

Abordagens em Sustentabilidade: Uma revisão conceitual dos métodos utilizados na indústria

Guilherme Petry Breier (UFRGS) gpbreier@producao.ufrgs.br
Carla S. ten Caten (UFRGS) tencaten@producao.ufrgs.br
Carlos Fernando Jung (FACCAT) jung@faccat.br
Heloisa Helena Weber (UFRGS) helouweber@hotmail.com
Thiago Kotarba Sponberg (UFRGS) thiago.sponberg@gmail.com

Resumo:

Este artigo apresenta uma análise de uma revisão conceitual sobre métodos de sustentabilidade com a finalidade de oferecer uma síntese como contribuição a futuras pesquisas. A partir de um referencial teórico foram identificados, classificados, descritos e analisados os métodos: Produção Mais Limpa (*Cleaner Production*); Produção Limpa (*Clean Production*); Tecnologias Mais Limpas (*Cleaner Technologies*); Ecoeficiência (*Eco-Efficiency*); Ecodesign; Projeto para a Sustentabilidade (*Design for Sustainability*); Projeto para o Meio Ambiente (*Design for Environment*); Prevenção da Poluição (*Pollution Prevention*); Análise de Ciclo de Vida (*Life Cycle Assessment*); Engenharia Verde (*Green Engineering*); Berço ao Berço (*Cradle to Cradle Design*); e Zero Emissões (*ZERI - Zero Emissions Research Initiative*). Como resultado foi proposta uma síntese que apresenta as principais finalidades e características dos métodos para ser possível diferenciar as diversas propostas existentes.

Palavras chave: Abordagens de Sustentabilidade, Conceitos, Métodos.

Approaches to Sustainability: A conceptual review of the methods used in industry

Abstract

This paper presents an analysis of a conceptual review on methods of sustainability in order to provide an overview as a contribution to future research. From a theoretical framework were identified, classified, described and analyzed methods: Cleaner Production (*Cleaner Production*), Clean Production (*Clean Production*); Technologies Cleaner (*Cleaner Technologies*) Eco-Efficiency (*Eco-Efficiency*); Ecodesign; Project for Sustainability (*Design for Sustainability*) Project Environment (*Design for Environment*) Pollution Prevention (*Pollution Prevention*), Life Cycle Analysis (*Life Cycle Assessment*), Engineering Green (*Green Engineering*), Cradle to Cradle (*Cradle to Cradle Design*) and Zero Emissions (*ZERI - Zero Emissions Research Initiative*). As a result we proposed a synthesis that presents the main characteristics of the purposes and methods to be able to differentiate between the various existing proposals.

Key-words: Approaches to Sustainability, Concepts, Methods.

1. Introdução

As práticas de crescimento econômico convencionais resultam em elevados custos socioambientais ocultos. Estes costumam ser transferidos a toda sociedade, com os benefícios do crescimento apropriados por uma minoria (RATTNER, 1999). O final do século XX foi

marcado pelo crescimento da consciência da sociedade em relação a esses custos e à degradação dos ecossistemas decorrentes do processo de desenvolvimento econômico (BELLEN, 2004).

Desde a década de 1960, os impactos ambientais dos sistemas produtivos vindo sendo percebidos como um problema. No ano de 1962, Rachel Carson, em sua publicação “Silent Spring”, propôs se pensar em “uma primavera sem pássaros e mamíferos nos Estados Unidos da América”, em virtude da utilização indiscriminada de pesticidas e seus nocivos efeitos. Na década de 70, os cientistas e políticos influenciados por esta publicação passaram a propor ações por meio da formação de grupos ambientalistas, como: o Environmental Defense Fund – EDF; o Natural Resources Defense Council – NRDC; o World Wildlife Naturschutz – BUND; o Partido Verde; e o Green Peace. Entretanto, a preocupação com o meio-ambiente difundiu-se nos anos 70, após a publicação do livro de Paul Elrich intitulado “Population Bomb” em 1968. Esta obra associava o crescimento da população humana com a degradação do meio-ambiente (GUIMARÃES, 2006).

A sociedade desde então têm manifestado, em escala e extensão crescentes, preocupações com a degradação ambiental, a redução dos recursos naturais e a necessidade do “esverdeamento” de projetos de desenvolvimento (RATTNER, 1999). Estas percepções conduziram a um novo conceito: o de desenvolvimento sustentável (BELLEN, 2004).

Este conceito foi proposto pela World Commission for Environment and Development, através do documento “Our Common Future”. Este documento, posteriormente, foi a base para as discussões propostas na conferência da United Nations Conference on Environment and Development em 1992 no Rio de Janeiro (MANZINI; VEZZOLI, 2008). A definição de desenvolvimento sustentável que este documento apresenta diz ser sustentável: o desenvolvimento que é capaz de garantir as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras atenderem também as suas (KAZAZIAN, 2005; SCOTTO; GUIMARÃES, 2007).

As várias proposições teóricas acerca do que vem a ser “desenvolvimento sustentável” e “sustentabilidade” geralmente estão associadas ao que se supõe seja uma qualidade positiva atribuída a algum fenômeno, proposta ou prática social que visem a minorar os distúrbios ambientais causados pelos processos de desenvolvimento econômico (SCOTTO; GUIMARÃES, 2007). A perspectiva da sustentabilidade põe em discussão nosso atual modelo de desenvolvimento (MANZINI; VEZZOLI, 2008).

No entanto, a idéia de desenvolvimento sustentável não veio acompanhada de uma discussão crítica consistente a respeito do seu significado efetivo e das medidas necessárias para alcançá-lo (BELLEN, 2004). Existem diferentes enfoques para a questão, com propostas divergentes, originadas em vários autores e grupos (SOUZA, 2008). As diversas propostas de sustentabilidade diferem pelo fato de que há diferentes posicionamentos teóricos, que refletem posições sócio-políticas conflitantes (GUIMARÃES, 2006; SILVA, HEEMANN; 2000).

Um dos argumentos que tem encontrado satisfatório apoio para a implementação de ações sustentáveis é a progressiva deterioração, redução e a perspectiva de uma futura escassez dos recursos naturais pelo uso de inadequadas tecnologias de produção (SILVA, HEEMANN; 2000). Este fato pode estar motivando cientistas, engenheiros e técnicos a buscar novas alternativas tecnológicas para a sustentabilidade econômica e ambiental, através da proposição de projetos em programas governamentais de P&D (SOUZA, 2006; WBCDS, 2002).

Existem propostas, modelos e métodos para a sustentabilidade e solução de problemas ambientais desde o tratamento da poluição (políticas end-of-pipe) que visam neutralizar os

efeitos ambientais negativos gerados pelas atividades industriais, à atuação nos processos de produção que geram a poluição (utilização de tecnologias limpas), e para o projeto e reprojeção de produtos (produtos limpos) (MANZINI; VEZZOLI, 2008). Enfim, a conscientização ambiental levou a discussão e proposição de novos métodos e abordagens para minimizar ou até mesmo “zerar” a degradação ambiental.

Este artigo apresenta os resultados de uma revisão conceitual de métodos para sustentabilidade propostos até o ano de 2009 com a finalidade de oferecer uma síntese como contribuição a futuras pesquisas. Foram analisados os modelos: Produção Mais Limpa (*Cleaner Production*); Produção Limpa (*Clean Production*); Tecnologias Mais Limpas (*Cleaner Technologies*); Ecoeficiência (*Eco-Efficiency*); Ecodesign; Projeto para a Sustentabilidade (*Design for Sustainability*); Projeto para o Meio Ambiente (*Design for Environment*); Prevenção da Poluição (*Pollution Prevention*); Análise de Ciclo de Vida (*Life Cycle Assessment*); Engenharia Verde (*Green Engineering*); Berço ao Berço (*Cradle to Cradle Design*); e Zero Emissões (ZERI - *Zero Emissions Research Initiative*). A estrutura do trabalho está organizada da seguinte forma: na seção 2 é apresentado o método de trabalho, na seção 3 a revisão e análise conceitual, na seção 4 é apresentado a síntese e a seção 5 traz a conclusão do estudo.

2. Método de Trabalho

O método utilizado foi baseado em um processo de revisão conceitual (SIVEIRA, 1992; MOREIRA, 2004). Foi realizada a identificação, classificação, descrição e análise de métodos para sustentabilidade. Como sustentação teórica à identificação e classificação dos termos e definições aplicadas aos métodos foram adotados os princípios metodológicos propostos no trabalho “Review of Sustainability: terms and their definitions” de Glavic e Lukman (GLAVIC, LUKMAN, 2007). Por fim, foi proposta uma síntese baseada na revisão e análise conceitual.

3. Revisão e Análise Conceitual

A temática da sustentabilidade tem motivado, ao longo do tempo, várias organizações e autores a propor modelos para o desenvolvimento de novas tecnologias, produtos e processos para este fim.

Esta seção tem por finalidade apresentar conceitos, finalidades e características dos modelos para sustentabilidade, considerados neste trabalho, obtidas a partir da análise de referências teóricas pesquisadas.

3.1. Produção Mais Limpa (Cleaner Production, P+L)

É uma estratégia que integra aspectos técnicos, econômicos e ambientais e aplicável a melhoria de processos e produtos (Van BERKEL, 2000). Também pode ser entendida como a aplicação contínua de uma estratégia ambiental preventiva que integrada processos, produtos e serviços, para aumentar a eco-eficiência e reduzir riscos aos seres humanos e ao meio ambiente. Eco-eficiência e a Produção Mais Limpa são conceitos complementares, a Eco-eficiência está focada na estratégia dos negócios, enquanto a Produção Mais Limpa enfatiza a operacionalidade dos negócios e o sistema de produção (GLAVIC, LUKMAN, 2007). Tem como finalidade aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia, objetivando a não geração, minimização ou reciclagem dos resíduos e emissões nocivos, e a redução dos riscos para os seres humanos e o meio-ambiente (Van BERKEL, 2000; CNTL, 2003; GIANNETTI, ALMEIDA, 2006).

Os princípios que fundamentam a Produção Mais Limpa consistem em: (i) substituir matérias-primas considerando a preservação dos recursos ambientais e a não utilização de matérias-

primas não-renováveis; (ii) desenvolver o produto visando a possibilidade de ser reutilizado ou reciclado ao final do seu ciclo de vida; (iii) reduzir os custos globais através do emprego eficiente de matérias-primas, energia e água; (iv) melhorar a qualidade no local de trabalho; (v) comprometer-se com a legislação ambiental vigente; (vi) melhorar o processo de manufatura definindo a real necessidade de insumos e estabelecendo a viabilidade de reutilização e/ou reciclabilidade de subprodutos; (vii) considerar as implicações ambientais de embalagem e distribuição do produto; (viii) não considerar como parte da Produção Mais Limpa o tratamento de efluentes, a incineração e até a reciclagem de resíduos fora do processo de produção, já que não implicam em diminuição da quantidade de resíduos ou poluentes na fonte geradora, mas atuam somente de forma corretiva sobre o impacto causado pelo resíduo gerado (GIANNETTI, ALMEIDA, 2006; VALLE, 1995; SCHNITZER, 1998; UNEP, 2007).

3.2. Produção Limpa (Clean Production, PL)

Foi proposta pela organização ambientalista não-governamental Greenpeace, em 1990, para representar o sistema de produção industrial que levasse em conta a auto-sustentabilidade de fontes renováveis de matérias-primas. Conceitualmente, a “Produção Limpa” é mais limpa do que a “Produção Mais Limpa”, ou seja, o conceito proposto pelo Greenpeace (Produção Limpa) é mais restritivo do que o conceito utilizado pela UNIDO/UNEP de Produção Mais Limpa (MELLO, NASCIMENTO, 2002).

Enquanto a Produção Limpa propõe produtos atóxicos e o uso de fontes de energia renováveis, a Produção Mais Limpa estimula a redução da toxicidade e o uso mais eficiente da energia (ROBERT, et al., 2002). Os princípios da Produção Limpa são: (i) desenvolver processos e produtos atóxicos; (ii) obter eficiência no uso da energia nos processos produtivos; (iii) utilizar materiais renováveis nos processos; (iv) desenvolver produtos para serem duráveis e reutilizáveis; (v) projetar produtos fáceis de montar e desmontar; (vi) utilizar o mínimo de embalagem em um produto; e (vii) utilizar materiais reciclados e recicláveis no desenvolvimento dos produtos (MELLO, NASCIMENTO, 2002; ROBERT, et al., 2002; GOGALADZE; 2004).

3.3. Tecnologias Mais Limpas (Cleaner Technologies)

São tecnologias desenvolvidas para reduzir a produção de efluentes ou outros resíduos, maximizar a qualidade do processo e produto, bem como o uso de matérias-primas e energia (GIANNETTI, ALMEIDA, 2006). Estas tecnologias aplicam-se individualmente a determinados processos de manufatura (MELLO, NASCIMENTO, 2002). As atividades da Produção Mais Limpa se aplicam aos processos de projeto e manufatura considerando a melhor integração entre os subsistemas de produção com relação à utilização de insumos e à produção de resíduos.

Visam proteger e conservar o meio ambiente, evitando o desperdício de recursos e a degradação ambiental, almejando o desenvolvimento sustentável (MELLO, NASCIMENTO, 2002). As Tecnologias Mais Limpas tem por finalidades: (i) prevenir para evitar futuros problemas de geração de resíduos poluentes; (ii) serem aplicáveis a determinado processo, ou conjunto de processos de uma determinada empresa; (ii) serem escolhidas em termos comparativos, ou seja, devem ser melhores e mais adequadas que as tecnologias já utilizadas ou existentes.

3.4. Ecoeficiência (Eco-Efficiency)

É a geração de bens e serviços a preços competitivos que satisfaçam as necessidades humanas e possibilitem melhor qualidade de vida, reduzindo progressivamente os impactos ambientais e o uso de recursos naturais ao longo do ciclo de vida dos produtos e serviços (WBCDS,

2002).

A UNEP (United Nations Environment Program) não diferencia Ecoeficiência de Produção Mais Limpa. Entretanto, o WBCSD (World Business Council for Sustainable Development) utiliza o conceito de Ecoeficiência de modo fortemente associado ao impacto dos negócios no ambiente. Assim, Ecoeficiência se define pelo trabalho direcionado a minimizar impactos ambientais devido ao uso minimizado de matérias-primas: “produzir mais com menos” (GIANNETTI, ALMEIDA, 2006).

O modelo da Ecoeficiência tem por finalidade reduzir progressivamente o impacto ambiental e a exploração de reservas naturais para um nível suportável pela capacidade estimada do planeta, através da produção de bens e serviços de forma eficiente e a preços competitivos (WBCSD, 2002). Na prática isto significa: (i) reduzir a quantidade de matéria em bens e serviços, (ii) reduzir a quantidade de energia em bens e serviços, (iii) reduzir a dispersão de material tóxico, (iv) aumentar a reciclagem de material, (v) maximizar o uso de fontes renováveis, (vi) aumentar a durabilidade dos produtos, e (vii) aumentar a quantidade de bens e serviços (KEFFER, et al., 1999).

3.5. Ecodesign

Leva em consideração uma sistemática para obter o máximo desempenho do projeto, com respeito aos objetivos ambientais, de saúde e segurança, ao longo de todo o ciclo de vida de um produto ou processo, tornando-os ecoeficientes (EPA, 2001).

Os princípios residem em: (i) minimizar o material utilizado e reduzir o leque de materiais utilizados; (ii) evitar substâncias nocivas; (iii) utilizar materiais renováveis, reciclados e recicláveis, com tecnologias não poluentes; (iv) reduzir as sobras de materiais na produção – reutilização de material e reavaliação de peças defeituosas; (v) projetar e produzir produtos duráveis, ou seja, aumentar a vida útil do produto através do reuso ou reciclagem; (vi) utilizar técnica de montagem em módulos; (vii) projetar produtos facilmente reparáveis e passíveis de upgrade; (viii) economizar recursos durante a utilização de produtos – não subestimando a energia consumida durante a vida útil do produto; (ix) facilitar a reciclagem do produto por meio da facilidade de desmontagem e identificação dos materiais recicláveis utilizados; (x) reduzir o consumo de energia na reutilização; (xi) facilitar o desaparecimento no final do ciclo de vida; e (xii) utilizar serviços ao invés de produtos (BREZET, Van HEMEL, 1997).

3.6. Projeto para Sustentabilidade (Design for Sustainability – DFS)

Consiste no projeto e planejamento com foco na redução de materiais através da escolha adequada das fontes de energia e matérias-primas, objetivando obter uma maior longevidade dos bens (BREZET, Van HEMEL, 1997). O design sustentável apóia-se nas três grandes dimensões da sustentabilidade: a social, a ambiental e a econômica, as quais guiam tanto o desenvolvimento de produtos e serviços quanto a criação de cenários sustentáveis (SAMPAIO, et al. 2007; COSTA, 2007). O Projeto para Sustentabilidade baseia-se em: (i) re-projetar produtos existentes, (ii) readaptar, atualizar – fazer upgrading dos produtos, (iii) estabelecer novos padrões de consumo, e (iv) objetivar a sustentabilidade (COSTA, 2007).

3.7. Projeto para o Meio Ambiente (Design for Environment – DFE)

Fundamenta-se no desenvolvimento de produtos totalmente reutilizáveis e ou recicláveis e que não produzam resíduos durante o uso (BILLATOS, BASALY, 2007). É um processo de concepção de produtos que leva em conta o desempenho ambiental (ou seja, produzir sem danificar), desde o início do projeto, com foco na otimização dos fluxos de massa e energia durante o ciclo de vida da matéria e, especialmente, caracterizando uma utilização eficiente dos materiais, técnicas e processos de fabricação, a fim de alcançar os objetivos de mercado e,

ao mesmo tempo, minimizar os danos e resíduos negativos sobre a sociedade humana e natureza (ALLENBY, 1999).

O Design for Environment – DFE é um processo de desenvolvimento de produtos que leva em conta o ciclo de vida completo de um produto, e considera os aspectos ambientais em todas as fases do processo, tendo por finalidade obter o menor impacto ambiental possível durante todo o ciclo de vida (EPA, 2001). O conceito do Projeto para o Ambiente (DFE) abrange: o projeto para reuso de materiais e componentes, o projeto para manufatura, o projeto para uma maior eficiência energética, o projeto para reciclagem e o projeto para desmontagem (BITENCOURT, 2001). A partir da concepção Design for Environment - DFE foram geradas as propostas de Design for Assembly - DFA e Design for Disassembly - DFD (GUIMARÃES, 2006).

O Design for Assembly - DFA é uma técnica para redução de custo na interface projeto/produção que leva em consideração o número de peças do produto, a facilidade de manuseamento e também de montagem destas peças (APPLETON, GARSIDE, 2000). Os métodos de Projeto para Montagem (Design for Assembly - DFA) e Projeto para Manufatura - DFM visam otimizar o projeto ainda na fase de definição de processos e formas finais, buscando-se menores tempos e custos. Estes métodos foram desenvolvidos por Boothroyd e Dewhurst (BEITZ, 1993) e, inicialmente, eram utilizados em conjunto (DFMA). No entanto, devido à importância de cada um dos processos e a possibilidade de serem aplicados separadamente conforme o caso, eles foram divididos em dois métodos: DFM e DFA (ANDRADE, FORCELLINI, 2004). O DFA baseia-se em: (i) eliminar a necessidade de tomar decisões para adaptações no produto durante a produção, (ii) garantir acessibilidade e visibilidade, (iii) eliminar a necessidade de montagem e ajustes por ferramentas e calibres, (iv) minimizar o número de partes diferentes - utilização "normal" de peças, (v) minimizar o número de peças, (vi) evitar ou minimizar o número de orientações durante a montagem, e (vii) manipular facilmente as partes (ANDRADE, FORCELLINI, 2004; BEITZ, 1993).

O Design for Disassembly - DFD é uma técnica que tem por princípios: (i) projetar visando facilitar a desmontagem, a fim de permitir a remoção de peças sem danos; (ii) projetar o produto para facilitar a reciclagem e o menor descarte de resíduos, a fim de garantir que o processo de produção não danifique o meio ambiente; (iii) projetar para facilitar processos de testes e classificação, para deixar bem claro a condição e quais peças que poderão ser reutilizadas, e para permitir a fácil classificação e marcação adequada das peças; (iv) projetar para facilitar o acondicionamento, considerando a possibilidade de reprocessamento de peças, fornecendo material adicional para novos produtos; e (v) projetar a montagem com a finalidade de proporcionar uma rápida e fácil desmontagem no fim da vida útil do produto principal (BEITZ, 1993).

3.8. Prevenção da Poluição (Pollution Prevention)

É qualquer prática, anterior à reciclagem, tratamento e deposição que reduza a quantidade de qualquer substância perigosa, poluente ou contaminante entrando em fluxos de resíduos ou então lançados para o meio ambiente de forma a reduzir o perigo para a saúde pública e o meio ambiente (EPA, 2001; U.S. CONGRESS, 1990).

Os princípios da Prevenção da Poluição são: (i) eliminar e/ou reduzir a geração de resíduos sólidos, emissões atmosféricas e efluentes líquidos; (ii) prevenir vazamentos e perdas acidentais e prevenir perdas de produtos; (iii) gerar ações normativas focalizadas na prevenção da poluição; (iv) prever a redução ou total eliminação de materiais tóxicos, pela substituição de materiais nos processos, pela reformulação do produto e/ou pela instalação ou modificação de equipamentos destinados a processos de produção; (v) implantar de ciclos fechados de reciclagem (GIANNETTI, ALMEIDA, 2006; EPA, 2001).

3.9. Análise do Ciclo de Vida (Life Cycle Assessment)

Foi proposta pela Society of Environmental Toxicology and Chemistry e consiste em uma técnica para avaliação dos aspectos ambientais e dos impactos associados a um produto, compreendendo etapas que vão desde a retirada das matérias-primas até a disposição do produto final (CHEHEBE, 2006).

Tem por finalidade avaliar os potenciais impactos ambientais de um produto, examinando todos os materiais e componentes energéticos desde as entradas até as saídas em cada fase do ciclo de vida (EHRENFELD, 1997). A Análise do Ciclo de Vida é uma ferramenta utilizada para caracterizar o metabolismo industrial de cadeias de produção e avaliar como os fluxos de energia e materiais estão organizados entre os componentes do sistema e do ambiente. Permitem verificar os efeitos do lançamento de rejeitos através de metodologias que normalizam os poluentes e encontram índices de impacto ambiental (COSTA, 2007).

A Análise do Ciclo de Vida consiste em: (i) identificar os processos, materiais e sistemas que mais contribuem para o impacto ambiental; (ii) comparar as diversas opções, em processo particular, para minimizar o impacto ambiental e fornecer um guia que permita traçar uma estratégia de longo prazo que leve em conta o projeto e a utilização de materiais de um produto; (iii) desenvolver políticas de longo prazo para regulamentação do uso de materiais, para conservação de reservas, redução de impactos ambientais causados por materiais e processos durante o ciclo de vida de um produto; (iv) avaliar a redução de reservas e implementar tecnologias alternativas para utilização de resíduos; e (v) fornecer informações ao público sobre as características de produtos e processos (U.S. CONGRESS, 1990; EHRENFELD, 1997).

3.10. Engenharia Verde (Green Engineering)

Trata da concepção, elaboração, projeto, operação e utilização de técnicas economicamente viáveis para o desenvolvimento de produtos e processos, que possam contribuir para minimizar a geração da poluição e os riscos para a saúde humana e o meio ambiente (EPA, 2001).

Os princípios da Engenharia Verde são: (i) ser Inerente e não circunstancial; (ii) prevenir antes de tratar; (iii) projetar a separação dos materiais; (iv) maximizar massa, energia, espaço, tempo e eficiência; (v) produzir de forma “puxada” ao invés de produzir de forma “empurrada”; (vi) conservar a complexidade; (vii) ser durável e não “imortal”; (viii) conhecer as necessidades e minimizar excessos; (ix) minimizar a diversidade de materiais; (x) integrar locais de fluxo de materiais e energia; (xi) desenvolver produtos, processos e sistemas destinados a comercialização úteis a “vida”; e (xii) utilizar materiais e energias renováveis e não esgotáveis (ANATAS, ZIMMERMAN, 2003).

3.11. Berço ao Berço (Cradle to Cradle Design)

Esta abordagem incide especificamente sobre o conceito de metabolismos biológicos e tecnológicos como um método para fechar em loops os processos. No metabolismo biológico, os nutrientes que suportam a vida na Terra como a água, oxigênio, azoto e o dióxido de carbono realizam um fluxo regenerativo de ciclos de crescimento, decadência e renascimento de forma que passam de alimentos para resíduos e novamente para alimentos. O método propõe que o metabolismo tecnológico pode ser concebido por analogia com os ciclos dos nutrientes naturais, como um sistema de ciclo fechado em que se agrega valor em produtos sintéticos de alta tecnologia e recursos minerais quando circulam em um interminável ciclo de produção, valorização e re-manufatura (McDONOUGH, BRAUNGART, 2002a).

A proposta fundamenta-se no redesenho da indústria baseado na convicção de que o design

deve ser fundamentado na segurança e produtividade regeneradora da natureza (MBDC, 2002). A proposta é criar uma indústria que está sustentando e não apenas sustentável (McDONOUGH, BRAUNGART, 2002a). Em suma, o Cradle to Cradle tem a finalidade através da integração da economia, ecologia e sociedade obter o valor máximo de um produto através da prática do design inteligente (GUIMARÃES, 2006).

O conceito Creadle to Creadle vai além da conformidade das normas regulatórias, realizando uma avaliação rigorosa do design dos novos produtos, tendo em vista três áreas fundamentais: (i) Química dos Materiais e Segurança dos Insumos (quais são as substâncias presentes nas nossas especificações de materiais? São efetivamente as mais seguras que podemos dispor?); (ii) Desmontagem (os produtos podem ser desmontados ao final da sua vida útil para reciclagem de material?); e (iii) Reciclabilidade (os materiais contém itens reciclados, e acima de tudo, podem ser reciclados ao final da vida útil dos produtos?) .

Os três princípios que fundamentam o Berço ao Berço (Cradle to Cradle) são: (i) Resíduos = matéria-prima (alimentos), (ii) Utilizar a energia solar, e (iii) Utilizar a diversidade natural. O método propõe que a indústria deve preservar e enriquecer os ecossistemas, valorizar a natureza biológica do metabolismo e ao mesmo tempo desenvolver e aplicar técnicas produtivas para o metabolismo de alta qualidade e utilizar materiais orgânicos sintéticos, e outros materiais (McDONOUGH, BRAUNGART, 2002a, McDONOUGH, BRAUNGART, 2002ba).

3.13. Zero Emissões (ZERI - Zero Emissions Research Initiative)

O método ZERI engloba uma análise sistêmica de cadeias produtivas, visa obter uma forma sustentável de suprir as necessidades dos seres humanos como água, alimentação, vestuário, energia, empregos e habitação (PAULI, 1998). A finalidade é propor que sejam revistos processos e tecnologias aceitas como terminadas e motivar os empresários e centros de pesquisa a conceberem tecnologias tendo como exemplo o que ocorre nos processos dinâmicos da natureza, inclui as questões ambientais antes esquecidas pelas empresas, como também visa estimular e possibilitar a criação de empregos e a redução da pobreza (JERÔNIMO, 2003).

As finalidades do ZERI são: (i) evitar a geração de resíduos líquidos, gasosos e sólidos; (ii) utilizar todos os inputs na produção; e (iii) destinar os resíduos gerados, quando inevitáveis, à outras indústrias para produzir valor agregado. O método ou programa ZERI - Zero Emissions Research Initiative é fundamentado na idéia de ser obtido um rendimento total dos insumos e na identificação e formação conglomerados industriais que possam utilizar seus próprios resíduos para a fabricação de outros produtos (PAULI, 1998). A proposta consiste em criar um elo de ligação entre empresas para transformar as saídas (outputs) de um processo em entradas (inputs) de outro, desta forma a cadeia alcançaria a emissão zero. Neste contexto, surge a proposta do Upsizing que significa a tomada de decisão de uma organização industrial por procurar a Emissão Zero. A Emissão Zero é o objetivo final, o Upsizing é o resultado direto (PAULI, 1998).

4. Síntese

Na Figura 1 é apresentada uma síntese realizada a partir da revisão e análise conceitual. Para cada método são demonstradas as principais finalidades e características para que seja possível diferenciar as propostas existentes.

ABORDAGEM	FINALIDADES	CARACTERÍSTICAS
Produção Mais	Minimizar ou reciclar os	Reutilização de materiais;

Limpa	resíduos e emissões em processos industriais ; Reduzir o risco para os seres humanos (redução da toxicidade).	Melhoraria da qualidade de vida no local de trabalho; Não considera como parte do método o tratamento e reciclagem de resíduos fora do processo de produção.
Produção Limpa	Utilizar somente fontes renováveis de matérias-primas; Desenvolver produtos e processos totalmente não tóxicos.	Obtenção de produtos atóxicos, duráveis, reutilizáveis, fáceis de montar e desmontar com embalagem mínima.
Tecnologias Mais Limpas	Ser específica a determinado processo.	Serem melhores do que as atuais tecnologias já em utilização no processo.
Ecoeficiência	Produzir mais com menos.	Maximizar o uso de fontes renováveis; Aumentar a durabilidade dos produtos.
Ecodesign	Maximizar os benefícios ambientais e de saúde aos seres humanos ao longo de todo o ciclo de vida de um produto tornando-os ecoeficientes.	Produtos fáceis de montar e desmontar; Facilitar o desaparecimento dos resíduos no final do ciclo de vida; Utilizar serviços ao invés de produtos.
Projeto para a Sustentabilidade	Priorizar as dimensões da sustentabilidade como : o social, a ambiental e a econômica para criar cenários sustentáveis.	Re-projetar, readaptar, atualizar – fazer <i>upgrading</i> de produtos; Estabelecer novos padrões de consumo.
Projeto para o Meio-Ambiente	Conceber produtos considerando o desempenho ambiental - produzir sem danificar - desde o início do projeto.	Utilização das técnicas de <i>Design for Assembly</i> e <i>Design for Disassembly</i> ; Simplificar a estrutura e a forma do produto para reduzir o uso de materiais.
Prevenção da Poluição	Utilizar qualquer prática anterior a reciclagem, tratamento e deposição, e que reduza a quantidade de qualquer substância poluente ou contaminante.	Redução de resíduos sólidos, emissões atmosféricas e efluentes líquidos; Prevenção de vazamentos e acidentes ambientais.
Análise do Ciclo de Vida	Avaliar os aspectos ambientais e os impactos associados a um produto desde a extração e transformação da matéria-prima até a disposição do produto final.	Identificação de processos e materiais que possam causar impacto ambiental; Comparar opções para minimizar o impacto ambiental.
Engenharia Verde	Utilizar técnicas economicamente viáveis para desenvolver produtos e processos que possam contribuir para minimizar a poluição e riscos a saúde.	Ser inerente e não circunstancial; Prevenir antes de tratar; Maximizar massa, energia, espaço, tempo e eficiência.
Berço ao Berço	Realizar um metabolismo tecnológico por analogia com os	Resíduos = matéria-prima; Utilizar o rendimento da energia solar;

	ciclos de nutrientes naturais.	Utilizar a diversidade natural.
Zero Emissões - Zeri	Obter zero resíduo, onde cada dejetos de uma indústria é utilizado como matéria-prima de outra indústria.	Utilizar todos <i>inputs</i> na produção buscando rendimento total; Formar conglomerados industriais (<i>in-out-in</i>).

Figura 1: Síntese das finalidades e características dos métodos para sustentabilidade

5. Conclusões

Este artigo apresentou os resultados de uma revisão e análise conceitual que teve por finalidade propor uma síntese das finalidades e características de métodos para sustentabilidade.

Foram analisados os métodos: Produção Mais Limpa (Cleaner Production); Produção Limpa (Clean Production); Tecnologias Mais Limpas (Cleaner Technologies); Ecoeficiência (Eco-Efficiency); Ecodesign; Projeto para a Sustentabilidade (Design for Sustainability); Projeto para o Meio Ambiente (Design for Environment); Prevenção da Poluição (Pollution Prevention); Análise de Ciclo de Vida (Life Cycle Assessment); Engenharia Verde (Green Engineering); Berço ao Berço (Cradle to Cradle Design); e Zero Emissões (ZERI - Zero Emissions Research Initiative).

A análise e síntese permitem entender que os diferenciais das propostas existentes para sustentabilidade têm sido dependentes da forma de como os problemas vem sendo interpretados pelos autores em função de suas visões e posições ideológicas a respeito do tema. Assim, as teorias que sustentam os vários métodos podem ser resultantes dos diferentes entendimentos sobre a problemática que, por conseqüência, têm produzido efeitos quando planejados e implantados métodos aplicados à sustentabilidade.

Referências

- RATTNER, H.** *Sustentabilidade: uma visão humanista*. Ambiente & Sociedade, 5, 1999.
- BELLEN, H. M. VAN.** *Desenvolvimento sustentável: uma descrição das principais ferramentas de avaliação*. Ambiente & Sociedade, 1, 2004.
- GUIMARÃES, L. B. M.** *A ecologia no projeto de produ-tos: design sustentável, design verde, ecodesign*. In: Ergonomia de produto (Org.) Guimarães, L. B. V. Porto Alegre: FEENG, 2006.
- MANZINI, E., VEZZOLI, C.** *O desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais*. São Paulo: EDUSP, 2008.
- KAZAZIAN, T.** *Haverá a idade das coisas leves: design e desenvolvimento sustentável*. São Paulo: Ed. SENAC, 2005.
- SCOTTO, G., CARVALHO, I. C. M., GUIMARÃES, L. B.** *Desenvolvimento sustentável*. Petrópolis: Vozes, 2007.
- SOUZA, L. E. S.** *Economia e sustentabilidade*. São Paulo: LCTE Editora, 2008.
- SILVA, J. S. G., HEEMANN, G.** *Eco-Concepção: design, ética e sustentabilidade ambiental*. Proc. Of Encontro de Sustentabilidade em Projeto do Vale do Itajaí. UNIVALI, 2000.
- SOUZA, P. R. S.** *Apresentação: pólos de inovação tecnológica do RS*. Porto Alegre: SCT/RS, 2006.
- WBCDS - CONSELHO EMPRESARIAL BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.** *Visão Estratégica Empresarial*. Rio de Janeiro: CEBDS, 2002.
- SILVEIRA, R. C. P.** *A organização textual do discurso científico de revisão*. Revista Tema, 1992, 16, 99 – 111.
- MOREIRA, W.** *Revisão de literatura e desenvolvimento científico: conceito e estratégias para confecção*. Janus. 2004, 1.

GLAVIC, P., LUKMAN, R. *Review of sustainability: terms and their definitions.* *Journal of Cleaner Production.* 2007, 15, 1875-1885.

VAN BERKEL, R. *Cleaner production for process industries: overview of the cleaner production concept and relation with other environmental management strategies.* Perth: Curtin University of Technology, CHEMECA, 2000.

CNTL – CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIAS LIMPAS. *Implementação de Programas de Produção Mais Limpa.* Porto Alegre: SENAI, 2003.

GIANNETTI, B. F., ALMEIDA, C. M. V. B. *Ecologia Industrial: conceitos, ferramentas e aplicações.* São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

VALLE, C. E. *Qualidade Ambiental: O desafio de ser competitivo protegendo o meio ambiente.* São Paulo: Pioneira, 1995.

SCHNITZER, H. *Die auf eine Stoffstromanalyse basierende Implementierung von vorsorgendem integrierten Umweltschutz.* *Chemie Ingenieur Technik.* Wiley – VCH: Verlag GmbH, 1998.

UNEP – UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME; DELFT UNIVERSITY OF TECHNOLOGY. *Un enfoque práctico para economías em vias de desarrollo diseño para la sostenibilidad: un enfoque práctico para economías em vias de desarrollo.* Manual. Francia, 2007.

MELLO, M. C. A., NASCIMENTO, L. F. *Produção Mais Limpa: um impulso para a inovação e a obtenção de vantagens competitivas.* Proc. of XXII ENEGEP, Curitiba, PR 2002.

ROBERT K. H., SCHMIDT-BLEEK, B., ALOISI L. J., BASILE, G., JANSEN J. L., KUEHR, R. *Strategic sustainable development selection, design and synergies of applied tools.* *Journal of Cleaner Production,* 2002,10, 197 - 214.

GOGALADZE K. *Cleaner production in Georgia.* In: Ba'rsanyi K, Zilahy G, editors. *Clean products and processes: abstract booklet.* Second meeting of the NATO/CCMS pilot study clean products and processes e phase II, Budapest., 2004.

KEFFER, C., SHIMP, R. LEHNI, M. *Eco-Efficiency Indicators & Reporting. Report on the Status of the Project's Work in Progress and Guideline for Pilot Application,* WBCSD, Geneva, 1999.

EPA - U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *An Organizational Guide to Pollution Prevention.* Cincinnati: EPA, 2001.

BREZET, H., VAN HEMEL, C. *Ecodesign: a promising approach to sustainable production and consumption.* Paris: UNEP, 1997.

SAMPAIO, C. P., MURARO, G., ZANINI, A. B. *Appliability of D4S methodology for development of sustainable services – sustainable coffe shop.* Proc. of International Symposium on Sustainable Design. Curitiba, 2007.

COSTA, J. J. *Design e sustentabilidade: do diferencial a característica essencial no desenvolvimento de novos produtos.* Proc. of Encontro de Sustentabilidade em Projeto do Vale do Itajaí, 2007.

BILLATOS, S. B., BASALY, N. A. *Green technology and design for the environment.* Washington: Taylor & Francis, 1997.

ALLENBY, B. R. *Industrial ecology: policy framework and implementation.* New Jersey: Prentice-Hall, 1999.

BITENCOURT, A. C. P. *Desenvolvimento de uma metodologia de reprojeto para o meio ambiente.* Florianópolis, Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFSC, 2001.

APPLETON, E., GARSIDE, F. A. *A team based design for assembly methodology.* *Assembly Automation,* 2000, v. 20, 2, 162-169.

BOOTHOYD G., DEWHURST, P. KNIGHT, W. *Product Design for Manufacture and Assembly.* New York: Marcel Dekker Inc, 1994.

ANDRADE, L. F. S., FORCELLINI, F. A. *Estudo da viabilidade de utilização do DFA, DFM e FMEA na fase de projeto conceitual.* Proc. of III Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. Belém, 2004.

BEITZ, W. *Designing for ease of recycling,* *Journal of Engineering Design,* 1993, 1, 2-7.

U.S. CONGRESS. *Pollution Prevention Act of 1990,* USC 42, Section 13106. Washington, D.C., 1990.

Chehebe, J. B. R. *Análise do ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1988.

EHRENFELD, J. R. *Industrial ecology: a framework for product and process design*. Journal of Cleaner Production, 1997, 5, 1-2.

ANASTAS, P., ZIMMERMAN, J. B. *Through the 12 principles Green Engineering*. Environmental Science & Technology. 2003, n. 3, 95-101.

MCDONOUGH, W., BRAUNGART, M. *Cradle to Cradle : Remaking the Way We Make Things*. New York: North Point Press, 2002a.

MBDC. EPEA. *Introduction to the Cradle to Cradle Design*. Framework. Version 7.02, 1-5, 2002.

MCDONOUGH, W. BRAUNGART, M. *Design for the Triple Top Line: New Tools for Sustainable Commerce*. Corporate Environmental Strategy, 2002b.

PAULI, G. *Upsizing: Como gerar mais renda e criar mais postos de trabalho e eliminar a poluição*, 3, Porto Alegre: Fundação Zeri Brasil – L&PM, 1998.

JERÔNIMO, A. C. *Do porco ao camarão: gestão circular de resíduos integrando agricultura e pesca*. Cadernos CEIFA, 2, Lisboa: ISCTE, 2003.

PAULI, G. *Emissão Zero*. Porto Alegre: EDIPUCRS, 1996.