



“TEN YEARS WORKING TOGETHER FOR A SUSTAINABLE FUTURE”

Os princípios da Indústria 4.0 e os impactos na sustentabilidade da cadeia de valor empresarial

PALMA, J. M. B. ^{a*}, BUENO, U. S. ^a, STOROLLI, W. G. ^a, SCHIAVUZZO, P. L. ^a,
CESAR, F. I. G. ^{a,b}, MAKIYA, I. K. ^a

a. Faculdade de Ciências Aplicadas, UNICAMP, Limeira

b. Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia de São Paulo, IFSP, Piracicaba

**Corresponding author, jmarcelo.palma@gmail.com*

Resumo

O interesse pela sustentabilidade vem crescendo ao longo do tempo, e com isso as empresas ajustam suas estratégias para incluir iniciativas que permitam a operacionalização de ações não apenas para o ganho de produtividade como também com relação à sustentabilidade empresarial em seu aspecto ambiental, econômico e social. Estas iniciativas muitas vezes restringem-se a ações internas nas empresas, e, com isso, os resultados normalmente não englobam toda a cadeia de valor na qual a empresa está inserida. Diversas restrições ainda são impostas para que a sustentabilidade avance em todos os níveis, pois a sua busca por soluções necessita de esforços de integração e grandes alterações em produtos, processos e no comportamento das pessoas que operam em redes de alta complexidade. Com o avanço de novas tecnologias, principalmente aquelas provenientes da Indústria 4.0 (I.4.0), um alto nível de conectividade entre os processos favorece a ampliação de produtos customizados e outros elementos que sugerem profundas alterações nos ambientes organizacionais e na sociedade, contribuindo para o panorama de sustentabilidade. Neste cenário, este estudo pretende avaliar a relação entre a sustentabilidade e os princípios da Indústria 4.0, que podem impactar no avanço das estratégias dentro da cadeia de valor em que as empresas estão inseridas.

Palavras-chave: indústria 4.0, sustentabilidade, cadeia de valor, meio ambiente.

1. Introdução

Desde a revolução industrial, a produção tem sido uma das principais atividades econômicas da sociedade moderna; porém, ela tem carregado consigo um grande impacto ao meio ambiente em termos globais (Olivier et al., 1996). Muitas das emissões atmosféricas estão relacionadas à geração de energia. A atividade humana tem contribuído bastante para a sensibilização recente da sociedade sobre questões ambientais, as quais têm obtido destaque na mídia e na agenda de políticos e grupos ambientalistas em todo o planeta (Braga et al., 2005).

A Sustentabilidade se refere ao esforço de minimizar os impactos negativos nas relações ambiental, social e econômica, e se atém às questões de alteração do clima, poluição e utilização dos recursos sem restrições (Sarkis, 2001). A I.4.0 é a combinação de máquinas inteligentes, produção, processos e sistemas que formam uma rede sofisticada interconectada. Além disso, enfatiza a ideia da coerência,

“TEN YEARS WORKING TOGETHER FOR A SUSTAINABLE FUTURE”

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

digitalização e ligação de todas as unidades produtivas em uma economia, criando a virtualização do mundo real em um grande sistema de informação (Shafiq et al., 2015).

A I.4.0 vai impactar positivamente os três pilares do conceito de sustentabilidade (econômico, ambiental e social), também conhecidos como *Triple Bottom Line* (3BL ou TBL) (Seuring, 2008) (Lee; Kim, 2009; Nobre Filho et al., 2006). Segundo Mahler (2007), TBL são os valores centrais das empresas que promovem a prática sustentável; esses valores podem ser compreendidos conforme explicado a seguir. Desenvolvimento econômico: promoção de lucro, criação de empregos, atração de consumidores, redução de custos, antecipação e gerenciamento de risco e busca de competitividade ao longo do prazo; Responsabilidade ambiental: conservação de energia e recursos, consumo de energia renovável e menos poluente, reciclagem, minimização de embalagens e redução de emissão de carbono; Bem-estar social: criação de normas e condições de trabalho, melhoria da comunidade e desenvolvimento de responsabilidade social nos produtos e serviços.

Os três Ps, de pessoas (*People*), lucro (*Profit*) e planeta (*Planet*), sustentam o objetivo de manter viáveis as franquias sociais, ou seja, a confiança dos funcionários, clientes e comunidades, bem como as franquias econômicas, com a capacidade de pagamento dos fluxos de caixa que se gera para o capital e outros insumos usados para produzir as entregas (Kleindorfer et al., 2005). As empresas poderão aumentar sua lucratividade não apenas baseadas em ganhos de escala, como acontece hoje, mas em conhecer com mais profundidade seus consumidores, eliminando ineficiências no processo fabril e permitindo o uso de recursos naturais de forma otimizada. A geração de resíduos tende a diminuir e as empresas poderão desenvolver soluções mais robustas para seus produtos quando chegarem ao final da vida útil, com base na análise de dados do comportamento do consumidor. Quanto ao pilar social, Carbeck (2016) exemplifica a redução de mão de obra pela automação nos setores de Mineração e Industrial, em que muitos trabalhos repetitivos vêm sendo substituídos. Por outro lado, aumentará a demanda por profissionais qualificados, especialmente nas áreas ligadas a tecnologia – uma tendência crescente na I.4.0, cujos princípios requerem trabalho integrado com os participantes da cadeia de valor, operações e processos internos, estendendo-se por toda administração do produto e de seu ciclo de vida.

Desta forma, a proposta desta pesquisa objetiva avaliar como os princípios da I.4.0 podem auxiliar no avanço das estratégias de sustentabilidade dentro da cadeia de valor em que as empresas estão inseridas, a partir de uma revisão bibliográfica, com ênfase particular na implementação destes dois conceitos de forma simultânea, examinando a relação entre eles.

2. Referencial Teórico

2.1. Cenário evolutivo da sustentabilidade

Processos de produção estão cada vez mais espalhados ao redor do globo. Fornecedores, clientes e empresas são ligados por informações, material e por fluxos de capital. Alinhados com o valor do produto vêm os encargos sociais e ambientais incorridos durante várias fases da produção. Ligado a isso, empresas focadas em cadeias de suprimentos podem ser consideradas responsáveis no desempenho ambiental e social de seus fornecedores. Condições desumanas de trabalho ou contaminações do ambiente são frequentemente citadas como problemas, conforme Seuring (2008), o que há muito tem colocado o tema sustentabilidade em destaque e em discussão, na sociedade.

A confluência dos movimentos de gestão de competência central e gerenciamento de processos causaram muitas mudanças na década de 1990, incluindo a separação das cadeias de valor, terceirização e inovações na contratação e cadeias de suprimentos. As pessoas agora reconhecem a importância de alinhar estratégia e operações – uma noção defendida por Skinner (1969, 1996). A combinação desses fundamentos de gerenciamento de processos, tecnologia da informação e comunicação e da globalização, forneceu as fundações e as ferramentas para o gerenciamento atual.

A Gestão das Operações (*Operation Management* – OM) está cada vez mais conectada à sustentabilidade, e agora diz respeito a ambas vertentes operacionais, de rentabilidade e de sua relação com as pessoas e o planeta. Hart (2005) sugeriu que se poderia esperar uma lenta e relutante aceitação de “OM sustentável” – termo também utilizado por Kleindorfer et al. (2005).

WCED (1987) define então que “Desenvolvimento sustentável” é “um desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazer suas próprias necessidades”. Embora existam diversas compreensões de sustentabilidade, ter um conceito central ajudando a operacionalizá-la é a mesma abordagem do TBL, em que busca-se alcançar um desempenho mínimo nas dimensões ambientais, econômicas e sociais.

No futuro, os pesquisadores precisarão integrar as decisões sobre o ciclo de vida dos produtos. De fato, para produtos de baixa margem de lucro e ciclo de vida curto, será necessário integrar cuidadosamente “a frente e o verso” da cadeia de suprimentos e maximizar o potencial de recuperação de produtos ao longo de todo o ciclo de vida. A OM sustentável deve ajudar as empresas a se tornarem ágeis, adaptáveis e alinhadas em balancear o planeta e as relações humanas com a rentabilidade (Kleindorfer et al., 2005).

2.2. Indústria 4.0 (I.4.0)

O termo “revolução industrial” refere-se à alteração de sistemas tecnológicos, econômicos e sociais na indústria, especialmente às circunstâncias de trabalho, às mudanças das condições de vida da sociedade e na forma de distribuição da riqueza econômica (Dombrowski; Wagner, 2014).

A primeira Revolução Industrial ocorreu em 1784, com o primeiro tear mecânico. Destaca-se a introdução da energia hidráulica e a vapor. A segunda, em 1870, com a criação da linha de produção, nos abatedouros de Cincinnati: trabalho de produção em massa, com uso de energia elétrica. A terceira, em 1969: surge o primeiro Controlador Lógico Programável (CLP), com a aplicação de Sistemas Eletrônicos e Tecnologia da Informação em conjunto com a Automação da Manufatura. A 4^a Revolução Industrial, acontecendo nos dias atuais, baseia-se nos Sistemas Ciber-Físicos (CPS) (Kagermann et al., 2013).

Voltada originalmente para o setor industrial, a I.4.0 está em diversos setores da economia para integrar e assimilar conceitos como: Internet das Coisas (*Internet of Things – IoT*), Internet dos Serviços (*Internet of Services – IoS*), Internet dos Dados (*Internet of Data – IoD*), Sistemas de Produção Ciber-Físicos (*Cyber Physical Systems – CPS*), Produtos Inteligentes etc. (Shafiq et al., 2015).

2.3. Princípios da I.4.0

Os princípios de desenvolvimento da I.4.0, apresentados por Hermann et al. (2015), são: 1. Interoperabilidade – que é a capacidade de um sistema se comunicar de forma transparente com outro sistema, semelhante ou não; 2. Virtualização – é a capacidade de um sistema monitorar processos físicos de forma virtual; 3. Descentralização – é a capacidade de um sistema de tomar decisões próprias, através de computadores embarcados conversando com o sistema CPS; 4. Operação ou Trabalho em Tempo Real – é o rastreamento e análise contínua da operação, reagindo rapidamente contra algum desvio; 5. Orientação a Serviços – é a disponibilidade dos serviços da empresa também para outros participantes do processo, interna e externamente, através da IoS (Internet, Tecnologia de produção, Personalização etc.); e 6. Sistema Modular – significa flexibilidade em se adaptar às mudanças de requisitos, substituindo ou expandindo módulos individuais, facilmente adaptados em casos de flutuações sazonais ou mudança de características do produto, baseados em interfaces padronizadas de software e hardware.

2.4. Cadeia de Valor

A cadeia de valor retrata o conjunto de atividades desempenhadas por uma organização desde os vínculos com os fornecedores, ciclos de produção e de venda até a fase da distribuição final. Ao decompor uma organização nas suas atividades de importância estratégica, torna-se realizável analisar o comportamento dos custos e as fontes existentes assim como potenciais de diferenciação em cada processo de negócio, otimizando o valor final que o seu produto representa para o cliente. O cuidado com os custos e qualidade agregam valor ao produto e proporcionam vantagem competitiva à organização no contexto em que ela se insere. Na “cadeia de valor” existem atividades que trabalham juntas para fornecer valor aos clientes, constituindo um sistema integrado de fornecedores e distribuidores (Porter, 1989).

3. Métodos

A metodologia utilizada neste artigo foi uma pesquisa bibliográfica exploratória, qualitativa, com a construção de um quadro analítico comparativo referente aos impactos que os princípios da I.4.0 estão proporcionando no tema sustentabilidade, que tem sido uma preocupação e discussão mundial, principalmente ligada ao mundo corporativo e suas técnicas e ferramentas de desenvolvimento.

Optou-se pela pesquisa bibliográfica exploratória porque avança sobre um ambiente ainda pouco conhecido, em fase embrionária de implementação; portanto, procurou-se mapear os impactos da I.4.0 utilizando-se de literatura disponível nas bases de dados, como Emerald, Web of Science e Science Direct.

4. Relações entre a I.4.0 e a Sustentabilidade

No Quadro 1 mostra-se a visão de alguns autores da I.4.0 com relação a sustentabilidade. Nos exemplos apresentados são abordados os aspectos sociais, econômicos e ambientais.

Quadro 1 – Principais autores e suas alegações a respeito dos impactos da I.4.0 na sustentabilidade na cadeia de valor

Tópico	Exemplos de Impacto da I.4.0 na sustentabilidade, observados pelos autores	Observação
(a)	Aumento médio de eficiência dos recursos de 3,3 % a.a. em todos os setores da Indústria (PWC, 2015)	Eficiência na utilização de recursos
(b)	A produção de peças sobressalentes, usando impressão 3D, reduz as práticas logísticas e o impacto ambiental através da economia de energia e dos combustíveis utilizados para o transporte e distribuição das peças e economia de material (Gerlitz, 2015)	Economia de combustíveis e recursos em geral
(c)	O desempenho da eficiência social é sustentado pela geração e exploração de serviços, tais como: digitalização e inovação aberta em casos de integração de design em processos de desenvolvimento (Gerlitz, 2015)	Desempenho da eficiência e igualdade social, trabalho etc.
(d)	O design como ferramenta e processo pode agilizar o desempenho das cadeias de fornecimento e de valor, reduzir as interações logísticas e tornar as atividades adicionais redundantes, com implicações positivas para o ambiente, garantindo ao mesmo tempo a eficiência social e ambiental de uma empresa (Gerlitz, 2015)	Interação logística e eficiência social e ambiental
(e)	A I.4.0 irá direcionar e resolver alguns desafios mundiais atuais, tais como, recursos e eficiência energética, produção urbana e mudança demográfica (Kagermann et al, 2013)	Recursos e eficiência energética, produção urbana e mudança no hábito da população, tais como menos lixo e mais reciclagem
(f)	A I.4.0 permite que o trabalho seja organizado de tal forma que considere as mudanças demográficas e fatores sociais. Sistemas de assistência inteligentes da I.4.0 liberarão os trabalhadores de executarem tarefas rotineiras, permitindo-os focar em atividades criativas e de valor agregado (Kagermann et al, 2013)	Emprego e qualidade do trabalho

O Quadro 2 apresenta a correlação entre os princípios da I.4.0 e os impactos na sustentabilidade descritos pelos autores, conforme os tópicos da Quadro 1. Impacto Positivo (+) indica que o princípio favorece a Sustentabilidade (TBL); Impacto Negativo (-) indica que o princípio não colabora na obtenção do desenvolvimento sustentável.

Quadro 2 – Correlação entre os princípios da I.4.0 e os impactos na sustentabilidade da cadeia de valor empresarial (Quadro 1).

Princípios da I.4.0	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Interoperabilidade	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
Modularidade	(+)	(+)	(-)	(+)	(+)	(-)
Operação em Tempo Real	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
Descentralização	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)
Orientação a Serviços	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
Virtualização	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)

5. Discussão

5.1. Interoperabilidade

O uso mais racional de matéria prima e energia será possível uma vez que *softwares* específicos estarão se comunicando entre si, auxiliando o cliente a definir o seu produto de forma mais inteligente e funcional, evitando desperdícios de remanufatura. Os processos da cadeia de valor estarão conversando entre si a todo o momento e tomando decisões para execução das atividades, ou correções imediatas em caso de alteração das necessidades do cliente, não se limitando apenas aos processos de manufatura. Essas interconexões minimizarão ao máximo o uso incorreto de materiais, o desperdício, os rejeitos de produtos e aumentará o uso eficiente de energia.

As novas abordagens de concepção integrada combinadas com as principais tecnologias criadoras de inovação têm um impacto positivo do ponto de vista logístico e produtivo, otimizando todo o processo.

No ambiente de manufatura, CPS compreende máquinas inteligentes, sistemas inteligentes de armazenagem e instalações capazes de trocarem informações autonomamente, iniciando ações e controlando uma a outra independentemente. Os sistemas de manufatura embarcados são conectados verticalmente com processos de negócios dentro das empresas, e horizontalmente, com a cadeia de valor, através da conexão entre *softwares* e programas.

5.2. Modularidade

Pelo princípio de Modularidade, máquinas se auto-adequarão para as variáveis e alterações necessárias, facilitando melhorias fundamentais para os processos industriais envolvidos na manufatura, engenharia, no uso de material e na cadeia de suprimentos, e no gerenciamento do ciclo de vida, trazendo mais inteligência. Portanto, isso também traz economia no uso de recursos e na melhoria da eficiência energética, permitindo, por exemplo, a adoção de rotas alternativas e a capacidade de responder com flexibilidade em casos de interrupções e falhas de fornecedores.

5.3. Operação em Tempo Real

Os processos da cadeia de valor estarão conversando entre si a todo o momento e tomando decisões para execução das atividades, ou correções imediatas em caso de alteração das necessidades do cliente, não se limitando apenas aos processos de manufatura.

No processo de manufatura, máquinas inteligentes com *softwares* específicos se adequarão automaticamente ao processo e nas tomadas de decisões pela CPS às necessidades produtivas, monitorando a qualidade do produto e tomando decisões em cada momento de necessidade. Essa interconexão então minimizará o uso incorreto de materiais, o desperdício, os rejeitos de materiais e aumentará o uso eficiente de energia.

5.4. Descentralização

Os processos da cadeia de valor estarão tomando decisões para execução das atividades, ou fazendo correções imediatas em caso de alteração das necessidades do cliente, não se limitando apenas aos processos de manufatura. Produtos inteligentes são personalizados, podem ser localizados a todo tempo e, através na análise da situação atual, podem decidir por rotas alternativas para atingir seus objetivos.

Na I.4.0 negócios dinâmicos e processos de engenharia permitem mudanças no último instante na produção e possuem a capacidade de responder com flexibilidade para interrupções e falhas de fornecedores, por exemplo permitindo a auto-adequação e tomadas de decisões autônomas.

5.5. Orientação a Serviços

O cliente pode definir o seu produto de forma mais inteligente e funcional através do uso de *softwares* de simulação e identificar melhor suas necessidades e redefinições, evitando desperdícios de remanufatura. Os membros da cadeia de valor podem atuar e monitorar os clientes e usuários finais nas definições dos projetos, na manufatura e no estágio final, acompanhando o desempenho dos produtos para se adaptar às necessidades individuais.

Fábricas inteligentes permitem que requisitos do cliente final sejam atendidos, indicando que mesmo itens pontuais podem ser manufaturados de forma rentável. Com a dinâmica empresarial, processos de fabricação podem ser alterados a qualquer tempo, permitindo que o cliente faça a alteração no momento adequado, antes da produção final.

5.6. Virtualização

Auxilia o cliente a definir o seu produto de forma mais inteligente e funcional e a identificar melhor suas necessidades e redefinições, através do uso de *softwares* de simulação, por exemplo em programas de projetos com impressora 3D.

Tendo em conta o indicador da eficiência social, o desempenho pode ser sustentado através de observações de casos referentes à geração e exploração de serviços. Isto é particularmente crucial no contexto da digitalização e da inovação aberta proposta pela I.4.0. A produção e a movimentação autônoma permitirão que funcionários possam atuar cada vez mais sem necessidade de deslocamentos, muitas vezes atuando em múltiplas operações, atuando a partir de uma única planta específica da corporação, ou até mesmo da própria residência. O profissional poderá participar de reuniões com outros envolvidos, do mundo todo, utilizando óculos de realidade virtual que os conduzirão a salas virtuais de reunião.

6. Considerações Finais

A primeira etapa desta pesquisa foi o desenvolvimento de um referencial teórico resultando em um quadro (Quadro 1) que relaciona os principais autores e suas alegações a respeito dos impactos da I.4.0 na sustentabilidade na cadeia de valor. Este desenvolvimento foi relevante pela falta de abordagem deste objeto de estudo na literatura contemporânea, sendo um tema de fronteira ainda pouco explorado. Isto pode ser observado pela pesquisa realizada envolvendo um universo de 140 artigos científicos contemporâneos, no período de 2008 a 2016, referentes à palavra-chave "*Industry 4.0*", nas diferentes bases de dados; foram selecionados 35 com o cruzamento dos termos "*sustainability of value chain*", "*sustainable*" e "*environment*". Desta análise, 3 artigos apresentaram maior aderência e consistência com a proposta.

Na segunda etapa foi elaborado um quadro analítico comparativo (Quadro 2) entre os princípios da I.4.0 e os impactos na sustentabilidade da cadeia de valor empresarial. Através desta análise foi possível observar que os princípios que cobriram plenamente os tópicos de sustentabilidade abordados pelos autores analisados nesta pesquisa foram: Interoperabilidade, Operação em Tempo Real, Orientação a Serviços e Virtualização – uma vez que aumentam a eficiência, a auto-adequação e a comunicação entre sistemas (pilar econômico), otimizam os recursos (pilar ambiental) e reorganizam a

força de trabalho (pilar social).

Os princípios que ainda apresentam desafios são Modularidade e Descentralização. Devido ao aumento do nível de automação e autorregulação dos processos de forma autônoma (tomada de decisões), num primeiro momento estes tornam-se ameaças aos postos de trabalho que de forma geral ainda dependem da intervenção humana (pilar social). Estes desafios apresentam maior vulnerabilidade em relação à sustentabilidade e, portanto, devem ser objeto de novos estudos.

Neste estudo observou-se que, apesar de haver algumas preocupações e necessidade de calcular o balanço energético, de forma geral há entendimento de que a I.4.0 trará benefícios que ampliarão as condições de sustentabilidade em toda cadeia de valor.

Referências

Braga, B., Hespanhol, I., Conejo, J. G. L., Mierzwa, J. C., Barros, M. T. L., Spencer, M., Porto, M., Nucci, N., Juliano, N., Eiger, S., 2005. Introdução à Engenharia Ambiental: O desafio do desenvolvimento sustentável. Pearson Prentice Hall, São Paulo.

Carbeck, J., 2016. Revista Valor Econômico 28/09/2016, Conferência Ethos 2016.

Dombrowski, U., Wagner, T., 2014. Mental strain as field of action in the 4th industrial revolution. In: Variety Management in Manufacturing. Proceedings of the 47th CIRP Conference on Manufacturing Systems. Procedia CIRP 17, 100-105.

Gerlitz, L., 2015. Design for product and service innovation in industry 4.0 and emerging smart society. Journal of Security and Sustainability Issues 5(2), 181-198.

Hart, S., 2005. Capitalism at the crossroads. Wharton School Publishing Co., Philadelphia, Pennsylvania.

Hermann, M., Pentek, T., Otto, B., 2015. Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review. Technische Universität Dortmund: working paper 01/2015.

Kagermann, H., Wahlster, W., Helbig, J., 2013. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0 – ACATECH.

Kleindorfer, P. R., Singhal, K., Wassenhove, L. N. V., 2005. Sustainable Operations Management. Production and Operations Management. 14 (4), 482-492.

Lee, K.; Kim, J., 2009. Current status of CSR in the realm of supply management: the case of the Korean electronics industry. Supply Chain Management: An International Journal. 14 (2), 138-148.

Mahler, D., 2007. The Sustainable Supply Chain. Supply Chain Management Review. November 2007, 59-60.

Nobre Filho, W.; Simantob, M.; Barbieri, J., 2006. Em busca da sustentabilidade sócio-ambiental: O caso Copesul. Anais SIMPOI FGV-EAESP: IX SIMPOI Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais.

Olivier, J. G. J., Bouwman, A. F., Van Der Maas, C. W. M., Berdowski, J. J. M., Veldt, C., Bloos, J. P. J., Witschedijk, A. J. H., Zandveld, P. Y. J., Haverlag, J. L., 1996. Description of EDGAR Version 2.0: A set of global emission inventories of greenhouse gases and ozone-depleting substances for all anthropogenic and most natural sources on a per country base and on 1 degree x 1 degree grid. National Institute for Public Health and the Environment (RIVM).

Porter, M., 1989. Vantagem competitiva: criando e sustentando um desempenho superior, 15. Campus, Rio de Janeiro.

PWC – Pricewaterhouse Coopers, 2015. Industry 4.0: Opportunities and challenges of the industrial internet by Volkmar Koch, Simon Kuge, Dr. Reinhard Geissbauer, Stefan Schrauf Published.

Sarkis, R., 2001. Manufacturing's role in corporate environmental sustainability: Concerns for the new millennium. *International Journal of Operations & Production Management*. 21 (5/6), 666-686.

Seuring, S., Müller, M., 2008. From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. *Journal of Cleaner Production*. 16, 1699-1710.

Shafiq, S. I., Sanin, C., Szczerbicki, E., Toro, C., 2015. Virtual Engineering Object / Virtual Engineering Process: A specialized form of Cyber Physical System for Industrie 4.0. *Proceedings of the 19th International Conference on Knowledge Based and Intelligent Information and Engineering Systems*. *Procedia Computer Science*. 60, 1146–1155.

Skinner, W., 1969. Manufacturing-missing link in corporate strategy. *Harvard Business Review*. 47 (3), 136–45.

Skinner, W. S., 1996. Manufacturing strategy on the "S" curve. *Production and Operations Management*. 5 (1), 3–14.

WCED – World Commission on Environment and Development, 1987. *Our Common Future*. Oxford University Press, New York.