

# Gestão de ciclo de vida e desenvolvimento de produto: análise bibliométrica e classificação da literatura

Angelo Varandas Junior<sup>a\*</sup>, Paulo Augusto Cauchick Miguel<sup>b</sup>,  
 Marly Monteiro de Carvalho<sup>c</sup>, Eduardo de Senzi Zancul<sup>d</sup>

<sup>a\*</sup>avarandas@usp.br, Poli/USP, Brasil

<sup>b</sup>cauchick@usp.br, Poli/USP, Brasil

<sup>c</sup>marlymc@usp.br, Poli/USP, Brasil

<sup>d</sup>ezancul@usp.br, Poli/USP, Brasil

## Resumo

O objetivo deste trabalho é realizar um mapeamento e classificação da literatura, bem como uma análise bibliométrica sobre os conceitos *Product Life Cycle Management* (PLM), *Product Development Process* (PDP), *Environmental Sustainability* (ES) e suas interfaces. As publicações de interesse foram localizadas por meio de consultas na base de dados de periódicos da ISI Web of Knowledge, por meio do portal da CAPES, considerando publicações entre 2006 e 2010. Os resultados indicam que os trabalhos são publicados em uma gama variada de periódicos e congressos e que a maioria das publicações analisadas utiliza como abordagem metodológica o estudo de caso, mas também existe uma grande proporção de trabalhos teórico-conceituais. Quanto à natureza dos dados verificou-se que a abordagem qualitativa tem sido mais adotada e é praticamente predominante a condução de estudos descritivos. Em síntese, os trabalhos analisados incorporam o conceito de sustentabilidade ambiental e PLM no PDP e são mais aplicados em empresas, cadeia de suprimentos e desenvolvimento de *software*. De modo geral, os trabalhos analisados enfatizam a melhoria da gestão do PDP, o aumento do desempenho e a integração de informações de diferentes áreas e sistemas. A literatura converge para a inserção dos conceitos de sustentabilidade ambiental e PLM nas atuais práticas do PDP.

## Palavras-chave

Sustentabilidade ambiental. Gerenciamento do ciclo de vida de produtos. Processo de desenvolvimento de produtos.

## 1. Introdução

A competição no mercado global vem aumentando a preocupação das empresas quanto ao meio ambiente, o que leva essas empresas a inserirem aspectos de sustentabilidade ambiental no desenvolvimento de novos produtos. Nesse contexto, aspectos tais como a destinação dos produtos no fim de sua vida útil e o reaproveitamento deles, por meio de estratégias de fim de vida (tais como a remanufatura, reciclagem e reuso), vêm sendo focados pelas empresas. Além disso, devido às mudanças climáticas e consumo crescente de matérias-primas e recursos energéticos, a sustentabilidade é vista como um elemento chave para o desenvolvimento sustentável. Ao lado de aspectos econômicos, as dimensões ecológicas e

sociais têm adquirido um maior significado (Bakshi & Fiksel, 2003; Lindahl et al., 2003).

De modo geral, existem nas empresas possibilidades de redução na utilização dos recursos energéticos necessários para a produção. Medidas como reaproveitamento dos materiais utilizados na fabricação dos produtos proporcionam limitações no uso de matérias-primas e da energia na conversão da matéria-prima reciclada (Van Berkel, 2007). A problemática da sustentabilidade tem como característica o seu caráter sistêmico, que coloca fortes desafios conceituais e operacionais, sendo necessário um esforço conjunto de todas as áreas da empresa. São tratadas nesse contexto muitas áreas de conhecimento que, a

princípio, parecem distintas, mas cuja integração viabiliza a sustentabilidade (Krause et al., 2006; Cooper, 2007; Ebert & De Man, 2008).

Entre as iniciativas existentes tem-se a abordagem do gerenciamento do ciclo de vida dos produtos ou *Product Life Cycle Management* (PLM), que envolve um grande número de processos de negócio que as empresas empregam para se manterem competitivas, tais como (Rozenfeld et al., 2006): i) Pesquisa & Desenvolvimento; ii) Desenvolvimento de produto; iii) Gestão de configuração das informações do produto e processo; iv) Acompanhamento do produto depois do lançamento e sua retirada do mercado; e v) Gestão dos processos de negócios (BPM – *Business Process Management*). Nesse sentido, o PLM permite considerar a sustentabilidade na criação e desenvolvimento de um produto com o objetivo de diminuir o impacto ambiental e social de sua produção, uso e descarte. Além do mais, os processos de negócio de PLM, que ocorrem após o desenvolvimento e durante a sua produção, garantem que as especificações de desenvolvimento sejam atendidas e que os processos de negócio que lidam com os produtos possam ser melhorados constantemente de forma cíclica e gradual (Kilmann, 1995).

Alinhado aos amplos conceitos de PLM e sustentabilidade, destaca-se o Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP), que é essencial na construção e sustentação de vantagem competitiva da empresa para fortalecer sua posição mercadológica. Esse processo consiste em um conjunto de atividades para definir novos produtos, em que alternativas são identificadas e avaliadas com critérios previamente definidos (Rozenfeld et al., 2006). Sua função é integrar todos esses critérios e otimizá-los, considerando as restrições existentes nos produtos, processos e organizacionais e, também, de geração de custos com retrabalhos (Clark & Fujimoto, 1991). Também é condição desejável para a competitividade a inserção do enfoque mais específico da sustentabilidade ambiental.

Pelos motivos anteriormente citados, constata-se a importância da realização de estudos que busquem compreender os conceitos de PLM, PDP e sustentabilidade ambiental e suas interfaces. Assim sendo, o presente trabalho objetiva realizar uma classificação e codificação da literatura, por meio de uma análise bibliométrica de trabalhos relevantes sobre esses temas publicados nos últimos cinco anos. O propósito é também verificar quais são os trabalhos e autores mais importantes e os temas centrais pesquisados até o momento, visando identificar possíveis tendências e lacunas dos trabalhos sobre os três conceitos. Visando estabelecer os métodos e as técnicas de pesquisa empregadas para a consecução dos

objetivos do presente trabalho, esses são apresentados na sequência.

## 2. Métodos adotados na presente pesquisa

Este trabalho é caracterizado como teórico-conceitual, mais especificamente voltado ao mapeamento e classificação da literatura sobre os conceitos de PLM, PDP e sustentabilidade ambiental. O presente trabalho não necessariamente se caracteriza como uma revisão tradicional da literatura (*literature review*), pois seu propósito não é a realização de uma análise crítica e nem comparativa entre as publicações selecionadas, mas visa identificar trabalhos relevantes, bem como lacunas de pesquisa existentes na literatura.

A revisão sistemática de literatura pode ser conduzida de diversas formas e mesclar técnicas qualitativas e quantitativas. Uma revisão sistemática tem como propósito identificar de forma abrangente e sintetizar os resultados de pesquisas sobre um tema em particular, por meio de procedimentos organizados, de modo transparente e replicável em cada etapa do processo de revisão (Littell et al., 2008). Neste trabalho utilizaram-se técnicas de bibliometria, análise de redes e classificação. As técnicas de bibliometria permitiram apresentar a evolução da literatura e das citações ao longo do tempo (Ikpaahindi, 1985). As redes sociais foram utilizadas na análise das palavras chave, com auxílio do *software* Ucinet for Windows (ver Borgatti et al., 2002; Lopes & Carvalho, 2012). A classificação permitiu tabular os trabalhos sobre diferentes aspectos como, por exemplo, o tipo de abordagem metodológica de pesquisa usando referenciais existentes (e.g. Martín et al., 1999; Carnevalli & Cauchick Miguel, 2007).

### 2.1. Protocolo de busca

É importante destacar que, para identificar, localizar e recuperar as publicações de interesse foi consultada a base de dados ISI Web of Knowledge, por meio do portal da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Essa base foi selecionada pois nela é possível localizar todos os periódicos indexados cujo fator de impacto é calculado no *Journal Citation Report* (JCR), independentemente de sua base de origem (Lopes & Carvalho, 2012).

Na consulta dos periódicos, buscaram-se como palavras-chave os seguintes termos (sem aspas e sem refinamento por área de conhecimento): PLM, PDP e *environmental sustainability* (sustentabilidade ambiental ou citado ao longo do texto pela sigla ES). Realizou-se a busca nos *abstracts* e, quando essa primeira opção não estava disponível na base

consultada, realizou-se a busca no texto completo. O recorte temporal do estudo considerou trabalhos publicados nos últimos cinco anos (2006-2010), porém foram analisados os trabalhos publicados até março de 2010, período final da busca e análise. Inicialmente, foram encontrados 1.070 estudos para o termo PLM, 14.611 estudos para o termo PDP e 5.582 estudos para o termo ES. Em seguida foram realizadas buscas combinando os termos no banco de dados e foram encontrados 242 estudos para os termos PLM e PDP, 163 estudos para os termos PDP e ES, 61 estudos para os termos PLM e ES e apenas 13 estudos para os três termos juntos PLM, PDP e ES. Os resultados da busca combinada e refinamento são detalhados na Tabela 1.

Nessa primeira fase, foram identificados 479 estudos combinando os termos PLM, PDP e sustentabilidade ambiental, conforme ilustrado na Figura 1.

Ao retirar as publicações não disponíveis com acesso livre, aquelas referentes a patentes, as

publicações duplicadas e as publicações que, pela leitura do *abstract* e/ou do texto completo, não estavam relacionadas aos temas de pesquisa (PLM, PDP e ES), resultaram 87 publicações para análise e classificação quanto ao propósito do trabalho de pesquisa. Para a análise dos dados, foram considerados os artigos em periódicos, trabalhos de congressos e simpósios. Não foram considerados livros, dissertações e teses, pelo fato de o portal da CAPES divulgar um número relativamente limitado desses tipos de publicação.

## 2.2. Protocolo de classificação dos trabalhos

Cada trabalho foi individualmente registrado por fichamento, utilizando-se uma adaptação de um formulário usado no levantamento de Carnevalli & Cauchick Miguel (2007). Os trabalhos foram então classificados por: tipo de abordagem metodológica (modelagem, teórico-conceitual, revisão da literatura, simulação, *survey*, estudo de caso, pesquisa-ação e

Tabela 1. Estratificação do refinamento da busca combinada dos termos PLM, PDP e ES.

Tópicos	(242) PLM e PDP	(163) PDP e ES	(61) PLM e ES	(13) PLM, PDP e ES
Categoria	(50) Gerenciamento, (44) Pesquisa de operação, (35) Engenharia industrial, (33) Ciência ambiental, (31) Engenharia ambiental, (49) outros	(51) Ciência ambiental, (38) Engenharia ambiental, (13) Estudos ambientais, (10) Ecologia, (10) Engenharia industrial, (41) outros	(27) Ciência ambiental, (22) Engenharia ambiental, (6) Tecnologia de construção, (6) Gerenciamento	(4) Engenharia ambiental, (4) Ciência ambiental, (3) Tecnologia de construção, (2) Gerenciamento
Área	(122) Engenharia, (68) Ciência da computação, (56) Economia e negócios, (44) Pesquisa de operação, (36) Ciência ambiental e ecológica	(67) Engenharia, (60) Ciência ambiental e ecológica, (12) Economia e negócios, (12) Química, (12) outros	(30) Engenharia, (28) Ciência ambiental e ecológica, (8) Economia e negócios, (6) Tecnologia de construção	(7) Engenharia, (5) Ciência ambiental e ecológica, (3) Tecnologia de construção, (2) Economia e negócios
Documento	(175) Artigo, (69) Congresso, (7) Revisão	(135) Artigo, (30) Congresso, (10) Revisão	(49) Artigo, (10) Congresso, (3) Revisão	(10) Artigo, (1) Material editorial, (1) Congresso, (1) Revisão
Autor	(26) IEEE, (6) ASME, (2) ACM, (2) Dumsloff U., (2) Ebert C., (204) outros	(4) IEEE, (3) Luttrupp C., (3) ASME, (2) Gantner U., (2) Genaidy A., (149) outros	(2) Coltro L., (2) Guelere A., (2) IEEE, (2) Kletecke R.M., (2) Mourad A.L., (51) outros	(1) Schmidt, (1) Cooper J.S., (1) Van Schaik, (10) outros
Ano de publicação	(55) 2009, (50) 2008, (47) 2006, (46) 2010, (44) 2007	(47) 2010, (31) 2009, (31) 2006, (31) 2007, (23) 2008	(21) 2010, (16) 2009, (12) 2006, (9) 2007, (3) 2008	(6) 2010, (3) 2006, (2) 2007, (2) 2009
Idioma	(238) Inglês, (1) Espanhol, (1) Croata, (2) outros	(154) Inglês, (2) Alemão, (2) Espanhol, (5) outros	(58) Inglês, (2) Espanhol, (1) Francês	(12) Inglês, (1) Espanhol
Fonte de publicação	(15) <i>Int. Journal of Life Cycle Assessment</i> , (4) <i>European Journal of Operational Research</i> , (4) <i>Int. Journal of Production Economics</i> , (219) outros	(14) <i>Journal of Cleaner Production</i> , (8) <i>International Journal of Engineering Education</i> , (4) <i>Int. Journal of Life Cycle Assessment</i> , (137) outros	(9) <i>Int. journal of Life Cycle Assessment</i> , (5) <i>Journal of Cleaner Production</i> , (3) <i>Journal of Industrial Ecology</i> , (44) outros	(1) <i>Int. Journal of Engineering Education</i> , (3) <i>Int. Journal of Life Cycle Assessment</i> , (1) <i>Journal of Management in Engineering</i> , (8) outros

experimento), natureza da abordagem metodológica (qualitativa, quantitativa, descritiva e preditiva), abrangência do estudo (regional, nacional ou internacional), unidade de análise (pessoas, grupos, unidade organizacional e empresas), técnicas para a coleta de dados (questionário, entrevistas, análise-documental, dados públicos e observação), e período analisado (retrospectivo, atual e longitudinal). Os trabalhos foram codificados conforme apresentado no Apêndice 1. Utilizaram-se o diagrama de afinidades e o diagrama em árvore para organizar e agrupar os dados de interesse dos artigos de forma hierárquica, classificando-os de acordo com o Apêndice 2: áreas de aplicação, benefícios alcançados e principais conceitos utilizados. Em função da grande dimensão dos diagramas, eles não são apresentados no presente trabalho.

### 2.3. Protocolo da análise bibliométrica e análise de redes

Como suporte para a análise bibliométrica utilizaram-se dois *softwares*: Sitkis (ver Schildt, 2002) e Ucinet (ver Borgatti et al., 2002). O Sitkis foi aplicado para importação e depuração (correção de erros) dos dados salvos em arquivo de texto do ISI Web of Knowledge. O Ucinet auxiliou na

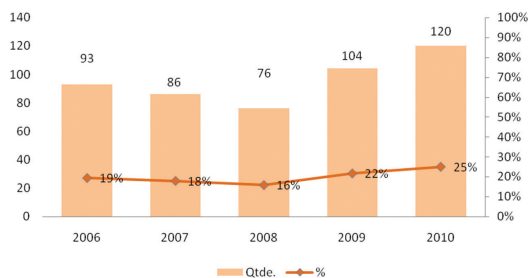


Figura 1. Publicações disponíveis no ISI Web of Knowledge para os termos escolhidos.

elaboração das matrizes e mapas gráficos das redes de relacionamentos entre as palavras-chave e temas correlatos, conforme sugerido por Santos & Bastos (2007), englobando um conjunto de técnicas para análise das redes sociais.

As redes sociais foram analisadas de duas formas: (i) do ponto de vista de suas características estruturais e (ii) do ponto de vista morfológico ou posicional dos atores. O ponto de vista estrutural examina a rede como um todo, enquanto o ponto de vista morfológico desce ao nível dos atores e suas ligações, focando nas relações entre os indivíduos e procurando compreender os papéis que os atores desempenham na manutenção ou expansão das redes. O levantamento de critérios estruturais abordou o tamanho, a densidade, as distâncias geodésicas e a coesão das redes.

A estrutura de uma rede de inter-relações de citações pode ser analisada com base em diversos indicadores, dependendo do objetivo pretendido com a análise. Assim, também foram utilizados indicadores de centralidade para interpretar algumas características das redes analisadas. Esses indicadores de centralidade permitem analisar a rede tanto no seu conjunto como individualmente, facilitando a compreensão da importância relativa de cada ator e relações dentro da rede. Com base na importância dos indicadores da rede, além dos indicadores de centralidade (grau de centralidade e índice de centralização), a presente análise utiliza ainda os seguintes indicadores nas redes de palavras-chave: densidade da rede, grau de intermediação e grau de proximidade. Na sequência, são apresentados os principais resultados do trabalho.

### 3. Resultados: classificação dos trabalhos analisados

Com a finalização da busca e organização bibliográfica, segundo os critérios previamente citados, foram analisados 87 trabalhos sobre os conceitos de PLM, PDP e sustentabilidade ambiental, publicados em

Tabela 2. Estratificação do refinamento da busca combinada dos termos PLM, PDP e ES.

Periódicos	2006	2007	2008	2009	2010	Total
<i>Journal of Cleaner Production</i>	6	2	2	2		12
<i>International Journal of Life Cycle Assessment</i>	4		2	2		8
<i>International Conference on PLM</i>		3				3
<i>Conference on Life Cycle Engineering</i>		2				2
<i>Concurrent Eng.-Research and Applications</i>		1		1		2
<i>European Journal of Operational Research</i>		1			1	2
<i>Inter. Journal of Computer Integ. Manuf.</i>			1	1		2
<i>Inter. Journal of Engineering Education</i>		2				2
<i>International Journal of Production Economics</i>			2			2
<i>Reliability Engineering &amp; System Safety</i>		1		1		2
<b>Total</b>	<b>10</b>	<b>12</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>37</b>

25 diferentes periódicos e em congressos, referentes ao período de 2006 a 2010. Verificou-se que em apenas 15% dos casos os periódicos apresentam mais de um artigo sobre o tema durante os cinco anos analisados, indicando que são dispersas as publicações sobre o assunto nos periódicos em geral, exceto em alguns como o *Journal of Cleaner Production*, que teve 12 artigos publicados, e o *International Journal of Life Cycle Assessment*, com oito artigos publicados. A Tabela 2 apresenta os periódicos e congressos que tiveram mais de um artigo publicado sobre o tema no período analisado e a Figura 2 mostra o percentual das publicações por ano analisadas neste trabalho.

Observa-se que existe uma oscilação pequena, mantendo-se em torno de 20 artigos publicados por ano no período analisado. A queda na quantidade de publicações analisadas para o ano de 2010 é devida, principalmente, à análise englobar as publicações até o mês de março de 2010. Comparando-se com dados da Figura 1, observa-se que, em geral, houve um aumento na quantidade de publicações sobre os três conceitos PDP, PLM e ES.

A Figura 3 classifica mais detalhadamente os trabalhos nos seguintes grupos de abordagens metodológicas de pesquisa: modelagem; teórico-conceitual; revisão da literatura; simulação; *survey*; estudo de caso; pesquisa-ação; e experimento, sendo que os valores indicados nas colunas referem-se à proporção de cada tipo de abordagem de pesquisa em relação ao total de trabalhos no período de cinco anos. Constatou-se pela Figura 3 que o estudo de caso foi a abordagem metodológica mais adotada no período analisado e, em segundo lugar, destacam-se os trabalhos teórico-conceituais. Nota-se na Figura 3 que não foram encontrados trabalhos classificados como pesquisa-ação ou experimento, sendo esse último tipo um resultado esperado. Cabe destacar que algumas publicações foram classificadas em mais de um tipo de estudo por utilizarem abordagens de pesquisa multimétodo ou, ainda, na adoção de dada abordagem, serem realizados testes com aplicações reais ou um maior aprofundamento, tais como nas situações de modelagem, seguida por estudo de caso e *survey* complementada por um estudo de caso.

Sobre o apoio financeiro para as pesquisas, pouco mais de 26% dos estudos indicaram a existência de algum tipo de apoio. No entanto, não é possível afirmar que a maioria das pesquisas são realizadas com recursos próprios, pelo fato de essa informação ser omitida nas publicações.

A Figura 4 apresenta a classificação dos trabalhos em relação à natureza das abordagens de pesquisa (quantitativa, qualitativa, descritiva e prescritiva), sendo que os valores das colunas indicam o percentual de

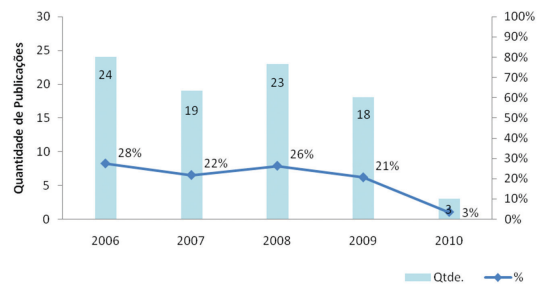


Figura 2. Distribuição percentual e quantidade de publicações por ano analisadas neste trabalho.

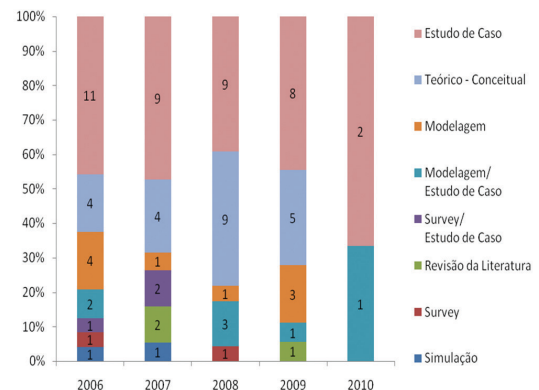


Figura 3. Classificação pelo tipo de abordagem de pesquisa nos estudos.

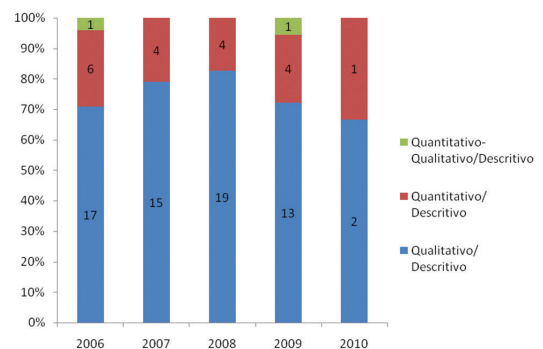


Figura 4. Classificação quanto à abordagem dos estudos.

ocorrência dessas abordagens em relação ao total de abordagens no período de cinco anos.

Verificou-se, portanto, que a abordagem de pesquisa qualitativa (76%) tem sido mais adotada que a quantitativa (24%) e que, basicamente, só estudos descritivos (100%) foram realizados. Isso se deve, em parte, ao foco dos trabalhos ser, em geral, de caráter exploratório, pelo fato de os conceitos de PLM, PDP e sustentabilidade ambiental ainda não estarem plenamente consolidados na literatura (com base em estudos empíricos). Em relação aos

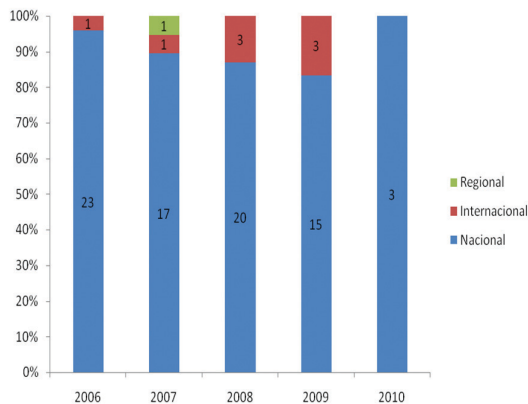


Figura 5. Classificação quanto à extensão dos estudos.

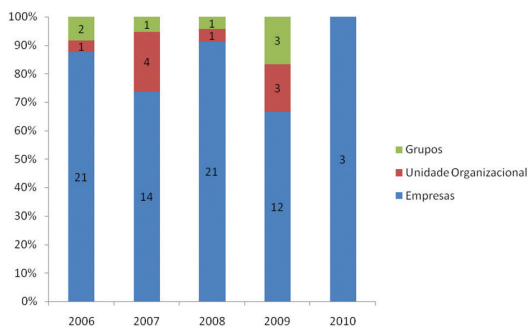


Figura 6. Classificação quanto à escolha do objeto de análise dos estudos.

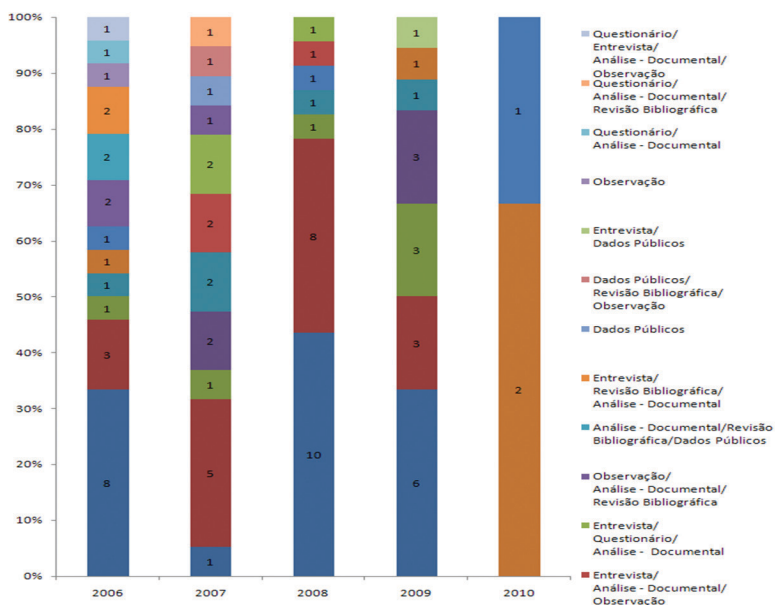


Figura 7. Distribuição da utilização de documentação para coleta de dados identificada nos estudos.

trabalhos que envolvem ambiente de análise regional, nacional ou internacional, a extensão é centralizada em ambiente nacional (90%), conforme mostra a Figura 5. Sobre o objeto de análise dessas pesquisas, a maioria dos trabalhos considera empresas (81%), como mostrado na Figura 6.

No caso da utilização de documentação direta e indireta para a coleta de dados (análise documental, dados públicos, revisão bibliográfica e observação), foram consideradas aquelas que foram indicadas nos trabalhos. Verificou-se que o uso conjunto de revisão bibliográfica e de análise documental ocorreu com maior frequência (57%). Por questões óbvias, a revisão bibliográfica também corresponde a quase um quinto do total, seguida pela análise documental (7%). Entretanto, outros tipos de documentação também foram adotados, como mostra a Figura 7, ressaltando-se que em dois terços das publicações (66%) foi utilizado mais de um tipo de documentação.

Observou-se, que o estudo do tipo retrospectivo é o mais frequente, com mais da metade dos trabalhos analisados, como mostra a Figura 8, seguido do tipo atual (39%) e, com menos frequência, do estudo longitudinal (8%). Sobre os estudos de caso longitudinais (que analisam uma aplicação ao longo do tempo), verifica-se que existe uma carência desse tipo de estudo, que são relevantes para analisar a evolução dos conceitos PLM, PDP e sustentabilidade ambiental na extensão temporal.

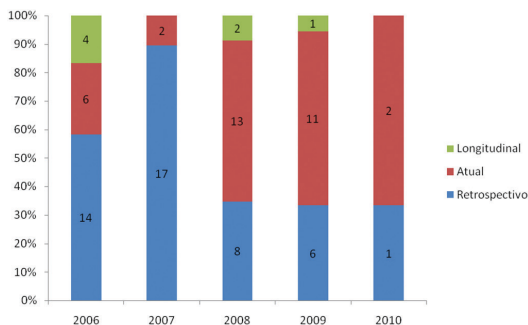


Figura 8. Classificação do período analisado nos estudos.

Com o uso do diagrama de afinidades e o diagrama em árvore foi possível organizar e agrupar os dados sobre o escopo das publicações por tipo (afinidades) e hierarquicamente (em árvore), visando analisar: (i) os conceitos de PLM, PDP e ES; (ii) os benefícios propostos pelas pesquisas; e (iii) as áreas de aplicação desses conceitos. Para elaboração desses diagramas foram seguidos os seguintes passos:

- separação dos itens de interesse em planilhas do Excel®, considerando os seguintes assuntos: escopo, definição e conceitos utilizados, benefícios, e áreas de aplicação;
- desenvolvimento dos diagramas, separadamente, para cada assunto de interesse;
- agrupamento das publicações por assuntos similares, mas mantendo as referências de todos os autores que os citaram;
- determinação de um termo que representasse a ideia do grupo para cada um dos grupos, sendo que esse termo tinha um nível mais abstrato no primeiro nível;
- montagem de tabela no Excel®, obedecendo ao agrupamento realizado nas etapas anteriores e hierarquizando em níveis os termos do abstrato para o específico;
- verificação dos níveis hierarquizados da tabela, se seus agrupamentos estavam consistentes – foram feitas as correções, quando necessário; e
- revisão e finalização das tabelas com a análise de novos dados da literatura, respeitando os agrupamentos já realizados.

Sobre os conceitos utilizados nas publicações analisadas, verificou-se que 21% das publicações são sobre sustentabilidade ambiental (ES), que engloba o conceito *Life Cycle Assessment* (LCA); 21% sobre PDP junto com sustentabilidade ambiental, que englobam os conceitos *Design for Sustainability* (DFS) e eco-design; 20% sobre PLM, que engloba os conceitos *End of Life* (EOL), *Life Cycle Costing* (LCC) e *Life Cycle Design* (LCD); 16% sobre PDP em conjunto

com PLM, que englobam os conceitos *Strategic Life Cycle Management* (SLCM); 10% sobre PDP; 10% sobre PLM junto com sustentabilidade ambiental e 2% com os três conceitos juntos.

Nas conclusões das publicações são relatados alguns benefícios alcançados e/ou propostos com a inserção dos conceitos PLM e ES no PDP. Assim, identificou-se que 32% referem-se a práticas de melhorias na gestão do PDP, 30% investigaram variáveis que impactam no aumento de desempenho no PDP, 17% buscam integrar informações de diferentes áreas e sistemas no PDP, 10% envolvem suporte para a tomada de decisão pela alta administração no PDP, 8% buscam inserir conceitos e ferramentas de sustentabilidade no PDP, e 1% para duas outras (alinhamento da cadeia de demanda e gestão do PLM; e melhoria do controle e planejamento de alternativas para desenvolvimento de novos produtos para *software* considerando o ciclo de vida dos produtos).

No caso das áreas de aplicação dos conceitos analisados neste trabalho foi verificado que 37% estão relacionadas a ambientes complexos em termos de produto ou processo; 22%, à gestão das diversas fases do PDP; 17% são focadas, especificamente, na gestão de projetos e desenvolvimento de *software*; 11%, na melhoria do desenvolvimento de novos produtos a partir das relações de colaboração na cadeia de suprimentos; 6%, no desenvolvimento de tecnologia; 3%, no estímulo a parcerias no codesenvolvimento; 2%, na estruturação de programas de desenvolvimento educacional na área de engenharia; e 1%, no controle e planejamento da cadeia de demanda.

#### 4. Resultados: conceitos PLM, PDP e ES e análise bibliométrica

A estrutura de uma rede de inter-relações de citações pode ser analisada com base em diversos indicadores, dependendo do objetivo pretendido com a análise. Nesse sentido, também foram utilizados indicadores de centralidade para interpretar algumas características das redes. Esses indicadores de centralidade permitem analisar a rede tanto no seu conjunto como individualmente, facilitando a compreensão da importância relativa de cada ator e relações existentes na rede. Com base na importância dos indicadores da rede, além dos indicadores de centralidade (grau de centralidade e índice de centralização), a presente análise utiliza ainda os seguintes indicadores nas redes de palavras-chave: densidade da rede, grau de intermediação e grau de proximidade. Na Tabela 3 é apresentada uma definição desses indicadores utilizados para análise. Os resultados decorrentes da combinação entre os

conceitos (PDP e PLM; PDP e ES; PLM e ES; e PDP, PLM e ES) são apresentados na sequência.

#### 4.1. Análise bibliométrica

Para realizar uma análise bibliométrica dos três conceitos juntos (PDP, PLM e ES) não foi utilizado critério de corte. Dessa forma, os trabalhos selecionados foram citados pelo menos uma vez e representam todas as citações sobre os termos PDP, PLM e ES, conforme mostra a Tabela 4.

Com base nos trabalhos listados na Tabela 4, verifica-se que a publicação mais citada foi a de Schmidt & Butt (2006), que propõe ferramentas de gerenciamento da sustentabilidade no PDP considerando aspectos econômicos, sociais e ambientais. O trabalho de Van Schaik et al. (2010) trata de mudanças climáticas e gerenciamento de água e materiais e o trabalho de Cooper (2007) objetiva desenvolver conhecimentos interdisciplinares de sustentabilidade, *Design for Environment* (DFE) e *Life Cycle Assessment* (LCA).

Trabalhos sobre os conceitos PDP, PLM e ES combinados em pares, que foram os mais citados, apresentam tendência de crescimento. Porém, há poucos trabalhos sendo desenvolvidos que tratam dos três temas em conjunto. As Figuras 9 e 10 demonstram a quantidade absoluta e o percentual de citações por ano dos trabalhos mais citados sobre PLM e sustentabilidade ambiental.

Analisando as ligações entre as palavras-chave mostradas na Figura 11, observa-se que o tema *sustainability* está ligado diretamente a *design for environment* e *recycling* e, também, a *sustainable development*, que está relacionada ao tema *design*. O tema *product development* está ligado aos demais, exceto ao tema *recycling*.

Não foi possível encontrar uma rede de citações cruzadas e nem de cocitação para os trabalhos sobre os três temas PDP, PLM e ES selecionados. Para analisar as referências bibliográficas mais citadas, que compõem a base teórica dos trabalhos com respeito a PDP, PLM e ES selecionados, utilizaram-se como critério de corte as referências citadas mais de duas vezes. Com base nesse critério, obteve-se apenas uma publicação: Fleischmann et al. (2000).

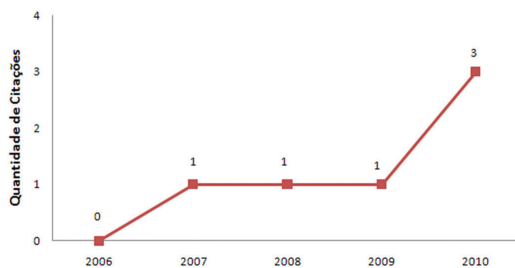


Figura 9. Número de citações por ano dos trabalhos sobre PDP, PLM e ES citados pelo menos uma vez. Nota: gráfico feito no MS Excel com os dados importados pelo software Sitkis.

Tabela 3. Definição dos termos utilizados na análise bibliométrica.

Termo	Definição
Rede social	A rede, constituída por conjunto de atores (nós da rede) que se relacionam (traços entre si) e visam comunicação, troca e ajuda mútua, emerge a partir de interesses compartilhados e de situações vivenciadas.
Ator da rede	Nós da rede, podem ser: artigos, autores, palavras-chave etc.
Relacionamento	São as transações, interações e conexões entre esses diversos atores.
Rede de citação cruzada	Permite identificar, dentro do conjunto de artigos, quais autores trabalham sobre temas correlatos.
Rede de cocitação	Mede a similaridade de citações entre os trabalhos, identificando o volume de trabalhos que citaram conjuntamente os mesmos textos.
Densidade da rede	É o quociente de relações efetivamente existentes entre os atores das redes pelo total de ligações possíveis de ocorrer.
Grau de centralidade	É a relação adjacente de um ator e pode ser dividida em grau de entrada (quantidade de ligações que um ator recebe de outros atores) e grau de saída (quantidade de ligações que um ator estabelece com atores de um grupo).
Grau de intermediação	É a possibilidade que um ator tem de intermediar as comunicações entre pares de atores que não se relacionam diretamente.
Grau de proximidade	Avalia a proximidade ou distância de um ator em relação aos outros.
Caminhos geodésicos	Caminho mais curto que um ator deve percorrer para se ligar a outros atores.

Tabela 4. Trabalhos citados pelo menos uma vez sobre PDP, PLM e ES.

Autor	Revista	Citações
Schmidt & Butt (2006)	<i>International Journal of Life Cycle Assessment</i>	4
Van Schaik et al. (2010)	<i>Minerals Engineering</i>	1
Cooper (2007)	<i>International Journal of Engineering Education</i>	1
<b>Total</b>		<b>6</b>





Figura 10. Percentual de citações por ano dos trabalhos sobre PDP, PLM e ES citados pelo menos uma vez. Nota: gráfico feito no MS Excel com os dados importados pelo *software* Sitkis.

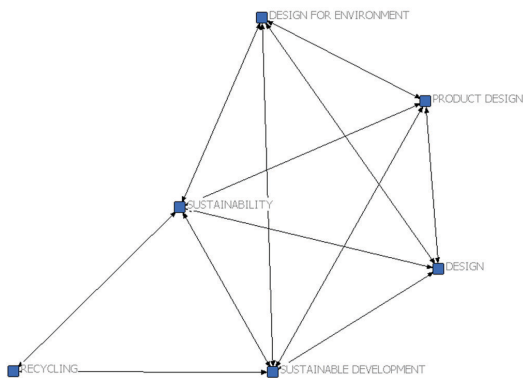


Figura 11. Rede de palavras-chave dos trabalhos sobre PDP, PLM e ES mais citados. Nota: gráfico feito no *software* Ucinet com os dados importados pelo *software* Sitkis.

Os autores relevantes em termos de quantidade de citações, para os trabalhos selecionados, nos temas de pesquisa foram: Fixson (2007) e Norris (2006), para os conceitos combinados de PDP e PLM; Pujari (2006) e Luttrupp & Lagerstedt (2006), para os conceitos de PDP e ES; Linton et al. (2007) e De Benedetto & Klemes (2009), para os conceitos de PLM e ES; e Cooper (2007), Schmidt & Butt (2006) e Van Schaik et al. (2010), para os três conceitos juntos.

Na análise da rede de interações das palavras-chave dos conceitos PDP, PLM e ES obteve-se uma densidade da rede de 80%, considerando-se que há um total de seis nós e 24 relações de 30 possíveis. Esse resultado demonstra uma alta conectividade da rede de palavras-chave para esses conceitos juntos.

O grau de centralidade da rede é de 41,67%, tanto para o grau de entrada como para o grau de saída. A média do grau de centralidade da rede (não

simetrizada) foi de 5.714, indicando que, em média, cada palavra-chave se relaciona com outras seis. A Tabela 5 exibe o grau de entrada e grau de saída para todos os atores, indicando que a palavra-chave *sustainability* é central em termos de interações dessa rede, com um grau de entrada igual ao grau de saída de 10.000 (83,33%). A Tabela 6 mostra alguns indicadores estatísticos da rede.

O índice de centralização da rede é de 14,07%, e indica um resultado de ausência de atores centrais. Para analisar a capacidade que os atores têm de intermediar a comunicação da rede, utilizaram-se o grau de intermediação e os indicadores estatísticos, mostrados na Tabela 7. As palavras-chave que obtiveram maior grau de intermediação foram: *sustainability* (17,77%), *sustainable development* (8,88%), *design for environment* (8,88%) e *recycling* (2,22%).

Para analisar a capacidade que os atores têm de relacionarem-se com os demais nós, avaliou-se o grau de proximidade. O grau de proximidade da rede é de 53,25% e a palavra *sustainability* teve o maior grau de proximidade, igual a 100.000, e a menor distância geodésica, de 6.000. Esses resultados indicam que essa palavra possui uma melhor capacidade de relacionar-se com os demais atores. A Tabela 8 mostra a distância geodésica entre os atores, o grau de proximidade de todas as palavras-chave e os indicadores estatísticos.

#### 4.2. Principais tendências identificadas – síntese da análise de conteúdo

Com base nos resultados e discussões anteriores, visando complementar a análise bibliométrica sobre PDP, ES e PLM e suas inter-relações, os seguintes

Tabela 5. Grau de centralidade das palavras-chave sobre PDP, PLM e ES.

Palavras-chave	Grau de saída	Grau de entrada	Grau de saída normalizado (%)	Grau de entrada normalizado (%)
<i>Sustainability</i>	10.000	10.000	83.333	83.333
<i>Sustainable development</i>	7.000	7.000	58.333	58.333
<i>Design for environment</i>	6.000	6.000	50.000	50.000
<i>Design</i>	5.000	5.000	41.667	41.667
<i>Recycling</i>	4.000	4.000	33.333	33.333
<i>Product design</i>	4.000	4.000	33.333	33.333

Tabela 6. Estatística descritiva do grau de intermediação das palavras-chave sobre PDP, PLM e ES.

Estatística descritiva	Grau de saída	Grau de entrada	Grau de saída normalizado (%)	Grau de entrada normalizado (%)
<i>Mean</i>	5.714	5.714	47.619	47.619
<i>Std Dev</i>	2.050	2.050	17.087	17.087
<i>Sum</i>	40.000	40.000	333.333	333.333
<i>Variance</i>	4.204	4.204	291.950	291.950
<i>SSQ</i>	258.000	258.000	17.916.666	17.916.666
<i>MCSSQ</i>	29.429	29.429	2.043.651	2.043.651
<i>Euc Norm</i>	16.062	16.062	133.853	133.853
<i>Minimum</i>	4.000	4.000	33.333	33.333
<i>Maximum</i>	10.000	10.000	83.333	83.333
<i>N of Obs</i>	7.000	7.000	7.000	7.000

Tabela 7. Grau de intermediação das palavras-chave sobre PDP, PLM e ES.

Palavras-chave	Grau de intermediação	Grau de intermediação normalizado (%)
<i>Sustainability</i>	2.667	17.778
<i>Sustainable development</i>	1.333	8.889
<i>Design for environment</i>	1.333	8.889
<i>Recycling</i>	0.333	2.222
<i>Mean</i>	0.857	5.714
<i>Std Dev</i>	0.906	6.040
<i>Sum</i>	6.000	40.000
<i>Variance</i>	0.821	36.483
<i>SSQ</i>	10.889	483.951
<i>MCSSQ</i>	5.746	255.379
<i>Euc Norm</i>	3.300	21.999
<i>Minimum</i>	0.000	0.000
<i>Maximum</i>	2.667	17.778
<i>N of Obs</i>	7.000	7.000

pontos-chave da análise de conteúdo foram sumarizados a partir das 87 publicações selecionadas na literatura.

O tema PDP apresenta-se, em geral, diretamente ligado à necessidade de maior competitividade industrial, sendo esse um resultado esperado das ações de melhoria do PDP. Grande ênfase é dada à gestão do processo de desenvolvimento como um todo, envolvendo aspectos como sequência de atividades, seleção e adoção de métodos de projeto, otimização do fluxo de informações e melhoria organizacional,

notadamente com maior esforço para viabilizar o trabalho em equipes multidisciplinares. O foco é em processos empregados para o desenvolvimento de produtos que considerem os requisitos de desempenho, de custos e também de impacto no meio ambiente. Nesse sentido são adotados métodos específicos de projeto, que têm como objetivo considerar, desde as fases iniciais do desenvolvimento do produto, as questões críticas que terão impactos somente mais tarde, nas fases posteriores do ciclo de vida.

A ES destaca a importância da inclusão da variável ambiental no processo de desenvolvimento, buscando minimizar o uso dos recursos naturais e reduzir os impactos ambientais inerentes à produção. Nos artigos que destacam esse tema, maior ênfase é dada à estimativa e à avaliação dos impactos ambientais que podem ser atribuídos a um produto ao longo de seu ciclo de vida – consumo de energia, emissões, entre outros aspectos. Nesse sentido, é empregada a LCA para estimar o impacto ambiental ao longo do ciclo de vida. Na aplicação da LCA são considerados principalmente os impactos ambientais gerados nas fases de produção, de uso e de descarte dos produtos. A fase de desenvolvimento é geralmente menos relevante, pois nela, tipicamente, os impactos no meio ambiente são comparativamente menores. No entanto, deve-se observar que as decisões de projeto realizadas na fase de desenvolvimento determinam grande parte dos impactos ambientais que ocorrem nas fases seguintes do ciclo de vida. Isso evidencia

Tabela 8. Grau de proximidade das palavras-chave sobre PDP, PLM e ES.

Palavras-chave	Distância	Grau de proximidade
<i>Sustainability</i>	6.000	100.000
<i>Sustainable development</i>	7.000	85.714
<i>Design for environment</i>	7.000	85.714
<i>Design</i>	8.000	75.000
<i>Product design</i>	8.000	75.000
<i>Recycling</i>	9.000	66.667
<i>Mean</i>	7.714	79.252
<i>Std Dev</i>	1.030	11.129
<i>Sum</i>	54.000	554.762
<i>Variance</i>	1.061	123.849
<i>SSQ</i>	424.000	44.832.766
<i>MCSSQ</i>	7.429	866.942
<i>Euc Norm</i>	20.591	211.737
<i>Minimum</i>	6.000	66.667
<i>Maximum</i>	9.000	100.000
<i>N of Obs</i>	7.000	7.000

a inter-relação entre PDP e ES. No PDP, abordagens e métodos como o *Design for Sustainability* e o *eco-design* são empregados desde a conceituação dos produtos para direcionar as escolhas sobre a estrutura, os materiais e os processos de produção. O objetivo é antecipar o atendimento dos requisitos ambientais desde as etapas iniciais do desenvolvimento. Já a LCA é uma ferramenta que indica as consequências dessas escolhas de projeto no consumo de recursos e no meio ambiente.

O PLM destaca a necessidade de promover uma visão completa do ciclo de vida do produto, compreendendo todas as fases pelas quais o produto passa, desde a sua concepção até a destinação final, após o seu uso. O objetivo é possibilitar que requisitos das fases posteriores do ciclo de vida como, por exemplo, a facilidade de desmontagem para a reciclagem, sejam considerados desde as fases iniciais de conceituação. Viabilizar essa visão na prática requer a integração de informações de várias áreas e sistemas. A ênfase principal é no apoio à criação, à gestão, à disseminação e ao uso das informações de produtos ao longo do ciclo de vida. Dentre as informações de produtos geradas no ciclo de vida estão: listas de requisitos, estruturas de produto, modelos em CAD, planos de processo de fabricação, resultados de simulação, dentre outras. Idealmente, tais informações precisam estar atualizadas para serem acessadas ao longo de todo o ciclo de vida por todas as pessoas envolvidas e autorizadas. A integração de informações entre áreas e sistemas promovida pelo PLM contribui para a otimização do PDP e para que se possa atuar na redução dos impactos ambientais, conforme a ênfase dada pela ES.

Em síntese, os trabalhos que abordam o conceito de PLM consideram a visão ampla do ciclo de vida, desde a concepção até as etapas finais de reuso, remanufatura e reciclagem como estratégia para o fim da vida útil de produtos. Para os trabalhos que utilizam o conceito de sustentabilidade, o foco está na avaliação dos impactos no meio ambiente e o PDP busca desenvolver produtos com menor impacto ambiental, envolvendo princípios de *eco-design*, mas que tragam também benefícios econômicos e sociais, termo mais conhecido como *Triple Bottom Line*.

## 5. Conclusões

Primeiramente, cabe considerar que os objetivos inicialmente estabelecidos foram atingidos. Pelos resultados da análise e classificação da literatura constata-se que os trabalhos são publicados de forma dispersa em periódicos e congressos e que os periódicos que mais abordam o tema de pesquisa são o *Journal of Cleaner Production* e o *International Journal of Life Cycle Assessment*. Verifica-se, ainda, que a maioria das publicações analisadas utiliza como abordagem metodológica o estudo de caso, seguido por trabalhos teórico-conceituais. Em algumas publicações constatou-se a adoção de multimétodo. Quanto à natureza dos dados constata-se que a abordagem qualitativa tem sido mais adotada em relação à quantitativa e que somente estudos descritivos foram realizados, devido, em parte, ao fato de as publicações explorarem esses conceitos, em sua pauta de pesquisa, já há algum tempo, embora eles não estejam totalmente consolidados na literatura (notadamente PLM e ES). Constata-se ainda um grupo de autores considerados relevantes, pela quantidade de citações, com publicações de 2006 a 2010.

Sobre o objeto de análise dessas pesquisas, a maioria analisou empresas e empregou mais de um tipo de documentação para coleta de dados. Ainda, observa-se que o estudo do tipo retrospectivo é mais frequente que o longitudinal, sendo esse último muito importante para analisar a evolução dos conceitos PLM, PDP e ES. Os tópicos mais utilizados no desenvolvimento dos trabalhos analisados referem-se aos temas *End of Life*, *Life Cycle Assessment*, *Life Cycle Costing*, *Life Cycle Design*, *Design for Sustainability*, *Eco-Design*, *Strategic Life Cycle Management*, e Sustentabilidade.

Considerando a importância dos conceitos PDP, PLM e ES para as empresas obterem sucesso no mercado, conclui-se que, relativamente, ainda existe uma certa escassez de trabalhos publicados tratando dos três temas em conjunto, apesar de eles terem sido desenvolvidos já há algum tempo. Em síntese, os trabalhos analisados incorporam os conceitos ES

e PLM no PDP e são mais aplicados em empresas, cadeias de suprimentos e desenvolvimento de *software*.

Sobre os benefícios propostos por esta amostra de trabalhos analisados (87), de modo geral, enfatiza-se a melhoria da gestão do PDP, o aumento do desempenho e a integração de informações de diferentes áreas e sistemas. Além disso, é importante destacar que os trabalhos de relevância sobre os três conceitos abordam a inserção de ferramentas de gerenciamento da sustentabilidade ambiental no PDP, considerando aspectos econômicos, sociais e ambientais.

Os resultados do presente trabalho oferecem uma classificação da produção científica dos conceitos de gestão de ciclo de vida, desenvolvimento de produto e sustentabilidade ambiental e uma sumarização do conteúdo principal dessas publicações. Uma limitação do trabalho é a não realização de uma revisão crítica aprofundada da literatura sobre os conceitos analisados que, embora não tenha sido o propósito e escopo, seria bem-vinda em trabalhos futuros.

Nesse sentido, uma das propostas para trabalhos futuros é uma análise sobre a integração dos conceitos PDP, PLM e ES, delimitando o contorno entre as interfaces, basicamente em função da escassez de estudos desse tipo. Além disso, devem-se aprofundar os estudos de análise bibliométrica para disseminar essa técnica na área de engenharia de produção.

Por fim, o trabalho conclui que a literatura converge para a inserção dos conceitos ES e PLM nas atuais práticas do PDP. Essa conclusão pode ser justificada com base na maior demanda de exigências ambientais pela sociedade e na necessidade de as organizações empregarem a estratégia de fim de vida dos produtos (remanufatura, reciclagem e reuso) para cumprir aspectos sociais, ambientais e econômicos exigidos pelo mercado. Esses argumentos são reforçados nas publicações analisadas. Entretanto, uma análise mais aprofundada é necessária para validar esse ponto conclusivo, considerando uma vertente empírica.

## Referências

- Aurich, J. C., Schweitzer, E., & Fuchs, C. (2007). Life cycle management of industrial product-service systems. In *Proceedings of the 14th CIRP Conference on Life Cycle Engineering*, Tokyo, Japan.
- Baccile, N., Babonneau, F., Thomas, B., & Coradin, T. (2009). Introducing ecodesign in silica sol-gel materials. *Journal of Materials Chemistry*, 19(45), 8537-8559. <http://dx.doi.org/10.1039/b911123a>
- Bakshi, B. R., & Fiksel, J. (2003). The Quest for Sustainability: challenges for process systems engineering. *AIChE Journal*, 49(6), 1350-1358. <http://dx.doi.org/10.1002/aic.690490602>
- Barry, E. J., Kemerer, C. E., & Slaughter, A. S. (2006). Environmental volatility, development decisions, and software volatility: a longitudinal analysis. *Management Science*, 52(3), 448-464. <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.1050.0463>
- Belkadi, F., Troussier, N., Huet, F., Gidel, T., Bonjour, E., & Eynard, B. (2008). Innovative PLM-based approach for collaborative design between OEM and suppliers: Case study of aeronautic industry. In *Proceedings of the 2nd IFIP Topical Session on Computer-Aided Innovation Held at the 20th World Computer Congress*, Milan.
- Ben Mahmoud-Jouini, S., & Lenfle, S. (2010). Platform re-use lessons from the automotive industry. *International Journal of Operations & Production Management*, 30(1), 98-124. <http://dx.doi.org/10.1108/01443571011012398>
- Bergea, O., Karlsson, R., Hedlund-Astrom, A., Jacobsson, P., & Luttrupp, C. (2006). Education for sustainability as a transformative learning process: a pedagogical experiment in ecodesign doctoral education. *Journal of Cleaner Production*, 14(15-16), 1431-1442. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2005.11.020>
- Bertolini, M., Colacino, P., Delnevo, N., & Petroni, A. (2007). Stakeholders' influence and internal championing of product stewardship in the Italian food packaging industry. In *Proceedings of the 4th International Conference on Product Lifecycle Management*, Stezzano, Italy.
- Bidokhti, N. (2008). The impact of reliability requirements on development life cycle. In *Proceedings of the 54th Annual Reliability and Maintainability Symposium*, Las Vegas.
- Bordoloi, S., & Guerrero, H. H. (2008). Design for control: A new perspective on process and product innovation. *International Journal of Production Economics*, 113(1), 346-358. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2007.02.043>
- Broy, M. (2009). From system requirements documents to integrated system modeling artifacts. In *Proceedings of the 9th ACM Symposium on Document Engineering*, Munich, Germany.
- Borgatti, S., Everett, M., & Freeman, L. (2002). *Ucinet for Windows: software for social network analysis*. Analytic Technologies. PMCID:PMC99611.
- Buganza, T., & Verganti, R. (2006). Life-cycle flexibility: How to measure and improve the innovative capability in turbulent environments. *Journal of Product Innovation Management*, 23(5), 393-407. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1540-5885.2006.00212.x>
- Cebon, P., Hauptman, O., & Shekhar, C. (2008). Product modularity and the product life cycle: new dynamics in the interactions of product and process technologies. *International Journal of Technology Management*, 42(4), 365-386. <http://dx.doi.org/10.1504/IJTM.2008.019381>
- Carnevali, J. A., & Cauchick Miguel, P. A. (2007). Revisão, análise e classificação da literatura sobre o QFD: tipos de pesquisa, dificuldades de uso e benefícios do método. *Gestão & Produção*, 14(3), 557-579. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-530X2007000300011>
- Chang, Y. C., Cheng, F. T., & Wang, T. L. (2007). Novel semiconductor business model - Engineering chain for the semiconductor industry. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Rome, Italy.

- Ciolkowski, M., & Soto, M. (2008). Towards a comprehensive approach for assessing open source projects. In *Proceedings of the Joint Meeting of the International Workshop on Software Measurement (IWSM)*, Munich, Germany.
- Clark, K. B., & Fujimoto, T. (1991). *Product development performance: strategy, organization and management in the world auto industry*. Boston: Harvard Business School Press.
- Cooper, J. S. (2007). Evolution of an interdisciplinary course in sustainability and design for environment. *International Journal of Engineering Education*, 23(2), 294-300.
- Cooper, J., Godwin, C., & Hall, E. S. (2008). Modeling process and material alternatives in life cycle assessments. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 13(2), 115-123. <http://dx.doi.org/10.1065/lca2007.06.341>
- Cordella, M., Tugnoli, A., Spadoni, G., Santarelli, F., & Zangrando, T. (2008). LCA of an Italian lager beer. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 13(2), 133-139. <http://dx.doi.org/10.1065/lca2007.02.306>
- Da Silva, C. M., Loubach, D. S., & Cunha, A. M. (2008). Applying the use case points effort estimation technique to avionics systems. In *Proceedings of the IEEE/AIAA 27th Digital Avionics Systems Conference*, St Paul.
- De Benedetto, L., & Klemes, J. (2009). The environmental performance strategy map: an integrated LCA approach, to support the strategic decision-making process. *Journal of Cleaner Production*, 17(10), 900-906. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.02.012>
- Dehghanian, F., & Mansour, S. (2008). A framework for moving toward for sustainable supply chain management. In *Proceedings of the 38th International Conference on Computers and Industrial Engineering*, Beijing.
- Donnelly, K., Beckett-Furnell, Z., Traeger, S., Okrasinski, T., & Holman, S. (2006). Eco-design implemented through a product-based environmental management system. *Journal of Cleaner Production*, 14(15-16), 1357-1367. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2005.11.029>
- Ebert, C., & De Man, J. (2008). Effectively utilizing project, product and process knowledge. *Information and Software Technology*, 50(6), 579-594. <http://dx.doi.org/10.1016/j.infsof.2007.06.007>
- Elghali, L., Clift, R., Begg, K. G., & McLaren, S. (2008). Decision support methodology for complex contexts. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Engineering Sustainability*, 161(1), 7-22. <http://dx.doi.org/10.1680/ensu.2008.161.1.7>
- Eun, J. H., Son, J. H., Moon, J. M., & Chung, J. S. (2009). Integration of life cycle assessment in the environmental information system. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 14(4), 364-373. <http://dx.doi.org/10.1007/s11367-009-0076-6>
- Fargnoli, M., & Kimura, F. (2006). Screening life cycle modeling for sustainable product design. In *Proceedings of the 12th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering*, Grenoble, France.
- Fixson, S. K. (2007). Modularity and commonality research: past developments and future opportunities. *Concurrent Engineering-Research and Applications*, 15(2), 85-111. <http://dx.doi.org/10.1177/1063293X07078935>
- Fleischmann, M., Krikke, H. R., & Dekker, R. (2000). A characterisation of logistics networks for product recovery. *Omega-International Journal of Management Science*, 28(6), 653-666. [http://dx.doi.org/10.1016/S0305-0483\(00\)00022-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0305-0483(00)00022-0)
- Genaidy, A., & Karwowski, W. (2008). A roadmap for a methodology to assess, improve and sustain intra- and inter-enterprise system performance with respect to technology-product life cycle in small and medium manufacturers. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, 18(1), 70-84. <http://dx.doi.org/10.1002/hfm.20097>
- Giudice, F., Ballisteri, F., & Risitano, G. (2009). A concurrent design method based on DFMA-FEA integrated approach. *Concurrent Engineering-Research and Applications*, 17(3), 183-202. <http://dx.doi.org/10.1177/1063293X09343337>
- Han, K. H., & Do, N. (2006). An object-oriented conceptual model of a collaborative product development management (CPDM) system. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 28(7-8), 827-838. <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-004-2424-9>
- Hauschild, M. Z., Dreyer, L. C., & Jorgensen, A. (2008). Assessing social impacts in a life cycle perspective - Lessons learned. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 57(1), 21-24. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2008.03.002>
- Hobby, C., Rydell, N., Sjogren, E., & Williams, W. (2009). IT products. Going beyond green - can high performance and sustainability co-exist? In *Proceedings of the IEEE International Symposium on Sustainable Systems and Technology*, Tempe.
- Hochschorner, E., & Finnveden, G. (2006). Life cycle approach in the procurement process: The case of defence materiel. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 11(3), 200-208. <http://dx.doi.org/10.1065/lca2005.10.230>
- Huang, A. H. (2009). A model for environmentally sustainable information systems development. *Journal of Computer Information Systems*, 49(4), 114-121.
- Ikpaahindi, L. (1985). An Overview of Bibliometrics: its Measurements, Laws and their Applications. *Libri*, 35(2), 163-176.
- Jawahir, I. S., Rouch, K. E., Dillon, O. W., Holloway, L., & Hall, A. (2007). Design for sustainability (DFS): New challenges in developing and implementing a curriculum for next generation design and manufacturing engineers. *International Journal of Engineering Education*, 23(6), 1053-1064.
- Jiang, Z. G., Zhang, H., Fu, C., & Jiang, D. R. (2008). The operation mode of green manufacturing based information technology. In *Proceedings of the International Conference on Informational Technology and Environmental System Science*, Jiaozuo, China.
- Joore, P. (2008). The V-Cycle for system innovation translating a broad societal need into concrete product service solutions: the multifunctional centre Apeldoorn case. *Journal of Cleaner Production*, 16(11), 1153-1162. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.08.007>
- Juttner, U., Godsell, J., & Christopher, M. G. (2006). Demand chain alignment competence - delivering value through product life cycle management. In *Proceedings of the 22nd IMP Conference*, Milan, Italy.
- Kennedy, G. A. L., Siemieniuch, C. E., Sinclair, M. A., Kirwan, B. A., & Gibson, W. H. (2007). Proposal for a sustainable framework process for the generation, validation, and application of human reliability assessment within the

- engineering design lifecycle. *Reliability Engineering & System Safety*, 92(6), 755-770. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ress.2006.03.007>
- Khota, I., & Pretorius, L. (2008). Intellectual property scorecard: Strategically capitalising on value created by innovation and R&D. In *Proceedings of the Portland International Conference on Management Engineering and Technology*, Cape Town, South Africa.
- Kilmann, R. (1995). A holistic program and critical success factors of corporate transformation. *European Management Journal*, 13(2), 175-186. [http://dx.doi.org/10.1016/0263-2373\(95\)00005-6](http://dx.doi.org/10.1016/0263-2373(95)00005-6)
- Kim, Y. G., Kim, J. W., Shin, S. O., & Baik, D. K. (2006). Managing variability for software product-line. In *Proceedings of the 4th International Conference on Software Engineering Research, Management and Applications*, Seattle.
- Klopffer, W. (2006). The role of SETAC in the development of LCA. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 11(1), 116-122. <http://dx.doi.org/10.1065/lca2006.04.019>
- Kouskouras, K. G., & Georgiou, A. C. (2007). A discrete event simulation model in the case of managing a software project. *European Journal of Operational Research*, 181(1), 374-389. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2006.05.031>
- Krause, F. L., Hayka, H., & Pasewaldt, B. (2006). Efficient product data sharing in collaboration life cycles. In *Proceedings of the 14th International CIRP Design Seminar*, Cairo, Egypt.
- Kruse, S. A., Flysjö, A., Kasperczyk, N., & Scholz, A. J. (2009). Socioeconomic indicators as a complement to life cycle assessment-an application to salmon production systems. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 14(1), 8-18. <http://dx.doi.org/10.1007/s11367-008-0040-x>
- Kurk, F., & Eagan, P. (2008). The value of adding design-for-the-environment to pollution prevention assistance options. *Journal of Cleaner Production*, 16(6), 722-726. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.02.022>
- Lee, H. M., Lu, W. F., Song, B., & Gay, R. (2007). EOL framework for design advisory. In *Proceedings of the 4th International Conference on Product Lifecycle Management*, Stezzano, Italy.
- Li, J. T., & Kozhikode, R. K. (2009). Developing new innovation models: Shifts in the innovation landscapes in emerging economies and implications for global R&D manage. *Journal of International Management*, 15(3), 328-339. <http://dx.doi.org/10.1016/j.intman.2008.12.005>
- Li, M., Qin, X. S., & Xu, Y. B. (2008). An integrated modeling method supporting product development process optimization. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Research and Practical Issues of Enterprise Information Systems*, Beijing, China.
- Lin, J., Qian, Y. J., Cui, W. T., & Miao, Z. L. (2010). Overlapping and communication policies in product development. *European Journal of Operational Research*, 201(3), 737-750. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2009.03.040>
- Lindahl, M., Skoglund, L., Svensson, J., & Karlsson, R. (2003). Use and perception of design for environment in small and medium sized enterprises in Sweden. In *Proceedings of the 3rd International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing*, Tokyo, Japan.
- Linton, J. D., Klassen, R., & Jayaraman, V. (2007). Sustainable supply chains: An introduction. *Journal of Operations Management*, 25(6), 1075-1082. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jom.2007.01.012>
- Littell, J. H., Corcoran, J., & Pillai, V. (2008). *Systematic Reviews and Meta-Analysis*. New York: Oxford University Press, Inc. <http://dx.doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195326543.001.0001>
- Lopes, A. P. V. V., & Carvalho, M. M. (2012). Evolução da literatura de inovação em relações de cooperação: um estudo bibliométrico num período de vinte anos. *Gestão & Produção*, 19(1), 203-217. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-530X2012000100014>
- Lu, I. Y., Yang, C. Y., & Tseng, C. J. (2009). Push-Pull interactive model of service innovation cycle - under the service encounter framework. *African Journal of Business Management*, 3(9), 433-442.
- Lundteigen, M. A., Rausand, M., & Utne, I. B. (2009). Integrating RAMS engineering and management with the safety life cycle of IEC 61508. *Reliability Engineering & System Safety*, 94(12), 1894-1903. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ress.2009.06.005>
- Luttrupp, C., & Lagerstedt, J. (2006). Ecodesign and the ten golden rules: generic advice for merging environmental aspects into product development. *Journal of Cleaner Production*, 14(15-16), 1396-1408. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2005.11.022>
- Martín, L. Á. G., Cabestre, F. J. R., & Vega, A. V. R. (1999). El estado actual de la investigación empírica sobre economía de la empresa: análisis de las publicaciones españolas. *Papeles de economía española*, (78-79), 302-317.
- Maxwell, D., Sheate, W., & Van Der Vorst, R. (2006). Functional and systems aspects of the sustainable product and service development approach for industry. *Journal of Cleaner Production*, 14(17), 1466-1479. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.01.028>
- Mengoni, M., Germani, M., & Mandorli, F. (2009). A structured agile design approach to support customization in wellness product development. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 22(1), 42-54. <http://dx.doi.org/10.1080/09511920802326233>
- Mulder, K. F. (2007). Innovation for sustainable development: from environmental design to transition management. *Sustainability Science*, 2(2), 253-263. <http://dx.doi.org/10.1007/s11625-007-0036-7>
- Nakamura, S., & Kondo, Y. (2006). A waste input-output life-cycle cost analysis of the recycling of end-of-life electrical home appliances. *Ecological Economics*, 57(3), 494-506. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.05.002>
- Noel, F., & Roucoules, L. (2008). The PPO design model with respect to digital enterprise technologies among product life cycle. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 21(2), 139-145. <http://dx.doi.org/10.1080/09511920701607782>
- Norris, G. A. (2006). Social impacts in product life cycles - Towards life cycle attribute assessment. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 11(1), 97-104. <http://dx.doi.org/10.1065/lca2006.04.017>
- Ntiamoah, A., & Afrane, G. (2009). Life cycle assessment of chocolate produced in Ghana. In *Proceedings of the International Conference on Environmental Research, Technology and Policy*, Ghana, South Africa.

- Ny, H., MacDonald, J. P., Broman, G., Yamamoto, R., & Robert, K. H. (2006). Sustainability constraints as system boundaries - An approach to making life-cycle management strategic. *Journal of Industrial Ecology*, 10(1/2), 61-77.
- Partidario, P. J., Lambert, J., & Evans, S. (2007). Building more sustainable solutions in production-consumption systems: the case of food for people with reduced access. *Journal of Cleaner Production*, 15(6), 513-524. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.05.011>
- Pero, M., & Sianesi, A. (2007). Aligning supply chain management and new product development: a general framework. In *Proceedings of the 4th International Conference on Product Lifecycle Management*, Stezzano, Italy.
- Pujari, D. (2006). Eco-innovation and new product development: understanding the influences on market performance. *Technovation*, 26(1), 76-85. <http://dx.doi.org/10.1016/j.technovation.2004.07.006>
- Rausand, M., & Utne, I. B. (2009). Product safety - Principles and practices in a life cycle perspective. *Safety Science*, 47(7), 939-947. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2008.10.004>
- Razavian, M., & Khosravi, R. (2008). Modeling variability in business process models using UML. 5th International Conference on Information Technology - New Generations, Las Vegas, NV, Apr), 82-87.
- Rosenstrom, U., & Kyllonen, S. (2007). Impacts of a participatory approach to developing national level sustainable development indicators in Finland. *Journal of Environmental Management*, 84(3), 282-298. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.06.008>
- Rouibah, K., & Ould-Ali, S. (2007). Dynamic data sharing and security in a collaborative product definition management system. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 23(2), 217-233.
- Rozenfeld, H., Forcellini, F. A., Amaral, D. C., Toledo, J. C., Silva, S. L., Alliprandini, D. H., Scalice, R. K. (2006). *Gestão de Desenvolvimento de Produtos: uma referência para a melhoria do processo*. São Paulo: Saraiva.
- Salvioni, C. (2007). Feedback and communication: the central role of the user during all the life-cycle of a technical product. Case study from a higher education intranet system. In *Proceedings of the International Multi-Conference on Society, Cybernetics and Informatics*, Orlando.
- Santos, M. V., & Bastos, A. V. B. (2007). Redes sociais informais e compartilhamento de significados sobre mudança organizacional. *RAE*, 47(3), 27-39.
- Schatten, A. (2009). Green supply chains: using information integration for sustainable development. In *Proceedings of the 3th International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems*, Fukuoka, Japan.
- Schildt, H. A. (2002). *Sitkis: Software for bibliometric data management and analysis*. Helsinki: Institute of Strategy and International Business; v. 6. 1.
- Schmidt, W. P., & Butt, F. (2006). Life cycle tools within Ford of Europe's Product Sustainability Index - Case study ford S-MAX & Ford Galaxy. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 11(5), 315-326. <http://dx.doi.org/10.1065/lca2006.08.267>
- Shao, X. Y., Wu, J., Deng, C., Li, P. G., & Feng, C. X. J. (2006). A web-enabled collaborative quality management system. *Journal of Manufacturing Systems*, 25(2), 25-107.
- Souza, P. F. D., & Pereira, H. B. D. (2006). Towards indicators of sustainable product design. In *Proceedings of the IEEE International Engineering Management Conference*, Salvador, Brazil.
- Subramoniam, R., Huisingh, D., & Chinnam, R. B. (2009). Remanufacturing for the automotive aftermarket-strategic factors: literature review and future research needs. *Journal of Cleaner Production*, 17(13), 1163-1174. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.03.004>
- Taifi, N. (2008). Collaborative knowledge networks - Lessons to learn from a large automotive company. Joint Conference of the International-Federation-for-Information-Processing Working Group. 3rd International Summer School on the Future of Identity in the Information Society, Karlstad, Sweden), 423-429.
- Tang, D. B., & Qian, X. M. (2008). Product lifecycle management for automotive development focusing on supplier integration. *Computers in Industry*, 59(2/3), 288-295. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compind.2007.07.002>
- Tao, L., Probert, D., & Phaal, R. (2010). Towards an integrated framework for managing the process of innovation. *R&D Management*, 40(1), 19-30. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-9310.2009.00575.x>
- Tingstrom, J., Swanstrom, L., & Karlsson, R. (2006). Sustainability management in product development projects - the ABB experience. *Journal of Cleaner Production*, 14(15-16), 1377-1385. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2005.11.027>
- Tomovic, C., Anderson, H., Anglin, A., Barreto, L. V., Frillman, S. A., Georgiades, T. J., Homan, S. R., Kochert, J. F., Lech, M. B., Sukup, J. E., Wilde, K. L., & Wisma, M. (2009). Social issues of product lifecycle management: developing cross cultural virtual teams; supporting today's green manufacturing imperative; educating and preparing tomorrow's workforce; and impacting inter-organizational relationships in supply chain management. In *Proceedings of the International Conference on Comprehensive Product Realization*, Beijing, China.
- Vachon, S., & Klassen, R. D. (2008). Environmental management and manufacturing performance: the role of collaboration in the supply chain. *International Journal of Production Economics*, 111(2), 299-315. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.11.030>
- Van Berkel, R. (2007). Eco-efficiency in primary metals production: context, perspectives and methods. *Resources Conservation and Recycling*, 51(3), 511-540. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2007.03.007>
- Van Schaik, A., Reuter, M. A., & Van Stokkom, H. (2010). Management of the web of water and web of materials. *Minerals Engineering*, 23(3), 157-174. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mineng.2009.08.009>
- Veshagh, A., & Obagun, A. (2007). Survey of sustainable life cycle design and management. 14th CIRP Conference on Life Cycle Engineering, Tokyo, Japan, Jun), 237-242.
- Vezzoli, C., & Sciamia, D. (2006). Life cycle design: from general methods to product type specific guidelines and checklists: a method adopted to develop a set of guidelines/checklist handbook for the eco-efficient design of NECTA vending machines. *Journal of Cleaner Production*, 14(15-16), 1319-1325. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2005.11.011>

Waage, S. A. (2007). Re-considering product design: a practical "road-map" for integration of sustainability issues. *Journal of Cleaner Production*, 15(7), 638-649. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2005.11.026>

Wang, S. Y., Chang, S. L., & Wang, R. C. (2009). Assessment of supplier performance based on product-development strategy by applying multi-granularity linguistic term sets. *Omega-International Journal of Management Science*, 37(1), 215-226. <http://dx.doi.org/10.1016/j.omega.2006.10.003>

Yang, Q. Z., Miao, C. Y., Zhang, Y., & Gay, R. (2006). LCA and LCC data semantics sharing across product lifecycle processes. In *Proceedings of the 13th ISPE International Conference on Concurrent Engineering*, Antibes, France.

Zhang, H. J., & Huang, H. W. (2006). Reverse logistics system of waste electronic and electric equipment.

In *Proceedings of the International Conference on Management of Logistics*, Sydney, Australia.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES pelo apoio à presente pesquisa, por meio do Procad, e também aos avaliadores da *Revista Production* pela contribuição significativa para a melhoria do presente trabalho. Um dos autores também tem vínculo com o Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC e, por essa razão, essa instituição também merece agradecimentos.

# Product life cycle management and product development: bibliometric analysis and literature classification

## Abstract

The aim of this paper is to present a bibliometric analysis and classification of the literature on the concepts Product Life Cycle Management (PLM), New Product Development (NPD), Environmental Sustainability (ES) and their interfaces. The ISI Web of Knowledge database was accessed, as was the CAPES Brazilian portal, which is linked to various databases. The analysis considers publications between 2006 and 2010. The results show that papers are published in a dispersed way in different journals. The majority of the papers adopt case studies as a methodological research approach, but there are also many theoretical-based papers. Concerning the nature of the data, qualitative approaches are more commonly used than are quantitative ones, and most papers consider descriptive studies. One of the reasons that qualitative approaches are used more frequently may be that these concepts are not well consolidated in the literature. The examined publications incorporated the concept of ES and PLM in NPD and are more extensively applied in industries, supply chain and software development. In general, the publications emphasize PDP improvement, performance assessment and the integration of information from different areas. Finally, the article concludes that the literature converges to an integration of the concepts of environmental sustainability and PLM within the current practices of NPD.

## Keywords

Environmental sustainability (ES). Product life cycle management (PLM). New product development (NPD).



Apêndice 1. Codificação da classificação dos trabalhos sobre *Product Life Cycle Management*, *Product Development Process* e Sustentabilidade.

T1 – Tipo de estudo			
MO			Modelagem
TC			Teórico-conceitual
RL			Revisão da literatura
SI			Simulação
SU			<i>Survey</i>
EC			Estudo de caso
PA			Pesquisa-ação
EX			Experimental

T2 – Apoio financeiro			
S			Sim
N			Não

T3 – Período de análise			
LO			Longitudinal
RE			Retrospectivo
AT			Atual

T4 – Abordagem			
QT	Quantitativo	d	Descritivo
		p	Preditivo
QL	Qualitativo	d	Descritivo
		p	Preditivo

T5 – Abrangência geográfica			
RE			Regional
NA			Nacional
IN			Internacional

T6 – Unidade de análise			
PE			Pessoas
GR			Grupos
UO			Unidade organizacional
EM			Empresas

T7 – Documentação	
QU	Questionário
EN	Entrevistas
AD	Análise documental
DP	Dados públicos
BI	Revisão bibliográfica
OB	Observação

T8 – Aplicação	
A1	Ambientes complexos
A2	Cadeia de demanda
A3	Cadeia de suprimentos
A4	Codesenvolvimento
A5	Processo de desenvolvimento de produto
A6	Programas de educação
A7	<i>Software</i>
A8	Tecnologia

T9 – Benefícios	
B1	Alinhamento
B2	Desempenho
B3	Integrar informações
B4	Melhorar controle e planejamento
B5	Metodologia
B6	Sustentabilidade
B7	Tomada de decisão

T10 – Conceitos	
C1	Sustentabilidade
C2	<i>Product Development Process (PDP)</i>
C3	<i>Product Life Cycle Management (PLM)</i>

## Apêndice 2. Apresentação dos trabalhos codificados em ordem alfabética.

Artigos	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
Aurich et al. (2007)	EC	S	RE	QL/d	NA	EM	AD	A1	B6	C1/C3
Baccile et al. (2009)	RL	N	RE	QL/d	NA	GR	BI	A5	B2	C1/C2
Barry et al. (2006)	MO	S	LO	QT/d	NA	EM	OB/AD/BI	A7	B7	C1/C3
Belkadi et al. (2008)	EC	N	AT	QL/d	NA	EM	AD/BI	A3	B2	C3
Ben Mahmoud-Jouini & Lenfle (2010)	EC	N	RE	QL/d	NA	EM	EN/AD	A1	B2	C3
Bergea et al. (2006)	TC	N	RE	QL/d	NA	UO	OB	A5	B5	C1/C2
Bertolini et al. (2007)	SU/EC	S	RE	QT/d	NA	EM	QU/EN	A1	B7	C2
Bidokhti (2008)	TC	N	RE	QL/d	NA	EM	AD	A5	B2	C3
Bordoloi & Guerrero (2008)	TC	N	AT	QL/d	NA	EM	BI	A7	B3	C3
Broy (2009)	MO	N	AT	QL/d	NA	EM	AD/BI	A5	B3	C3
Buganza & Verganti (2006)	EC/SU	N	RE	QT-QL/d	NA	EM	QU/EN/AD/OB	A1	B2	C2
Cebon et al. (2008)	TC	S	AT	QL/d	IN	EM	BI	A1	B2	C2/C3
Chang et al. (2007)	EC	S	RE	QL/d	NA	EM	BI	A1	B2	C2/C3
Ciolkowski & Soto (2008)	EC/MO	S	LO	QL/d	NA	EM	EN	A1	B5	C1/C3
Cooper et al. (2008)	MO	N	AT	QL/d	NA	EM	BI	A7	B7	C2/C3
Cooper (2007)	TC	N	RE	QL/d	RE	UO	DP	A6	B5	C1
Cordella et al. (2008)	EC	S	RE	QT/d	NA	EM	BI/AD	A1	B2	C1
Da Silva et al. (2008)	EC	S	AT	QT/d	NA	GR	BI/AD	A7	B6	C2/C3
De Benedetto & Klemes (2009)	EC	S	RE	QT/d	NA	EM	AD	A1	B7	C1/C3
Dehghanian & Mansour (2008)	MO/EC	N	AT	QT/d	NA	EM	AD/BI	A3	B7	C1
Donnelly et al. (2006)	EC	N	RE	QL/d	NA	EM	AD	A7	B3	C1/C2/C3
Ebert & De Man (2008)	EC	N	RE	QL/d	NA	EM	AD/BI	A5	B5	C3
Elghali et al. (2008)	TC	N	RE	QL/d	NA	EM	BI	A1	B7	C1/C2
Eun et al. (2009)	EC	N	LO	QT/d	NA	UO	BI/AD	A7	B3	C1
Fargnoli & Kimura (2006)	SI	S	LO	QT/d	NA	EM	AD/BI/DP	A5	B5	C1/C2
Fixson (2007)	RL	N	RE	QL/d	NA	UO	BI	A1	B5	C3
Genaïdy & Karwowski (2008)	TC	N	AT	QL/d	NA	EM	BI	A8	B6	C2/C3
Giudice et al. (2009)	MO/EC	N	AT	QL/d	NA	UO	AD	A7	B2	C1/C2
Han & Do (2006)	MO	N	AT	QL/d	NA	EM	OB/AD/BI	A5	B7	C2/C3
Hauschild et al. (2008)	TC	N	LO	QL/d	NA	EM	BI/AD	A3	B5	C1
Hobby et al. (2009)	TC	N	AT	QL/d	NA	EM	BI	A8	B2	C1
Hochschorne & Finnveden (2006)	EC	S	RE	QT/d	NA	GR	EN	A8	B6	C1
Huang (2009)	MO	N	AT	QL/d	IN	EM	DP/BI	A7	B6	C1/C2
Jawahir et al. (2007)	EC	N	RE	QL/d	NA	UO	OB/AD/BI	A6	B5	C1/C2
Jiang et al. (2008)	EC	S	AT	QL/d	NA	EM	AD/BI	A7	B3	C1
Joore (2008)	EC	N	RE	QL/d	NA	EM	EN/AD/OB	A1	B5	C1/C2
Juttner et al. (2006)	EC	S	RE	QL/d	NA	EM	EN/BI/AD	A2	B1	C3
Kennedy et al. (2007)	EC	N	RE	QL/d	NA	EM	QU/EN/AD	A1	B5	C2/C3
Khota & Pretorius (2008)	TC	N	AT	QL/d	NA	EM	BI	A5	B2	C2
Kim et al. (2006)	EC/MO	S	LO	QL/d	NA	EM	AD/BI	A1	B5	C2/C3
Klopper (2006)	TC	N	RE	QL/d	NA	GR	BI	A1	B5	C1
Kouskouras & Georgiou (2007)	MO/SI	N	AT	QT/d	NA	EM	AD/BI	A7	B4	C3
Krause et al. (2006)	MO	S	AT	QL/d	NA	EM	AD/BI	A5	B5	C3
Kruse et al. (2009)	TC	N	RE	QL/d	NA	EM	AD/BI	A1	B5	C1/C3
Kurk & Eagan (2008)	TC	N	AT	QL/d	NA	UO	BI	A1	B5	C1/C2
Lee et al. (2007)	MO	N	AT	QL/d	NA	EM	BI	A7	B5	C3
Li & Kozhikode (2009)	TC	S	RE	QL/d	IN	EM	BI/DP	A1	B5	C2/C3
Li et al. (2008)	EC	S	RE	QL/d	NA	EM	AD/BI	A7	B3	C2/C3
Lin et al. (2010)	MO/EC	N	AT	QT/d	NA	EM	EN/AD	A1	B2	C2
Linton et al. (2007)	RL	N	RE	QT/d	IN	GR	BI	A3	B5	C1/C3
Lu et al. (2009)	EC	S	AT	QT-QL/d	NA	EM	QU/EN	A1	B2	C2
Lundteigen et al. (2009)	MO/TC	N	AT	QL/d	NA	UO	AD/BI	A1	B5	C2/C3
Luttropp & Lagerstedt (2006)	EC	N	RE	QL/d	NA	EM	AD/BI	A5	B3	C1/C2
Maxwell et al. (2006)	EC	N	LO	QT/d	NA	EM	QU/AD	A5	B2	C1/C2
Mengoni et al. (2009)	EC	N	AT	QL/d	NA	EM	AD	A5	B3	C1/C2

T1: Tipo de estudo; T2: Apoio financeiro; T3: Período de análise; T4: Abordagens; T5: Abrangência geográfica; T6: Unidade de análise; T7: Documentação; T8: Aplicação; T9: Benefícios; T10: Conceitos.

## Apêndice 2. Continuação...

Artigos	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
Mulder (2007)	TC	N	RE	QL/d	NA	EM	BI	A8	B2	C1
Nakamura & Kondo (2006)	EC	S	RE	QT/d	NA	EM	AD/BI/DP	A1	B7	C3
Noel & Roucoules (2008)	TC	N	AT	QL/d	NA	EM	BI	A1	B5	C2/C3
Norris (2006)	EC	S	RE	QL/d	IN	EM	AD/BI	A1	B5	C1/C2/C3
Ntiamoah & Afrane (2009)	EC	N	RE	QT/d	NA	GR	EN/DP	A1	B6	C1
Ny et al. (2006)	TC	S	RE	QL/d	NA	EM	BI	A5	B5	C1/C3
Partidario et al. (2007)	EC	N	RE	QL/d	NA	EM	EN/AD/OB	A4	B5	C1/C2
Pero & Sianesi (2007)	EC	N	RE	QL/d	NA	EM	EN/AD/OB	A3	B3	C2
Pujari (2006)	SU	N	AT	QT/d	NA	EM	QU/EN	A5	B2	C1/C2
Rausand & Utne (2009)	EC	N	AT	QL/d	NA	GR	AD/BI	A1	B2	C3
Razavian & Khosravi (2008)	MO/EC	N	AT	QL/d	NA	EM	AD/BI	A7	B3	C2/C3
Rosenstrom & Kyllonen (2007)	EC	N	RE	QL/d	NA	UO	DP/BI/OB	A5	B2	C1
Rouibah & Ould-Ali (2007)	EC	S	RE	QT/d	NA	EM	EN/QU	A4	B3	C3
Salvioni (2007)	EC	N	RE	QL/d	NA	EM	QU/AD/BI	A8	B2	C3
Schatten (2009)	TC	N	RE	QL/d	IN	EM	BI/DP	A3	B3	C1/C2
Schmidt & Butt (2006)	EC	N	RE	QL/d	NA	EM	AD/BI	A1	B2	C1
Shao et al. (2006)	EC/MO	S	RE	QL/d	NA	EM	AD/BI	A7	B3	C3
Souza & Pereira (2006)	TC	S	RE	QL/d	NA	EM	BI	A5	B7	C1
Subramoniam et al. (2009)	EC	N	AT	QL/d	NA	EM	EN/AD	A1	B5	C1/C3
Taifi (2008)	EC	N	AT	QL/d	NA	EM	EN/AD/QU	A4	B5	C1/C2
Tang & Qian (2008)	EC	S	RE	QL/d	IN	EM	AD/BI	A3	B2	C2/C3
Tao et al. (2010)	EC	N	AT	QL/d	NA	EM	EN	A1	B5	C2
Tingstrom et al. (2006)	EC	S	AT	QL/d	NA	EM	EN/AD	A5	B5	C1/C2
Tomovic et al. (2009)	TC	N	AT	QL/d	NA	EM	BI	A5	B2	C3
Vachon & Klassen (2008)	SU	N	RE	QT/d	IN	EM	QU/EN	A3	B2	C1
Van Berkel (2007)	TC	N	RE	QL/d	NA	EM	DP/BI	A5	B2	C1
Veshagh & Obagun (2007)	EC/SU	N	RE	QL/d	NA	EM	EN/QU/AD	A1	B5	C1/C2
Vezzoli & Sciama (2006)	EC	N	AT	QL/d	NA	EM	EN/AD/BI	A1	B6	C1
Waage (2007)	TC	N	RE	QL/d	NA	EM	DP/BI	A1	B3	C1/C2
Wang et al. (2009)	EC	N	AT	QT/d	NA	EM	AD/BI	A3	B2	C2
Yang et al. (2006)	MO	N	AT	QL/d	NA	EM	AD/BI	A7	B3	C1/C3
Zhang & Huang (2006)	EC	N	RE	QL/d	NA	EM	AD/BI	A3	B2	C1/C2

T1: Tipo de estudo; T2: Apoio financeiro; T3: Período de análise; T4: Abordagens; T5: Abrangência geográfica; T6: Unidade de análise; T7: Documentação; T8: Aplicação; T9: Benefícios; T10: Conceitos.