.com/eng/>>. Acesso em: 05 jan. 2017.

UNIÃO EUROPEIA. **COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS: COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS.** Bruxelas: União Europeia, 2015. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1453384154337&uri=CELEX:52015DC0614>>. Acesso em: 05 fev. 2017.

UNIÃO EUROPEIA. **EUROPEAN RESOURCE EFFICIENCY PLATFORM (EREP): Manifesto & Policy Recommendations.** Bruxelas: União Europeia, 2014b. Disponível em: <http://ec.europa.eu/environment/resource_efficiency/documents/erep_manifesto_and_policy_recommendations_31-03-2014.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2016

UNIÃO EUROPEIA. **Scoping study to identify potential circular economy actions, priority sectors, material flows and value chains.** Luxemburgo: Publicações da União Europeia, 2014a. Funded under DG Environment's Framework contract for economic analysis ENV.F.1/FRA/2010/0044. Disponível em: <http://www.ieep.eu/assets/1410/Circular_economy_scoping_study_-_Final_report.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2017

US GREEN BUILDING COUNCIL, **Leadership in Energy and Environmental Design.** Disponível em: <<http://www.usgbc.org/leed>>. Acesso em: 05 dez. 2016

VERGARA, S.C. Projetos e relatórios de pesquisa em administração. São Paulo: Atlas, 6. Ed. 2005

WORLD ECONOMIC FORUM (Suíça). **Towards the Circular Economy: Accelerating the scale-up across global supply chains.** Genebra: World Economic Forum, 2014. 64 p. Disponível em: <http://www3.weforum.org/docs/WEF_ENV_TowardsCircularEconomy_Report_2014.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2016

WORLD STEEL ASSOCIATION. **About steel: How steel is made?.** Disponível em: <<https://www.worldsteel.org/media-centre/About-steel.html>>. Acesso em: 01 dez. 2016

WORLD STEEL ASSOCIATION. **Fact Sheet: Steel industry by-products.** Bruxelas: World Steel Association, 2016e. Disponível em: <<http://www.worldsteel.org/publications/fact-sheets.html>>. Acesso em: 13 dez. 2016

WORLD STEEL ASSOCIATION. **Steel Facts**. Disponível em: <<http://www.worldsteel.org/media-centre/About-steel/Steel-facts.html>>. Acesso em: 10 dez. 2016c

WORLD STEEL ASSOCIATION. **STEEL IN THE CIRCULAR ECONOMY: A life cycle perspective**. Bruxelas: World Steel Association, 2015

WORLD STEEL ASSOCIATION. **STEEL STATISTICAL YEARBOOK 2016**. Bruxelas: World Steel Association, 2016b. Disponível em: <<https://www.worldsteel.org/media-centre/Press-releases/2016/worldsteel-2016-Steel-Statistical-Yearbook-now-available-online.html>>. Acesso em: 10 dez. 2016.

WORLD STEEL ASSOCIATION. **Steel: the permanent material in the circular economy**. Disponível em: <<http://circulareconomy-worldsteel.org/>>. Acesso em: 06 jan. 2017

WORLD STEEL ASSOCIATION. **SUSTAINABLE STEEL: Policy and indicators 2016**. Bruxelas: World Steel Association, 2016d. Disponível em: <<http://www.worldsteel.org/publications/bookshop/product-details.~Sustainable-Steel--Policy-and-Indicators-2016~PRODUCT~Sustainable-Steel--Policy-and-Indicators-2016~.html>>. Acesso em: 15 dez. 2016.

WORLD STEEL ASSOCIATION. **Top steel-producing companies**. 2015b. Disponível em: <<http://www.worldsteel.org/steel-by-topic/statistics/top-producers.html>>. Acesso em: 05 jan. 2017

EDIMILSON LUCHESI (São Paulo). Assessoria de Comunicação da Prefeitura do Campus da Usp São Carlos (Ed.). **Economia circular será nova área de pesquisa e ensino na USP**. 2016. Disponível em: <<http://jornal.usp.br/universidade/economia-circular-sera-nova-area-de-pesquisa-e-ensino-na-usp/>>. Acesso em: 01 fev. 2017.