

Green manufacturing: uma análise da produção científica e de tendências para o futuro

Diogo Aparecido Lopes Silva^{a*}, Eraldo Jannone da Silva^b, Aldo Roberto Ometto^c

^adiogo.apls@hotmail.com, USP, Brasil

^beraldojs@sc.usp.br, USP, Brasil

^caometto@sc.usp.br, USP, Brasil

Resumo

O objetivo deste artigo foi realizar uma análise da produção científica internacional na área de *green manufacturing*. Foi utilizada a base de dados *Web of Science*, tendo sido mapeados 239 artigos no período de 1991 a 2013. As publicações envolveram 589 autores, de 36 países, 246 instituições e 142 diferentes periódicos/conferências. Destaca-se que 51,4% dos artigos foram publicados nos últimos cinco anos. Entre os países mais prolíficos destacaram-se os Estados Unidos e a China. O periódico mais prolífico foi o *Journal of Cleaner Production*, com 19 artigos no período. Sobre a análise de autoria, destacou-se a categoria *one-timers*, com 85,7% das publicações. A maior produção foi de 11 artigos por autor e o mais citado recebeu 368 citações. Conclui-se que a temática teve uma ascensão expressiva nos últimos anos, com foco em estudos teóricos e teórico-empíricos.

Palavras-chave

Manufatura sustentável. Manufatura ambientalmente sustentável. Bibliometria. Revisão de literatura.

1. Introdução

A manufatura ambientalmente sustentável é um tópico de pesquisa usualmente referenciado na literatura pelos termos em inglês *green manufacturing* e *sustainable manufacturing* (Dornfeld, 2012; International Trade Administration, 2010). Seu surgimento se deve à necessidade de integrar questões de sustentabilidade ambiental nos processos produtivos de fabricação.

Merchant et al. (2005) relatam sobre a evolução histórica do tema manufatura salientando o enfoque mais voltado à eficiência operacional dos processos produtivos com base em métricas como a redução do tempo de produção e a minimização de custos operacionais. Já a preocupação com a sustentabilidade dos processos produtivos passou a ter maior destaque somente a partir da década de 1990.

O conceito manufatura sustentável atualmente é visto como a manufatura de produtos que utilizam processos produtivos menos impactantes ambientalmente, socialmente e que se mostram economicamente viáveis (International Trade Administration, 2010). No âmbito da sustentabilidade

ambiental, destacam-se as iniciativas que promovem a conservação de recursos naturais e de energia (Dornfeld, 2012).

Apesar de sua origem nos anos de 1990, as pesquisas voltadas à manufatura ambientalmente sustentável têm se intensificado apenas nos últimos 5 anos (conforme detalhamento na seção 4.1). Assim, torna-se importante investigar em que estado se encontra a produção científica sobre *green manufacturing* (GM).

A questão de pesquisa que guiou este trabalho foi: Como a produção científica em GM tem se configurado? Como objetivo geral, este artigo visa analisar a produção científica atual e as tendências futuras no tema de estudo.

2. *Green manufacturing*

A manufatura sustentável integra os conceitos de manufatura e sustentabilidade. Manufatura é definida por Kalpakjian (2001, p. 2) como: “[...] o uso de máquinas, ferramentas e mão de obra para

a produção de produtos para uso ou venda [...]”, referindo-se normalmente à produção em escala industrial, onde recursos materiais e energéticos são transformados em produtos acabados em larga escala. Sustentabilidade foi inicialmente definida pela Comissão de Brundtland como

[...] o atendimento às necessidades presentes sem que essas comprometam a possibilidade de as gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades. (World Commission on Environment and Development, 1987, p. 37).

A sustentabilidade é apresentada como um conceito sistêmico que visa o balanceamento entre os aspectos ambientais, econômicos e sociais, conhecidos pela expressão *Triple Bottom Line*.

A indústria de manufatura envolve diversos setores da economia, a Sustainable Manufacturing Initiative (2011) classifica-os em 15 subdivisões, como a produção de alimentos, de máquinas e equipamentos, de produtos químicos, de produtos metálicos etc. Sobre sua representatividade socioeconômica, é responsável por empregar mundialmente 650 milhões de pessoas (United Nations Environment Programme, 2011), e na Europa, representa 22% do produto interno bruto e 70% dos empregos diretos e indiretos (Manufature, 2004).

Numa revisão sobre a evolução histórica da indústria de manufatura nos últimos 60 anos, Merchant et al. (2005) concluíram sobre a importância do uso da tecnologia nos processos produtivos, exaltando a automação industrial, pois facilita o gerenciamento e o monitoramento dos processos produtivos em tempo real de fabricação. Também citam a importância da introdução do conceito *lean manufacturing*, que permitiu a redução de tempos improdutivos e do desperdício no consumo de recursos. Porém, a evolução ocorreu com foco em métricas tradicionais como custo e qualidade, não prevendo a demanda por novas métricas, por exemplo, baseadas na integração de aspectos de sustentabilidade.

A indústria de manufatura, apesar de sua representatividade socioeconômica, é responsável por relevantes impactos ambientais. Os processos de manufatura destacam-se pelos altos níveis de consumo de energia e pelas emissões de gases de efeito estufa (GEEs). Nos Estados Unidos, 21% do consumo total de recursos energéticos e 26% do total de GEEs emitidos pelo país são tributados à indústria de manufatura (Energy Information Administration, 2010). No Brasil, para Araújo & Oliveira (2012), as atividades de manufatura também geram relevantes impactos ambientais, sendo que entre 1994 e 2007 as emissões de carbono na indústria brasileira cresceram

77%, passando elas a terem importância muito maior como poluidoras.

Jelinski et al. (1992) foram um dos primeiros a apresentar o termo *sustainable manufacturing*, todavia, relacionando-o apenas com a dimensão ambiental da sustentabilidade. Os autores apresentaram o termo como parte da ecologia industrial. Contudo, o conceito manufatura sustentável tem evoluído e atualmente integra as dimensões social e econômica, sendo definida como:

[...] a manufatura de produtos utilizando materiais e processos que minimizem os impactos negativos sobre o meio ambiente, promovendo a conservação de energia e dos recursos naturais, a segurança dos trabalhadores, dos consumidores e da comunidade, e que se mostra economicamente viável. (International Trade Administration, 2010, p. 1).

Apesar de sua definição mais recente englobar as três dimensões da sustentabilidade, o termo *sustainable manufacturing* está mais relacionado ao âmbito ambiental. Assim, diversos autores (Bergmiller, 2006; Dornfeld, 2012; Rusinko, 2007) têm empregado mais o termo *green manufacturing* (GM). Todavia, há outros termos na literatura que se mostram equivalentes a GM, como: *sustainable production* (Pusavec et al., 2010), *environmentally conscious manufacturing* (Florida, 1996; Gungor & Gupta, 1999; Ilgin & Gupta, 2010; Sarkis, 1999) e *environmentally benign manufacturing* (Allen et al., 2002; Gutowski et al., 2005).

A visão sobre GM tem se modificado ao longo do tempo. Baseado no Sustainable Manufacturing Initiative (2011), a Figura 1 apresenta um diagrama referente à sua evolução.

A partir da Figura 1, verifica-se que a visão sobre o conceito GM tem evoluído conforme o surgimento de novas práticas de gestão ambiental. No início, eram focadas apenas em soluções fim-de-tubo, passando

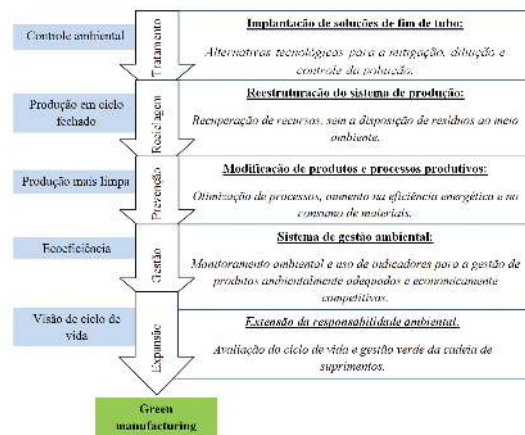


Figura 1. Evolução da visão e das práticas de GM. Fonte: adaptado de Sustainable Manufacturing Initiative (2011).

pela produção em ciclo fechado, a produção mais limpa (P+L) e a ecoeficiência industrial, nos dias atuais evoluiu-se com sua integração à visão de ciclo de vida (CV) do produto.

Para diversos autores (Araújo & Oliveira, 2012; Rusinko, 2007; Silva & Amaral, 2009; Silva et al., 2013), a GM é alcançada por meio de práticas de produção mais limpa (P+L), pois a P+L tem foco sobre o processo produtivo e permite o aumento da eficiência no uso dos recursos naturais e a minimização na geração de resíduos, possibilitando uma melhor ecoeficiência industrial.

Considerando a metodologia de P+L para subsidiar a produção sustentável, Araújo & Oliveira (2012) desenvolveram um método para a avaliação de desempenho em sustentabilidade de processos de manufatura, com foco na construção de relatórios de sustentabilidade para apoiar o processo de tomada de decisão gerencial. Silva & Amaral (2009) desenvolveram uma metodologia integrada para a avaliação dos impactos ambientais e dos custos de processos de fabricação a partir da P+L. Silva et al. (2013) propuseram uma metodologia de P+L integrando ferramentas da qualidade, no intuito de melhorar sua aplicabilidade na indústria. Outros autores, como Florida (1996) e King & Lenox (2001), relacionaram a GM com a P+L e com o *lean manufacturing*, que foca na redução do desperdício de tempo e de recursos, o que por consequência também pode promover a melhoria ambiental dos processos de fabricação. Contudo, tais estudos não integraram a visão de CV em seu escopo.

A visão de CV pode ser entendida como o conjunto de todas as etapas necessárias para que um produto cumpra sua função, numa perspectiva tipo *cradle-to-grave*. A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma técnica que considera o conceito de CV em sua metodologia. A ACV pode ser definida como técnica para a

[...] compilação e avaliação das entradas, das saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo de seu ciclo de vida.” (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009, p. 6).

As entradas incluem a mensuração do consumo de materiais e de energia e as saídas, os fluxos de produtos e coprodutos, emissões gasosas, efluentes líquidos, resíduos sólidos, perdas de energia.

A inserção da ACV para subsidiar a GM é recente e tem sido objeto de estudo em diversas publicações (Duflo et al., 2012; Silva et al., 2012; Murray et al., 2012), com foco na redução do consumo de recursos e na minimização da geração de resíduos (Dornfeld, 2012; Murray et al., 2012), e por meio da otimização do CV dos produtos (Linke et al., 2012; Silva et al., 2012), conforme a representação esquemática da Figura 2.

Na Figura 2, a visão sobre GM considera a produção em ciclo fechado, onde nenhum resíduo é disposto no meio ambiente (*zero landfill*). Portanto, considera-se como *fluxo evitado* a disposição final de resíduos. Ao mesmo tempo, a obtenção de recursos na fase de pré-produção é considerada como *fluxo minimizado*, devido à redução das atividades de extração e transformação de recursos naturais. Isso



Figura 2. GM e a visão de CV. Fonte: adaptado de National Institute of Standards and Technology – NIST (2013).

ocorre por, durante o CV do produto, nas etapas de uso e pós-uso, serem consideradas estratégias como a remanufatura, o reuso e a reciclagem de produtos e resíduos, o que reduz a demanda pelo consumo de matérias-primas. Por fim, na etapa de produção, é necessário que os processos de manufatura sejam monitorados e controlados a fim de otimizarem-se os fluxos de materiais e de energia consumidos e as perdas durante a produção, sendo, nesse ponto, importante para Dornfeld (2012) integrar o uso da ACV com outras técnicas/ferramentas.

Apesar da visão mais recente sobre GM integrar o conceito de CV, o esquema da Figura 2 não deve ser assumido como um sistema de produção estabelecido. Bergmiller (2006) cita que diferentemente do *Lean Manufacturing*, que é baseado no sistema Toyota de produção, a GM não pode ser visto como um sistema de produção, já que historicamente sempre foi encarado como o resultado de práticas de gestão ambiental nos processos de manufatura (conforme a Figura 1), não apresentando um modelo que possa ser generalizado. Para a consolidação de um modelo de GM, é necessária sua integração com ferramentas gerencias adequadas, o que, para Garetti & Taisch (2012), tem se mostrado uma das principais barreiras e desafios na atualidade. O uso isolado de técnicas/ferramentas de gestão ambiental como a ACV e a P+L não permitem a consolidação de um modelo consensual de GM.

Assim, os resultados apresentados neste artigo podem subsidiar pesquisas, por exemplo, com foco na consolidação de modelos de GM. Afinal, uma análise detalhada da produção científica internacional sobre GM é realizada neste artigo, apontando as principais publicações e suas características, e gerando *insights* que podem contribuir para futuras pesquisas na área.

3. Material e métodos

A metodologia adotada para este trabalho baseia-se na pesquisa bibliográfica e na aplicação de procedimentos de bibliometria estruturados por meio das etapas apresentadas na Figura 3. Para a definição da amostra de estudo foi utilizada a ferramenta Web of Knowledge, base de dados Web of Science, para o período de publicações até dezembro de 2013. Depois, para a análise bibliométrica, foi utilizado o *software* HistCite versão 11.12.07.

Na etapa 1 foram selecionadas apenas as publicações conforme os critérios: formato texto completo, tipo de documento – artigo, idioma – inglês e tipo de publicação – *academic journal* ou *proceedings paper*. As palavras-chave adotadas foram *sustainable manufacturing* e *green manufacturing*, utilizadas nos critérios de busca título (*title*) e assunto (*topic*). Posteriormente, outras palavras-chave foram inseridas na busca: *sustainable production*, *environmentally conscious manufacturing* e *environmentally benign manufacturing*, sendo a adoção justificada pela similaridade de resultados obtidos em termos de conteúdo e abordagem dos artigos em relação aos obtidos utilizando as palavras-chave principais.

Com base nos resultados da busca, como último critério para a definição da amostra, a partir do resumo de cada artigo foram selecionados apenas os que apresentassem alguma contribuição conforme a visão e as práticas de GM mostradas na Figura 1, seção 2.

Ao todo, foram selecionados 239 artigos, sendo que a partir dos resultados da busca foi realizada a etapa 2 da pesquisa. As categorias de análise para a classificação das publicações foram: data de publicação, autoria da obra, afiliação dos autores, nome do periódico/conferência.

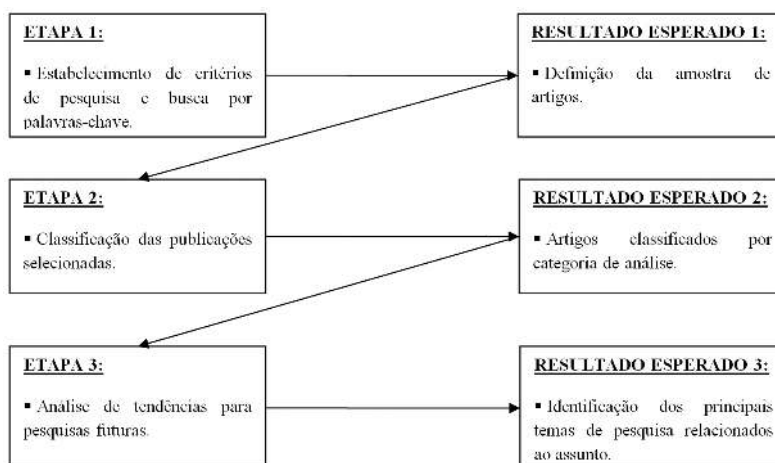


Figura 3. Representação das fases de desenvolvimento da pesquisa.

Para a categoria autoria da obra classificaram-se os autores conforme a produtividade na área (quantidade de artigos publicados e quantidade de citações recebidas) e segundo o enquadramento produtivo: continuantes, transientes, entrantes, *one-timers* e retirantes (Walter & Back, 2013), conforme a Tabela 1. Para a análise do número de citações, foram adotados indicadores bibliométricos do *software* HistCite destacados na Tabela 2.

Na etapa 3 foi realizada a parte final do trabalho, focada na identificação de tendências futuras para pesquisas em GM. Para tanto, fez-se o cruzamento dos temas dos principais artigos publicados (com mais LCS) junto aos temas dos artigos mais recentemente publicados.

4. Resultados e discussões

4.1. Análise do evolutivo, país de origem e do tipo de instituição

A Figura 4 mostra o evolutivo da produção científica sobre GM no período 1991-2013 (22 anos). O período 1991-2000 contabilizou 11,7% do total de artigos e a quantidade máxima de publicações ocorridas foi de 6 artigos em 1999. Todavia, desde 2001 que ao menos 7 artigos sobre o tema são publicados anualmente e 51,4% das publicações estão concentradas nos últimos 5 anos, o que indica uma ascensão do tema nos últimos anos.

A Tabela 3 mostra a caracterização da amostra de artigos conforme o país de origem dos estudos.

Foram identificados 36 países e contabilizadas 284 publicações. Conforme a Tabela 3, 74,3% das

publicações se concentram em: Estados Unidos, China, Reino Unido, Japão, Austrália, Canadá, Índia, Itália e Alemanha. Outros 24 artigos estão distribuídas entre países que publicaram de 1 a 3 artigos cada. Além disso, ressalta-se que o Brasil contribuiu com apenas 1 artigo na amostra, caracterizando sua baixa representatividade na área.

A Tabela 4 mostra a caracterização dos artigos estudados conforme o tipo de instituição envolvida.

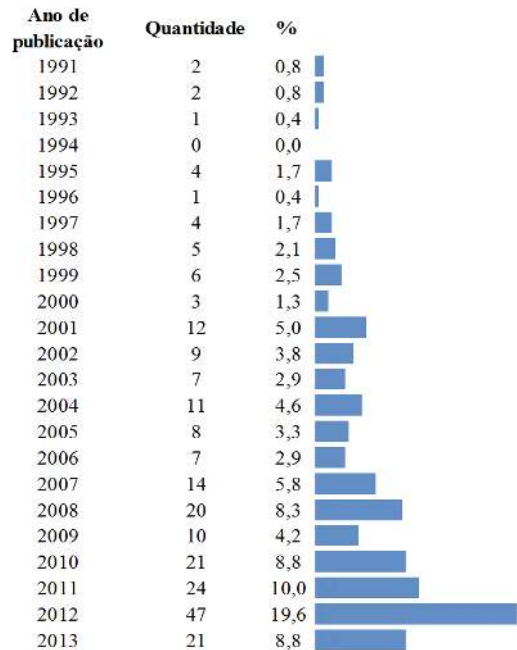


Figura 4. Evolutivo da produção científica em GM.

Tabela 1. Enquadramento produtivo: critérios para a classificação dos autores da área.

Categoria	Definição	Crítérios para classificação
Entrantes	Novos pesquisadores na área, com publicação de pelo menos 2 artigos nos últimos 4 anos.	≥ 2 artigos de 2010 a 2013 Sem publicações até 2009
Transientes	Pesquisadores relativamente permanentes na área, com publicações de pelo menos 2 artigos em, no máximo, 5 anos, tendo publicações tanto nos últimos 4 anos quanto antes.	≥ 2 artigos em até 5 anos diferentes ≥ 1 artigo de 2010 a 2013 ≥ 1 artigo até 2009
Continuantes	Pesquisadores consolidados na área, com publicação de pelo menos 2 artigos em 5 ou menos anos diferentes, inclusive nos 4 últimos anos.	≥ 2 artigos em ≤ 5 anos ≥ 1 artigo de 2010 a 2013
<i>One-timers</i>	Pesquisadores esporádicos, com publicação de apenas 1 artigo no período de análise.	1 artigo até 2013
Retirantes	Pesquisadores que estão deixando a área, com publicações de ao menos 2 artigos, porém, com nenhuma publicação nos últimos 4 anos.	≥ 2 artigos até 2009 Sem publicações de 2010 a 2013

Tabela 2. Indicadores bibliométricos adotados na análise de citações.

Indicador	Definição
LCS	Total de citações locais de um artigo da amostra (<i>Local Citation Scores</i> – LCS). Uma citação local é contabilizada quando um artigo da amostra apresenta citação de algum outro artigo de dentro da mesma amostra. Esse indicador mede o quão relevante é o artigo selecionado dentro da amostra estudada.
GCS	Soma de todas as citações (<i>Global Citation Scores</i> – GCS) de um artigo dentro da base de dados <i>Web of Science</i> .

As publicações mostram-se distribuídas entre muitas instituições distintas. Foram identificadas 246 instituições, sendo 161 universidades (65,4%), 47 institutos de pesquisa (19,1%) e 38 empresas (15,4%). Conforme a Tabela 4, 256 publicações (69,4%) foram produzidas por universidades, 72 (19,5%), por institutos de pesquisa e 41 (11,1%), por empresas.

Entre as universidades, os destaques foram a *University of California* (Estados Unidos), *University of Chongqing* (China), *Wuhan University of Science and Technology* (China), *Technical University of Denmark* (Dinamarca) e *University of Cranfield* (Reino Unido), totalizando de 7 a 13 publicações cada. As demais 156 universidades somaram de 1 a 5 artigos cada. Sobre a *University of California* situada em Berkely, destaca-se o *Laboratory for Manufacturing and*

Sustainability (LMAS), responsável pela maioria das publicações. A *University of Chongqing*, localizada na província de Chongqing, destaca-se pelas pesquisas do *Institute of Manufacturing Engineering* e pelo *State Key Laboratory of Mechanical Transmission*. A *Wuhan University of Science and Technology* (WUST), situada em Wuhan, destaca-se por conta das publicações realizadas pelo *Manufacturing Engineering Institute*. A *Technical University of Denmark*, localizada em Lyngby, destaca-se por conta das publicações do *Department of Manufacturing Engineering and Management*. Por fim, a *University of Cranfield*, situada em Cranfield, destaca-se principalmente pelas publicações do *Manufacturing and Materials Department*.

Entre os institutos de pesquisa, os destaques foram para o *National Institute of Standards and Technology* – NIST (Estados Unidos) e o *National Institute of Technology, Tiruchirappalli* – NITT (Índia), os quais produziram 4 artigos cada. Os demais 45 institutos de pesquisa contribuíram com de 1 a 3 artigos cada. O NIST, situado em Gaithersburg, realiza pesquisa em diversas áreas, incluindo o campo tecnologia e meio ambiente para processos de manufatura. Já o NITT, localizado em Tiruchirappalli, destaca-se pelas publicações realizadas pelo *Department of Production Engineering*.

Sobre a produção científica vinculada a empresas, os destaques foram: DSM *Innovative Synthesis B. V.* (Holanda), GlaxoSmithKline Inc. (Estados Unidos) e SKF Sverige AB (Suécia), que contribuíram com 2 publicações cada. As demais 35 empresas produziram apenas 1 artigo cada. A DSM *Innovative Synthesis B. V.*, situada na cidade de Geleen, é uma indústria de produtos químicos com foco no setor farmacêutico. A GlaxoSmithKline Inc. é uma empresa situada em diversos países, todavia, merecem destaque as sedes nos Estados Unidos – Filadélfia e Carolina do

Tabela 3. Caracterização dos artigos: país de origem.

País	Nº de publicações	%
Estados Unidos	81	28,5
China	51	18,0
Reino Unido	18	6,3
Japão	12	4,2
Austrália	10	3,5
Canadá	10	3,5
Índia	10	3,5
Itália	10	3,5
Alemanha	9	3,2
Dinamarca	7	2,5
Bélgica	5	1,8
Suécia	5	1,8
França	4	1,4
Holanda	4	1,4
Coreia do Sul	4	1,4
Espanha	4	1,4
Suíça	4	1,4
Taiwan	4	1,4
Outros	24	8,5

Tabela 4. Caracterização dos artigos: instituições envolvidas.

Tipo de instituição	Nome	País	Nº de publicações	%
Universidades	<i>University of California</i>	Estados Unidos	13	5,4
	<i>University of Chongqing</i>	China	10	34,9
	<i>Wuhan University of Science and Technology</i>	China	9	3,5
	<i>Technical University of Denmark</i>	Dinamarca	7	2,7
	<i>University of Cranfield</i>	Reino Unido	7	2,7
	Outros	Múltiplos	210	82,0
Institutos de pesquisa		TOTAL	256	100
	<i>National Institute of Standards and Technology</i>	Estados Unidos	4	5,5
	<i>National Institute of Technology, Tiruchirappalli</i>	Índia	4	5,5
	Outros	Múltiplos	64	89,0
Empresas		TOTAL	72	100
	<i>DSM Innovative Synthesis B. V.</i>	Holanda	2	4,9
	GlaxoSmithKline Inc.	Estados Unidos	2	4,9
	SKF Sverige AB	Suécia	2	4,9
	Outros	Múltiplos	35	85,3
	TOTAL	41	100	

Norte –, que apresentaram publicações sobre GM na indústria farmacêutica. A empresa sueca SKF Sverige AB, situada em Gothenburg, é uma empresa que atua na indústria metal-mecânica, com destaque para o *SKF Group Manufacturing Development*, responsável pelas publicações mapeadas.

Portanto, o tema GM tem despertado, em escala global, mais interesse em universidades dos Estados Unidos, China, Dinamarca e Reino Unido; em institutos de pesquisa dos Estados Unidos e da Índia; e em empresas da Holanda, Estados Unidos e Suécia. Os Estados Unidos se mostrou o principal atuante nos três tipos de instituições avaliadas.

4.2. Análise dos periódicos/conferências envolvidos nas publicações

A Tabela 5 apresenta uma análise das publicações por periódico/conferência, identificando os mais prolíficos.

No total foram identificados 142 periódicos/conferências, sendo 90 (63,4%) do tipo periódico e 52 (36,6%) do tipo conferência. Desses, os mais prolíficos responderam por 30,8% do total das publicações, contabilizando de 4 a 19 artigos cada,

como mostra a Tabela 5. As principais revistas identificadas foram o *Journal of Cleaner Production* e o *International Journal of Production Research*, ambos classificados como periódicos qualis A2 na área de Engenharia III (atualização de 2012). As publicações em conferências variaram de 1-3 artigos por evento, não sendo possível identificar um evento específico de destaque. Todavia, como evento científico de referência em GM ressalta-se o *CIRP International Conference in Life Cycle Engineering* (CIRP LCE), que ocorre a cada dois anos, sendo que em 2013 realizou sua 20ª edição. O evento é mundialmente reconhecido e organizado por instituições de pesquisa vinculadas ao *Collège International pour la Recherche en Productique* (CIRP – Academia Internacional de Engenharia de Produção), sendo que os anais de cada edição são disponibilizados na base de dados da Springer. Os anais do CIRP LCE não foram considerados na amostra de estudo, pois não estão disponíveis na base de dados *Web of Science*.

A Figura 5 apresenta um evolutivo das publicações sobre GM para os principais periódicos identificados.

A partir da Figura 5 é possível notar que os periódicos analisados apresentam nenhum ou no máximo 2 artigos publicados durante toda a década de 1990. Também verifica-se que o maior índice de

Tabela 5. Periódicos/conferências mais prolíficos.

Nome	Nº de publicações	%
<i>Journal of Cleaner Production</i> (JCP)	19	7,9
<i>International Journal of Production Research</i> (IJPR)	10	4,2
<i>CIRP Annals – Manufacturing Technology</i> (CA – MT)	7	2,9
<i>International Journal of Production Economics</i> (IJPE)	7	2,9
<i>Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture</i> (PIME – JEM)	7	2,9
<i>International Journal of Advanced Manufacturing Technology</i> (IJAMT)	6	2,5
<i>International Journal of Life Cycle Assessment</i> (IJLCA)	5	2,1
<i>International Journal of Precision Engineering and Manufacturing</i> (IJPEM)	5	2,1
<i>Manufacturing Engineering</i> (ME)	4	1,7
<i>Production Planning & Control</i> (PP & C)	4	1,7
Outros	166	69,2

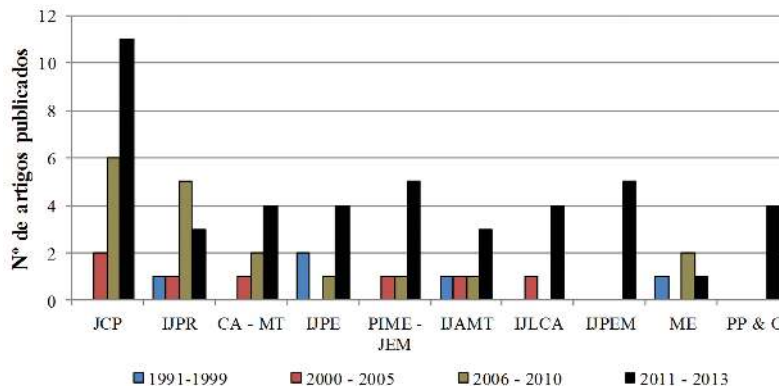


Figura 5. Principais periódicos: evolutivo da produção científica.

produção foi de 11 artigos, publicados pela revista *JCP* no período de 2011-2013. Entre 2011-2013 também houve a maior quantidade de artigos publicados, com exceção dos periódicos *IJPR* e *ME*, o que confirma a maior relevância e ascensão do tema GM principalmente nos últimos anos.

4.3. Análise de autoria das publicações

Sobre a análise do enquadramento produtivo, a Tabela 6 apresenta a quantidade de autores identificados por categoria de autoria.

Ao todo foram identificados 589 diferentes autores, sendo observado que os autores entrantes, continuantes, transientes e retirantes apresentam-se pouco expressivos nas publicações mapeadas, diferentemente da categoria *one-timers*, a qual foi o grande destaque, contabilizando 85,7% das publicações. Tais constatações contemplam novamente o fato de que o tema GM apenas recentemente foi incorporado à produção científica da academia internacional.

Sobre a produtividade dos autores na área, a Tabela 7 classifica os principais autores conforme a quantidade de artigos publicados.

Verifica-se que os principais autores, conforme a Tabela 7, somam apenas 7 entre os 589 autores mapeados, sendo 2 dos Estados Unidos e cinco da China, que eles respondem por 24,3% do total de publicações e que o número máximo de artigos publicados por autor variou de 6 a 11. Desse modo, verifica-se que a maior parte (75,7%) das publicações está dispersa entre os demais 582 autores (98,8%), os quais publicaram de 1 a 4 artigos cada. Isso mostra

a existência de um grande número de pesquisadores, fato atribuído à grande quantidade de instituições envolvidas nas pesquisas sobre o tema (seção 4.1). Corroborando, acrescenta-se o fato de a maior parte dos autores mapeados terem sido classificados como *one-timers*, pesquisadores esporádicos e não consolidados na área. Por outro lado, os 7 principais autores da Tabela 7 são autores continuantes.

Considerando-se que a produtividade de um autor deve levar em conta também o número de citações que suas publicações recebem, a Tabela 8 classifica os autores mapeados conforme a quantidade de citações tipo GCS.

Do total das 2.207 citações tipo GCS, a partir da Tabela 8 verifica-se que 19 autores são os principais, com número de citações de 61 a 368. Do total, 13 autores são dos Estados Unidos, 2 do Canadá, 2 da Índia, 1 da Turquia e 1 da Dinamarca, representando juntos por 73,9% das citações. Desse modo, verifica-se que a maior parte das citações está concentrada numa pequena quantidade de pesquisadores (3,2% dos 589 autores mapeados).

Ao analisar a produtividade dos principais autores da área de GM, verificam-se diferentes constatações, conforme o critério de comparação. A partir das Tabelas 7 e 8 observa-se que os autores com maior número de publicações não são os que apresentaram maior número de citações. Na Tabela 8, mais de 90% dos autores foram classificados como *one-timers* ou retirantes, sendo que a maior parte de seus artigos datam do período 1990-2007; além disso, apenas 1 autor foi classificado como continuante (Jon Sutherland). De modo distinto, na Tabela 7 todos os autores de destaque foram classificados como continuantes.

Assim, pode-se inferir que os autores da Tabela 7 são os principais pesquisadores da área na atualidade. Já os autores da Tabela 8 estão, em sua maioria, deixando de atuar na área (retirantes) ou não são grandes atuantes (*one-timers*), porém suas obras, ainda que retrospectivas, servem de base para a continuidade e o desenvolvimento de mais publicações em GM.

Tabela 6. Enquadramento produtivo dos autores na área.

Categorias	Nº de autores	%
Autores entrantes	20	3,4
Autores continuantes	13	2,2
Autores transientes	13	2,2
Autores <i>one-timers</i>	505	85,7
Autores retirantes	38	6,5
Total	589	100

Tabela 7. Principais autores na área: número de artigos publicados.

Autor	País	Nº de artigos publicados	%
Feng Liu	China	11	4,6
David Dornfeld	Estados Unidos	10	4,2
Hua Zhang	China	9	3,8
Jon Sutherland	Estados Unidos	9	3,8
Zhigan Jiang	China	7	2,9
Congbo Li	China	6	2,5
Xian-Chun Tan	China	6	2,5
Outros	Múltiplos	181	75,7

4.4. Análise de tendências para pesquisas futuras

Esta seção identifica tendências futuras para pesquisas sobre GM. Para tanto, inicialmente foram mapeados os principais temas estudados na área através da seleção dos artigos com maiores valores de LCS (citações locais dentro da amostra pesquisada), conforme mostram a Figura 6 e a Tabela 9. A Figura 6 apresenta o mapa de relacionamento entre

as publicações analisadas, considerando os valores de LCS de cada artigo, sendo os principais trabalhos destacados entre círculos.

Na Figura 6, cada artigo foi citado de 0 a 12 vezes, portanto, apresentam valores de LCS de 0 a 12. Observam-se 9 trabalhos em destaque, os quais em sua maioria foram publicados antes de 2003, apresentando valores de LCS de 6 a 12, conforme detalhes na Tabela 9.

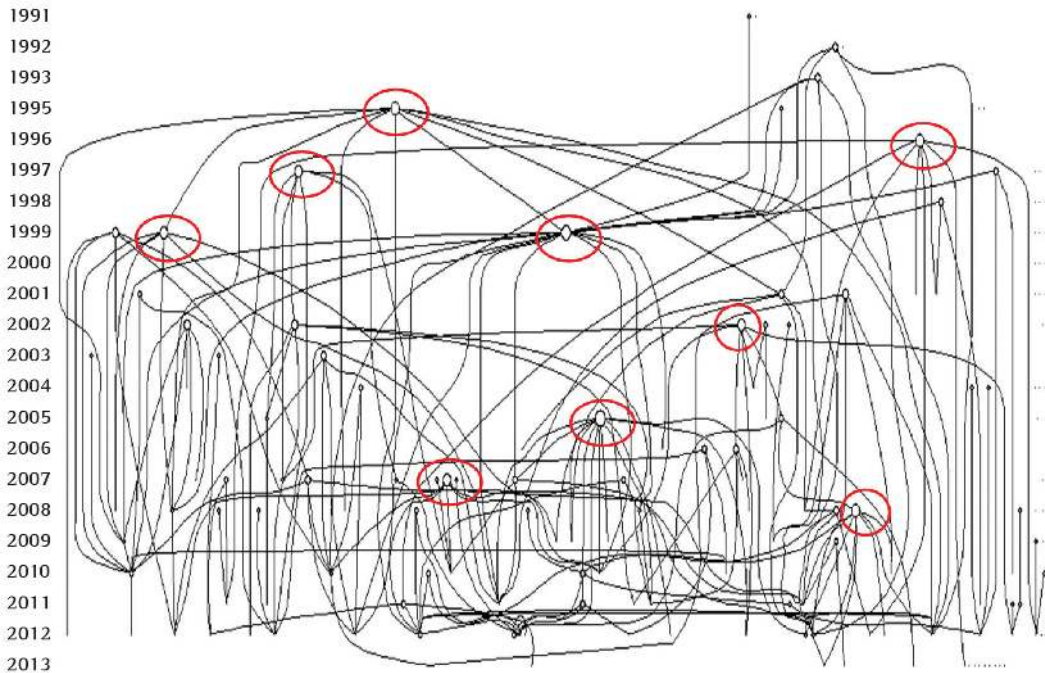


Figura 6. Mapa de relacionamento entre as publicações avaliadas.

Tabela 8. Principais autores na área: número de citações globais recebidas.

Autores	País	Nº de citações GCS recebidas	%
Surendra Gupta	Estados Unidos	368	21,7
Askiner Gungor	Estados Unidos	295	17,4
Joseph Sarkis	Estados Unidos	167	9,9
Richard Florida	Estados Unidos	157	9,2
Robert Klassen	Canadá	95	5,6
Stephan Vachon			
G. Dangayach	Índia	86	5,1
S. Deshmukh			
Mehme Ali Ilgin	Turquia	73	4,3
Jon Sutherland	Estados Unidos	73	4,3
Bert Bras	Estados Unidos	65	3,8
Thomas Graedel	Estados Unidos	65	3,8
L. Jelinski			
R. Laudise			
D. McCall			
C. Patel			
Timothy Gutowski	Estados Unidos	64	3,7
Paul Sheng	Estados Unidos	63	3,7
Leo Alting	Dinamarca	61	3,6
Outros	Múltiplos	575	7,6

Tabela 9. Principais publicações mapeadas.

	Autoria	Ano	Temas estudados	Tipo de estudo	LCS
(1)	Joseph Sarkis	1995	<i>Manufacturing strategy and environmental consciousness.</i>	Teórico	9
(2)	Richard Florida	1996	<i>Lean and green: the move to environmentally conscious manufacturing.</i>	Teórico-empírico	8
(3)	Albert Choi, H. Kaebemick & W. Lai	1997	<i>Manufacturing processes modeling for environmental impact assessment.</i>	Teórico-empírico	6
(4)	Askiner Gungor & Surendra Gupta	1999	<i>Issues in environmentally conscious manufacturing and product recovery: a survey.</i>	Teórico	10
(5)	Joseph Sarkis	1999	<i>A methodological framework for evaluating environmentally conscious manufacturing programs.</i>	Teórico	6
(6)	David Allen, Diana Bauer, Bert Bras, Timothy Gutowski, Cindy Murphy, Tom Piwonka, Paul Cheng, Jon Sutherland, Deborah Thurston & Egon Wolff	2002	<i>Environmentally benign manufacturing: trends in Europe, Japan, and the USA.</i>	Teórico	7
(7)	Timothy Gutowski, Cynthia Murphy, David Allen, Diana Bauer, Bert Bras, Thomas Piwonka, Paul Cheng, Jon Sutherland, Deborah Thurston & Egon Wolff	2005	<i>Environmentally benign manufacturing: observations from Japan, Europe and the United States.</i>	Teórico	12
(8)	Cathy Rusinko	2007	<i>Green manufacturing: an evaluation of environmentally sustainable manufacturing practices and their impact on competitive outcomes.</i>	Teórico-empírico	7
(9)	Francesco Jovane, Hiroyuki Yoshikawa, Leo Alting, Claudio Boër, Engelbert Westkamper, David Williams, Mitchell Tseng, Günther Seliger & Maria Paci	2008	<i>The incoming global technological and industrial revolution towards competitive sustainable manufacturing.</i>	Teórico-empírico	8

Os principais autores anteriormente abordados na seção 4.3 aparecem destacados na Tabela 9 para efeito de distinção dos demais. Nota-se que a maior parte das publicações apresenta ao menos um dos autores destacados previamente. Todos os trabalhos datam do período entre 1995-2008 e, em sua maioria, envolvem autores classificados como retirantes ou *one-timers*.

Constata-se a partir da Tabela 9 que os estudos acerca da temática GM versam sobre assuntos teóricos (5 estudos, 55,5%) e teórico-empíricos (4 estudos, 44,5%). Os estudos teóricos foram elaborados por meio de meta-análise, realização de revisões teóricas e proposição de *frameworks*. Já os estudos teórico-empíricos abordam a realização de *surveys* e estudos de caso em empresas.

A Tabela 10 mostra uma síntese dos principais artigos recentes (últimos 3 anos) publicados na área de GM, a partir da seleção dos artigos que citam em suas listas de referências ao menos 1 dos artigos da Tabela 9.

No total foram identificados 48 artigos recentes, apresentando LCS entre 1 e 8. No entanto, somente os artigos listados na Tabela 10 (19 publicações – 39,6%) citam algum dos artigos relacionados na Tabela 9. A maior parte dos autores da Tabela 10 foi classificada como entrantes ou *one-timers*, sendo que, novamente, os principais foram destacados em negrito. Das 19 publicações listadas, 26,3% ocorreram em 2010,

15,8% em 2011 e 57,9% em 2012, sendo 52,6% das estudos teóricos e 47,4% estudos teórico-empíricos.

Pela Tabela 10 constata-se que 7 publicações (36,8%) citaram somente 1 referência da Tabela 9, 10 artigos (52,6%) citaram 2 referências, 1 artigo (5,3%) citou 3 referências e 1 artigo (5,3%) citou 5 referências. As referências mais citadas nas publicações recentes foram os artigos (7), (8) e (9), normalmente utilizados como base para a fundamentação teórica das publicações recentes, visando apresentar a origem e definição do conceito GM, justificar sua importância, apresentar resultados prévios da literatura e a necessidade de se realizarem mais pesquisas na área.

Sobre os temas abordados nas publicações da Tabela 10, podem ser sistematizados os tópicos:

- Propostas de metodologias para GM;
- Propostas de metodologias para o monitoramento e avaliação do consumo de energia em processos de manufatura;
- Impactos da GM na redução de custos de processos de manufatura;
- GM e a aplicação da ACV;
- Aplicação da GM em processos de usinagem;
- Utilização da GM para a seleção de tecnologias verdes de manufatura;
- Desenvolvimento de indicadores de desempenho para GM.

Tabela 10. Principais publicações recentes da área.

Autoria	Ano	Temas estudados	Tipo de estudo	Artigos da tabela 9 que são citados
Yan He & Fei Liu	2010	<i>Methods for integrating energy consumption and environmental impact considerations into the production operation of machining processes.</i>	Teórico-empírico	(3), (8)
Mehme Ali Ilgin & Surendra Gupta	2010	<i>Environmentally conscious manufacturing and product recovery (ECMPRO): a review of the state of the art.</i>	Teórico	(4), (5)
Congbo Li, Fei Liu, Xian-Chun Tan & Yanbin Du	2010	<i>A methodology for selecting a green technology portfolio based on synergy.</i>	Teórico	(4), (5), (6), (7), (8)
Franci Pusavec, Peter Krajnik & Janez Kopac	2010	<i>Transitioning to sustainable production – Part I: application on machining technologies.</i>	Teórico-empírico	(7), (9)
Sekar Vinodh & Gopinath Rathod	2010	<i>Integration of ECQFD and LCA for sustainable product design.</i>	Teórico-empírico	(4), (8)
Elta Amrina & Shari Yusof	2011	<i>Key performance indicators for sustainable manufacturing evaluation in automotive companies.</i>	Teórico	(8), (9)
Harvey Millar & Suzana Russell	2011	<i>The adoption of sustainable manufacturing practices in the Caribbean.</i>	Teórico-empírico	(7)
Perminderjit Singh & Kuldip Sangwan	2010	<i>Product and process characteristics for green manufacturing: evidence from Indian SMEs.</i>	Teórico-empírico	(2), (4), (7)
Thomas Behrendt, André Zein & Sangkee Min	2012	<i>Development of an energy consumption monitoring procedure for machine tools.</i>	Teórico-empírico	(7)
Mélanie Despeisse, Peter Ball, Steve Evans & Andy Levers	2012a	<i>Industrial ecology at factory level: a prototype methodology.</i>	Teórico	(1), (9)
Mélanie Despeisse, Peter Ball, Steve Evans & Andy Levers	2012b	<i>Industrial ecology at factory level – a conceptual model.</i>	Teórico	(1), (9)
Mélanie Despeisse, Fatou Mbaye, Peter Ball & Andy Levers	2012c	<i>The emergence of sustainable manufacturing practices.</i>	Teórico	(1)
Joost Duflou, Jon Sutherland, David Dornfeld, Christoph Herrmann, Jack Jeswiet, Sami Kara, Michael Hauschild & Karel Kellens	2012	<i>Towards energy and resource efficient manufacturing: a processes and systems approach.</i>	Teórico	(7)
Marco Garetti & Marco Taisch	2012	<i>Sustainable manufacturing: trends and research challenges.</i>	Teórico	(7), (9)
Barbara Linke, Yu-Chu Huang & David Dornfeld	2012	<i>Establishing greener products and manufacturing processes.</i>	Teórico	(6)
Vance Murray, Fu Zhao & Jon Sutherland	2012	<i>Life cycle analysis of grinding: a case study of non-cylindrical computer numerical control grinding via a unit-process life cycle inventory approach.</i>	Teórico-empírico	(9)
Zhongde Shang, Shaoyan Qin, Qian Liu & Feng Liu	2012	<i>Key manufacturing technology & equipment for energy saving and emissions reduction in mechanical equipment industry.</i>	Teórico	(6), (7)
Sekar Vinodh, K. Jayakrishna & Dino Joy	2012	<i>Environmental impact assessment of an automotive component using eco-indicator and CML methodologies.</i>	Teórico-empírico	(8)
Sekar Vinodh & Dino Joy	2012	<i>Structural equation modeling of sustainable manufacturing practice.</i>	Teórico-empírico	(4), (8)

Como tendências para pesquisas futuras, pela inexistência de um modelo consensual e abrangente que possa ser generalizado, observa-se ainda o foco no desenvolvimento de metodologias para subsidiar a GM, visando sua integração com ferramentas gerenciais como a ACV, o desenvolvimento de indicadores de desempenho na manufatura e de critérios para a seleção de tecnologias de manufatura. Sobre os trabalhos que integram o uso da ACV, é importante ressaltar que essa técnica tem sido mais utilizada apenas para a avaliação e monitoramento do consumo de energia nos processos produtivos, não cobrindo

outros aspectos ambientais relevantes, como os impactos ambientais associados às atividades de manufatura, sendo essa lacuna também uma área para o desenvolvimento de novas pesquisas.

5. Conclusão

Este artigo apresentou uma análise da produção científica e de tendências para futuras pesquisas em *green manufacturing*. Ao todo foram publicados 239 artigos no período de 1991-2013, envolvendo 589 autores de 36 países, 246 instituições e

142 periódicos/conferências. Mais de 50% dos artigos foram publicados nos últimos 5 anos, o que mostra a ascensão do tema.

Quanto aos países de origem das publicações, 74,3% concentraram-se em: Estados Unidos, China, Reino Unido, Japão, Austrália, Canadá, Índia, Itália e Alemanha. Sobre as instituições envolvidas, as universidades representaram 65,4% das publicações, os institutos de pesquisa, 19,1% e as empresas, 15,4%. As principais instituições foram *University of California* (Estados Unidos), *University of Chongqing* (China), *Wuhan University of Science and Technology* (China), *Technical University of Denmark* (Dinamarca) e *University of Cranfield* (Reino Unido), as quais contribuíram com 6 a 13 publicações cada.

Sobre a análise dos periódicos/conferências mais prolíficos, os destaques foram os periódicos *Journal of Cleaner Production* e o *International Journal of Production Research*, com 19 e 10 artigos publicados, respectivamente. As publicações em conferências variaram de 1-3 artigos por evento, de modo distribuído entre as 52 conferências rastreadas, não sendo possível identificar um evento específico de destaque.

Sobre a análise de autoria das publicações, 3,4% dos artigos foram escritos por autores entrantes, 2,1%, por autores transientes, 2,1%, por autores continuantes, 6,5%, por autores retirantes e 85,7%, por autores *one-timers*, o que mostra que apenas recentemente o tema estudado foi incorporado à produção científica da academia internacional. O autor mais produtivo em termos de número de publicações foi Feng Liu (11 artigos), seguido por David Dornfeld (10 artigos), Hua Zhang (9 artigos) e Jon Sutherland (9 artigos), sendo todos classificados como continuantes. Quanto ao número de citações GCS, os autores mais produtivos foram Suendra Gupta (368 citações), Askiner Gungor (295 citações), Joseph Sarkis (167 citações) e Richard Florida (157 citações). Todavia, os autores mais citados foram em sua maioria classificados como *one-timers* ou retirantes e, ainda, a maior parte das publicações ocorreu entre 1990-2007, não sendo classificadas como recentes. A partir disso inferiu-se que os autores com maior número de publicações representam os principais pesquisadores da área na atualidade e que os autores mais citados são pesquisadores que em sua maioria estão deixando de atuar na área ou que nela não são grandes atuantes.

Sobre os temas recentemente publicados destacam-se os estudos teóricos e teórico-empíricos sobre propostas de metodologias para a GM; propostas de metodologias para o monitoramento e avaliação do consumo de energia em processos de manufatura; impactos da GM na redução de custos de processos de

manufatura; GM e o uso da técnica de ACV; aplicação da GM em processos de usinagem; utilização da GM para a seleção de tecnologias verdes de manufatura; e o desenvolvimento de indicadores de performance para a GM.

Por fim, neste estudo ficou constatada a baixa participação brasileira nas pesquisas relacionadas à *green manufacturing* comparativamente aos líderes na área, Estados Unidos e China. O destaque desses países pode estar associado a fatores como a realidade fabril, produtiva e ao nível tecnológico mais sofisticado e moderno de suas indústrias em relação às do Brasil, o que fortalece a realização de pesquisas na área. Além disso, como sugestão, recomenda-se que pesquisas futuras incorporem outras bases de dados (e.g. Scopus) em estudos semelhantes.

Referências

- Allen, D., Bauer, D., Bras, B., Gutowski, T., Murphy, C., Piwonka, T., Sheng, P., Sutherland, J., Thurston, D., & Wolff, E. (2002). Environmentally benign manufacturing: trends in Europe, Japan, and the USA. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 124, 908-920. <http://dx.doi.org/10.1115/1.1505855>
- Amrina, E., & Yusof, S. M. (2011). Key performance indicators for sustainable manufacturing evaluation in automotive companies. In *Proceedings the IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, Singapore. doi:10.1109/IEEM.2011.6118084
- Araújo, J. B., & Oliveira, J. F. G. (2012). Towards a balanced scoreboard for assessing manufacturing processes sustainability. *International Journal of Business Performance Management*, 13, 198-221.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. (2009). *NBR ISO 14044: Gestão ambiental – avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações*. Rio de Janeiro.
- Behrendt, T., Zein, A., & Min, S. (2012). Development of an energy consumption monitoring procedure for machine tools. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 61, 43-46. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2012.03.103>
- Bergmiller, G. G. (2006). *Lean manufacturers transcendence to green manufacturing: correlating the diffusion of lean and green manufacturing systems*. Florida: University of South Florida.
- Choi, A. C. K., Kaebernick, H., & Lai, W. H. (1997). Manufacturing processes modeling for environmental impact assessment. *Journal of Materials Processing Technology*, 70, 231-238. [http://dx.doi.org/10.1016/S0924-0136\(97\)00067-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0924-0136(97)00067-8)
- Despeisse, M., Ball, P. D., Evans, S., & Levers, A. (2012a). Industrial ecology at factory level: a prototype methodology. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 226, 1648-1664. <http://dx.doi.org/10.1177/0954405412449937>
- Despeisse, M., Ball, P. D., Evans, S., & Levers, A. (2012b). Industrial ecology at factory level: a conceptual model. *Journal of Cleaner Production*, 31, 30-39. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.02.027>
- Despeisse, M., Mbaye, F., Ball, P. D., & Levers, A. (2012c). The emergence of sustainable manufacturing practices.

- Production Planning & Control: The Management of Operations*, 23, 354-376. <http://dx.doi.org/10.1080/09537287.2011.555425>
- Dornfeld, A. D. (2012). *Green manufacturing: fundamentals and applications*. Berkeley: Springer.
- Duflou, J. R., Sutherland, J. W., Dornfeld, D., Hermann, C., Jeswiet, J., Kara, S., Hauschild, M., & Kellens, K. (2012). Towards energy and resource efficient manufacturing: a processes and systems approach. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 61, 587-609. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2012.05.002>
- Energy Information Administration - EIA. *Annual Energy Review 2011*. Retrieved from <http://www.eia.gov/totalenergy/data/annual/pdf/aer.pdf>
- Florida, R. (1996). Lean and green: the move to environmentally conscious manufacturing. *California Management Review*, 39, 80-105. <http://dx.doi.org/10.2307/41165877>
- Garetti, M., & Taisch, M. (2012). Sustainable manufacturing: trends and research challenges. *Production Planning & Control: The Management of Operations*, 23, 83-104. <http://dx.doi.org/10.1080/09537287.2011.591619>
- Gungor, A., & Gupta, S. M. (1999). Issues in environmentally conscious manufacturing and product recovery: a survey. *Computers & Industrial Engineering*, 36, 811-853. [http://dx.doi.org/10.1016/S0360-8352\(99\)00167-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0360-8352(99)00167-9)
- Gutowski, T., Murphy, C., Allen, D., Bauer, D., Bras, B., Pivonka, T., Sheng, P., Sutherland, J., Thurston, D., & Wolff, E. (2005). Environmentally benign manufacturing: observations from Japan, Europe and the United States. *Journal of Cleaner Production*, 13, 1-17. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2003.10.004>
- He, Y., & Liu, F. (2010). Methods for integrating energy consumption and environmental impact considerations into the production operation of machining processes. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 23, 1-8. <http://dx.doi.org/10.3901/CJME.2010.04.428>
- Ilgın, M. A., & Gupta, S. M. (2010). Environmentally conscious manufacturing and product recovery (ECMPRO): a review of the state of the art. *Journal of Environmental Management*, 91, 563-591. PMID:19853369. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.09.037>
- International Trade Administration - ITA. (2010). *How does Commerce define Sustainable Manufacturing?* Retrieved from http://www.trade.gov/competitiveness/sustainablemanufacturing/how_doc_defines_SM.asp
- Jelinski, L. W., Graedel, T. E., Laudise, R. A., McCall, D. W., & Patel, C. K. N. (1992). Industrial Ecology: concepts and approaches. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 89, 793-797. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.89.3.793>
- Jovane, F., Yoshikawa, H., Altıng, L., Boër, CR., Westkamper, E., Williams, D., Tseng, M., Seliger, G., & Paci, AM. (2008). The incoming global technological and industrial revolution towards competitive sustainable manufacturing. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 57, 641-659. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2008.09.010>
- Kalpçakjian, S. (2001). *Manufacturing engineering and technology*. Upper Saddle Rive: Prentice Hall.
- King, A. A., & Lenox, M. J. (2001). Lean and green? An empirical examination of the relationship between lean production and environmental performance. *Production and Operations Management*, 10, 244-256. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1937-5956.2001.tb00373.x>
- Li, C., Liu, F., Tan, X. C., & Du, Y. (2010). A methodology for selecting a green technology portfolio based on synergy. *International Journal of Production Research*, 48, 7289-7302. <http://dx.doi.org/10.1080/00207540903382857>
- Linke, B., Huang, Y. C., & Dornfeld, D. (2012). Establishing greener products and manufacturing processes. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing* 13, 1029-1036. <http://dx.doi.org/10.1007/s12541-012-0134-z>
- Manufature. (2004). *A vision for 2020: assuring the future of manufacturing in Europe*. European Comission. (Report of the high-level group).
- Merchant, M. E., Dornfeld, D., & Wright, P. K. (2005). *Manufacturing: its evolution and future*. Berkeley. Retrieved from <http://escholarship.org/uc/item/36d27692>
- Millar, H. H., & Russell, S. N. (2011). The adoption of sustainable manufacturing practices in the Caribbean. *Business Strategy and the Environment*, 20, 512-526. <http://dx.doi.org/10.1002/bse.707>
- Murray, V. R., Zhao, F., & Sutherland, J. W. (2012). Life cycle analysis of grinding: a case study of non-cylindrical computer numerical control grinding via unit-process life cycle inventory approach. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering of Manufacturing*, 226, 1604-1611.
- National Institute of Standards and Technology - NIST. *Overview of the sustainable manufacturing*. Retrieved from <http://www.mel.nist.gov/msid/SSP/introduction/manufacturing.html#2>.
- Pusavec, F., Krajnik, P., & Kopac, J. (2010). Transitioning to sustainable production. Part I: application on machining technologies. *Journal of Cleaner Production*, 18, 174-184. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.08.010>
- Rusinko, C. A. (2007). Green manufacturing: an evaluation of environmentally sustainable manufacturing practices and their impact on competitive outcomes. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 54, 445-454. <http://dx.doi.org/10.1109/TEM.2007.900806>
- Sarkis, J. (1995). Manufacturing strategy and environmental consciousness. *Technovation*, 15, 79-97. [http://dx.doi.org/10.1016/0166-4972\(95\)96612-W](http://dx.doi.org/10.1016/0166-4972(95)96612-W)
- Sarkis, J. A. (1999). Methodological framework for evaluating environmentally conscious manufacturing programs. *Computers & Industrial Engineering*, 36, 793-810. [http://dx.doi.org/10.1016/S0360-8352\(99\)00166-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0360-8352(99)00166-7)
- Shang, Z., Qin, S., Liu, Q., & Liu, F. (2012). Key manufacturing technology & equipment for energy saving and emissions reduction in mechanical equipment industry. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing* 13, 1095-1100. <http://dx.doi.org/10.1007/s12541-012-0143-y>
- Silva, D. A. L., Delai, I., Castro, M. A. S., & Ometto, A. R. (2013). Quality tools applied to Cleaner Production programs: a first approach toward a new methodology. *Journal of Cleaner Production*, 47, 174-187. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.10.026>
- Silva, P. R. S., & Amaral, F. G. (2009). An integrated methodology for environmental impacts and costs evaluation in industrial processes. *Journal of Cleaner Production*, 17, 1339-1350. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.04.010>
- Silva, E. J., Ometto, A. R., Rozenfeld, H., Silva, D. A. L., Pigosso, D. C. A., & Reis, V. R. A. (2012). Prototypal

- implementation of a remanufacturing oriented grinding machine. In D. Dornfeld & B. S. Linke (Eds.), *Proceedings of the 19th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering* (pp. 257-262). Berkeley: Springer-Verlag.
- Singh, P., & Sangwan, K. S. (2010). *Product and process characteristics for green manufacturing: evidence from Indian SMEs*. In Proceedings of the ASME 2010 International Manufacturing Science and Engineering Conference, New York. <http://dx.doi.org/10.1115/MSEC2010-34077>
- Sustainable Manufacturing Initiative. (2011). *What does sustainable manufacturing mean to Australia?* The CSIRO Future Manufacturing Flagship.
- United Nations Environment Programme – UNEP. (2011). *Towards a Green economy: pathways to sustainable development and poverty eradication*. Retrieved from <http://www.unep.org/greeneconomy>
- Vinodh, S., Jayakrishna, K., & Joy, D. (2012). Environmental impact assessment of an automotive component using eco-indicator and CML methodologies. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 14, 333-344. <http://dx.doi.org/10.1007/s10098-011-0405-x>
- Vinodh, S., & Joy, D. (2012). Structural equation modeling of sustainable manufacturing practices. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 14, 79-84. <http://dx.doi.org/10.1007/s10098-011-0379-8>
- Vinodh, S., & Rathod, G. (2010). Integration of ECQFD and LCA for sustainable product design. *Journal of Cleaner Production*, 18, 833-842. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.12.024>
- Walter, S. A., & Bach, T. M. (2013). Inserção de pesquisadores entrantes na área de estratégia: análise das relações de autoria e temas estudados no período de 1997-2010. *Revista Eletrônica de Administração*, 19, 165-191. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-23112013000100007>
- World Commission on Environment and Development - WCED. (1987). *Our common future*. Oxford: Oxford University Press.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – Fapesp (Processo n. 2013/06736-9) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Capes (Processo n. 33002045) pelo apoio financeiro fornecido durante a realização deste estudo.

Green manufacturing: an analysis of scientific publications and trends for the future

Abstract

This paper presents an analysis of the international scientific publications in the green manufacturing area. We used the Web of Science database to identify 239 articles published between 1991 and 2013. The articles involved 589 authors from 36 countries, 246 institutions, and 142 journals/conferences. We found that 51.4% of the articles were published within the last five years. Among the countries involved, the most prolific were the United States and China. The most prolific journal was the Journal of Cleaner Production with 19 articles. Most of the authors, 85.7%, were one-time authors in the field. The highest yield was 11 articles by one author, and the most cited author received 368 citations. We concluded that the green manufacturing area has increased its relevance in recent years by focusing on theoretical and empirical-theoretical studies.

Keywords

Sustainable manufacturing. Environmentally conscious manufacturing. Bibliometrics. Literature review.