

# tecno metal

INOVAÇÃO NAS EMPRESAS DE  
METALURGIA E METALOMECÂNICA

Bimestral Julho|Agosto 2014 7,50€

**Ambiente, consumo e design do produto:  
a durabilidade dos clássicos do design  
como fonte de inspiração**

**O que é a compreensão logística?**

**TecnoMetal entrevista  
Miguel Frasquilho,  
Presidente da AICEP**



## Multi-Layer Stream Mapping

### Ferramenta para a gestão da eficiência de recursos e produtividade de sistemas de produção

Abordagem desenvolvida no âmbito do Projeto Mobilizador PRODUTECH PSI – PPS5.1 e PPS5.3

O presente artigo insere-se no contexto da divulgação de atividades e resultados dos projetos mobilizadores PRODUTECH PSI<sup>(1)</sup> e PRODUTECH PTI<sup>(2)</sup>, os quais integram o projeto âncora “Investigação, Desenvolvimento e Demonstração” do Polo de Tecnologias de Produção e são apoiados pelo Sistema de Incentivos à Investigação e Desenvolvimento Tecnológico do QREN – Quadro de Referência Estratégico Nacional e do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional da União Europeia.

#### Enquadramento

O Projeto PRODUTECH PSI – Novos Produtos e Serviços para a Indústria Transformadora visou, através do sub-projeto Eficiência Energética e Ambiental dos Sistemas de Produção, a melhoria da eficiência dos processos produtivos. Face às necessidades atuais e tendências cada vez mais importantes nas áreas da gestão de recursos materiais e de energia torna-se fundamental encontrar métodos suficientemente robustos, porém simplificados na sua aplicação e abrangência de aplicabilidade multi-setorial.

Nesse sentido, as metodologias associadas ou desenvolvidas sobre os princípios da produção *Lean*, os quais tiveram origem na indústria automóvel no séc. XX, tiveram uma taxa de aplicação exponencial nas últimas duas décadas. Porém, a introdução das metodologias e ferramentas *Lean* continuam a levantar dificuldades de implementação já que, por vezes, em muitas empresas ou organizações, é complexo embeber e sustentar os ganhos obtidos com a aplicação dos conceitos e ferramentas focadas para o aumento de eficiência, nomeadamente pela sua dificuldade interpretativa ou perceção do seu valor para a organização.

Texto: António Baptista, Emanuel Lourenço, João Paulo Pereira, Ricardo Barbosa, Octávio Cunha  
[INEGI – Instituto de Engenharia Mecânica e de Gestão Industrial]

(<sup>1</sup>) O Projeto Mobilizador PRODUTECH PSI – Novos Produtos e Serviços para a Indústria Transformadora, reunindo um consórcio de 40 parceiros (24 empresas e 16 Entidades do Sistema Científico e Tecnológico Nacional), tem como objetivo o desenvolvimento de novos produtos e serviços, integrando soluções inovadoras e tecnologicamente avançadas, que serão comercializados no futuro por empresas da fileira das Tecnologias de Produção, contribuindo assim para o diferenciação e competitividade da Indústria Nacional.

(<sup>2</sup>) O Projeto Mobilizador PRODUTECH PTI – Novos Processos e Tecnologias Inovadoras para a Fileira das Tecnologias de Produção, reunindo um consórcio de 19 parceiros (8 empresas e 11 Entidades do Sistema Científico e Tecnológico Nacional), tem como objetivo o desenvolvimento de novas tecnologias, processos e modelos de negócio inovadores para a fileira das Tecnologias de Produção, contribuindo para o lançamento de bases de sustentabilidade e competitividade das empresas pertencentes a esta indústria.

A metodologia *Multi-Layer Stream Mapping* – MSM® surgiu como resultado adicional do Projeto PRODUTECH PSI - Novos Produtos e Serviços para a Indústria Transformadora, e subprojecto PPS5, Eficiência Energética e Ambiental dos Sistemas de Produção, e visa a avaliação agregada da eficiência de um sistema de produção, aferindo simultaneamente a produtividade e a eficiência de utilização de recursos (como energia, matérias-primas, área produtiva, consumíveis diversos, tratamento de resíduos, etc.), permitindo igualmente uma avaliação facilitada entre os custos produtivos úteis e desperdiçados.

A metodologia foi estruturada para ser facilmente apreendida por todos os níveis das organizações, encerrando nomenclatura e gestão visual simplificadas, para favorecer a sua vasta aplicabilidade e menor período de amortização do investimento na aplicação de melhorias aos processos produtivos.

## SUMÁRIO

Assiste-se atualmente a uma forte pressão do lado da escassez de matérias-primas ou recursos (e consequentes custos base acrescidos), o que determina atuar não só sobre o aumento de produtividade dos sistemas de produção, mas também, e de modo integrado, sobre a eficiência de gestão de recursos (desde as matérias-primas, energia, etc.).

A metodologia designada por MSM® – *Multi-Layer Stream Mapping* visa a avaliação agregada da eficiência de um sistema de produção, aferindo simultaneamente a produtividade e a eficiente utilização de recursos (como energia, matérias-primas, área produtiva, consumíveis diversos, tratamento de resíduos, etc.) e os custos. O MSM® contém uma relação intrínseca à ferramenta *Lean VSM* – *Value Stream Mapping*, todavia introduz inovações disruptivas no que concerne à sua aplicabilidade, uma vez que visa uma análise de menor complexidade para a avaliação do binómio – valor acrescentado versus desperdício – de um dado processo. Esta nova abordagem metodológica inclui elementos simples de gestão visual para distinguir, de forma fácil e expedita as variáveis e os processos mais eficientes dos menos eficientes.

Este artigo descreve a metodologia MSM®, que tem como base inspiradora a ferramenta *Lean VSM* e propõe-se demonstrar a adequação do MSM® para avaliar o desempenho e eficiência global de sistemas de produção, de forma rápida e flexível, através da apresentação de um caso de estudo real (fileira da metalomecânica) da aplicação do *Multi-Layer Stream Mapping*, levado a cabo no decorrer do projeto PRODUTECH PSI-PPS5. Serão apresentados e discutidos os resultados alcançados com a aplicação da nova ferramenta.

O MSM® – *Multi-Layer Stream Mapping* foi desenvolvida no INEGI e idealizada no âmbito do projeto PRODUTECH PSI, PPS5.1 e PPS5.3, prestando o seu contributo técnico-científico a estas atividades. Esta abordagem irá dar origem, no futuro próximo, a novos módulos comerciais de software para a gestão da eficiência produtiva e de melhoria contínua pela empresa Microprocessador, S.A.

## 1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas foram conseguidos progressos notáveis em termos de ganhos de produtividade, quer com a introdução de tecnologias avançadas de produção, quer com a gestão otimizada do trabalho, de máquinas, de matérias-primas ou de produtos semiacabados. Nestes últimos aspetos, as metodologias associadas aos princípios da produção *Lean* tiveram um papel muito relevante, pois permitiram integrar nas empresas estratégias operacionais de organização do trabalho voltadas para o valor acrescentado dos seus produtos/processos, identificando e reduzindo desperdícios/custos e inculcando na organização uma cultura de melhoria contínua.

Atualmente, além de existirem preocupações acrescidas no estudo das estratégias mais adequadas para a aplicação de metodologias *Lean* capazes de garantirem mais sustentabilidade das empresas, existe também uma preocupação cada vez mais importante para com a escassez e custos das matérias primas e recursos, ou seja, com a eficiência de gestão de recursos e, em particular, com a eficiência energética.

O *Value Stream Mapping*, ou mapeamento da cadeia de valor, surge neste contexto uma vez que é uma ferra-

menta *Lean* que analisa o percurso de um produto ou serviço desde que é efetuada a encomenda até ao momento em que é entregue ao cliente final [1]. Esta análise proporciona uma análise abrangente de todos os processos envolvidos, quebrando assim as barreiras impostas por cada um dos segmentos ou processos unitários que compõe a cadeia de valor. Salienta-se que um dos objetivos principais do VSM consiste em determinar e distinguir claramente o tempo produtivo e não-produtivo de um produto ou serviço. Entenda-se como “tempo produtivo”, o tempo estritamente necessário para o processo (tempo necessário para acrescentar valor), e como tempo “não-produtivo” o tempo gasto em transportes e esperas (tempo em que não é acrescentado valor ao produto). Além do tempo produtivo e não-produtivo dos processos/serviços, o VSM contempla os fluxos de materiais e os fluxos de informação inerentes aos sistemas de produção.

Importa frisar que atualmente existem vários métodos, ferramentas e abordagens de apoio à decisão que visam manter ou aumentar a produção e, ao mesmo tempo, reduzir os custos, o consumo de matérias-primas, o consumo de energia, a quantidade de efluentes emitidos, resíduos gerados, etc (por exemplo os estudos de Paju et.al [2] e de Li et.al [3]). No entanto, as metodologias utilizadas atualmente apresentam algumas limitações relacionadas com: i) contabilização de custos, ii) a avaliação da eficiência dos processos unitários e iii) a aplicabilidade direta nas metodologias.

Alternativamente, o MSM<sup>®</sup> é diretamente aplicável a qualquer sistema de produção ou sequência de processo. Esta abordagem inovadora simplifica a interpretação dos resultados de eficiência do sistema de produção e dos respetivos processos unitários, uma vez que combina os resultados dos fluxos de valor com atributos de gestão visual. Esta

necessidade surge uma vez que as ferramentas e metodologias de avaliação de desempenho dos sistemas de produção nem sempre são diretamente aplicáveis a qualquer sistema de produção e, muitas vezes, as análises são feitas de forma isolada.

Os resultados de desempenho gerados pelo MSM<sup>®</sup> são apresentados através de *dashboards*, uma vez que o objetivo principal de um *dashboard* é exibir toda a informação necessária num único ecrã/*layout* de forma clara [4]. O uso combinado de vários fluxos de valor surge com o intuito de permitir “ver além” do desempenho global de um sistema de produção de forma simples e permite identificar assim como quantificar as situações de ineficiência nos diferentes processos unitários.

O MSM<sup>®</sup> tem como objetivo principal o mapeamento, em termos da sua eficiência, de um dado sistema, que pode ser materializado sob a forma de um processo de produção, mas também de processos de serviços. Pretende-se que seja uma ferramenta não só de mapeamento analítico, mas também de apoio à decisão em termos de gestão operacional (em contínuo), quando implementado sob a forma de um software que permita mais agilidade na alimentação dos dados e processamento dos resultados.

A abordagem MSM<sup>®</sup> pode ser muito importante e prática para:

- ↳ Apoio à decisão da gestão de topo;
- ↳ Definir os KPI (*Key Performance Indicators*) mais críticos;
- ↳ Identificar ineficiências de uma dada produção ou sistema produtivo;
- ↳ Definir as prioridades de atuação para aumento de eficiência;
- ↳ Aferir a eficiência da utilização de recursos;
- ↳ Aferir a eficiência dos processos unitários e a eficiência global de um sistema de produção;
- ↳ Avaliar facilmente os ganhos obtidos pela adoção de ações de melhoria, quer na aferição de ganhos de eficiência, quer nos ganhos em termos de redução de custos.

## 2. FUNDAMENTOS DO MULTI-LAYER STREAM MAPPING

Tal como na abordagem do VSM, o MSM<sup>®</sup> também começa a partir da designada “curva de banheira” do VSM, com os segmentos de reta associados à “componente de valor” ou a “componente de não-valor”, com a mesma lógica de avaliar certos tipos de desperdícios e ineficiências na cadeia de valor [5, 6]. A grande semelhança face ao VSM, além da descrição e mapeamento das operações que constituem a cadeia produtiva, é o facto de se distinguir constantemente em cada etapa do processo, “o que acrescenta valor”, “ou não acrescenta valor”, ao produto ou serviço em questão. Como o princípio base do MSM<sup>®</sup> corresponde a um dos fundamentos base da filosofia *Lean* (definição clara entre valor e desperdício) e a metodologia está pensada para induzir consistentemente a melhoria contínua (busca da máxima eficiência, isto

é, 100%), o MSM® deve ser considerado como uma nova abordagem e ferramenta *Lean*, possuindo um espectro de atuação bastante abrangente e flexível como posteriormente se descreverá.

Segundo Rother e Shook [1], um fluxo de valor consiste no levantamento de todas as ações (ações que agregam valor e ações que não agregam valor) que são necessárias para encaminhar um produto ou grupo de produtos através dos principais fluxos de produção, começando com a matéria-prima e terminando com o cliente [5, 7]. Para mapear um Fluxo de Valor, a primeira etapa passa por escolher uma família de produtos, a meta de melhoria e, em seguida, mapear seu estado atual. Por outras palavras, consiste em capturar o estado atual [5, 7, 8]. Em suma o objetivo principal do VSM é identificar todos os tipos de desperdício, para que sejam implementadas medidas adequadas para as eliminar [6, 7].

Kuhlang e Edtmayr [6] estudaram a aplicação e utilização de um VSM estendido, com o intuito de reduzir os tempos de espera. Esta abordagem considera, para além do tempo, a área ocupada por cada máquina ou elemento industrial. Note-se que não considera: *i)* a eficiência do sistema de produção, *ii)* os indicadores relacionados com o consumo de materiais e energia, *iii)* nem os custos inerentes aos consumos.

Ao contrário do habitual no VSM, que apenas mapeia o tempo dos processos e ações que agregam e não agregam valor, a ideia inovadora do MSM® consiste em avaliar o desempenho geral em termos de eficiência, utilizando uma curva da banheira para cada KPI associado a uma dada variável, o que conseqüentemente gera o “*Multi-Layer Stream Mapping*”, o que permite avaliar a eficiência global do sistema de produção e eficiência de cada um dos diferentes processos unitários. Conseqüentemente, a metodologia MSM® permite a geração de “mapas de eficiência” dos fluxos de valor, para quantificar em detalhe não só o tempo gasto, mas também, por exemplo, o consumo de recursos materiais, consumo de energia; emissões e resíduos gerados, integração dos custos para de todos os processos unitários inerentes ao sistema de produção em estudo, etc.

Os rácios e os KPIs podem ser facilmente definidos em termos de: consumo de energia e recursos; resíduos gerados e os custos de cada processo unitário. Desta forma é possível calcular a eficiência de utilização dos vários recursos o que facilita a identificação de ações de melhoria que são necessárias ou que podem ser implementadas.

A metodologia é baseada na quantificação sistemática de rácios de variáveis que caracterizam o sistema produtivo, como o quociente da porção de variável que acrescenta valor ao produto, sobre o total da variável que entra no processo unitário. É assim possível agregar a eficiência ao longo de linhas produtivas (constituídas múltiplas máquinas), setores, ou mesmo unidades fabris.

A etapa de mapeamento de um dado sistema é constituída por diversos indicadores para cada uma das variáveis relevantes para o processo em avaliação. Os indicadores (KPI) são todos representados por rácios de eficiência (rendimento), balizados sempre entre 0 e 100%, e são combinados, de modo sistemático, para se poder obter um valor global agregado de eficiência do sistema.

## 2.1 Descrição Genérica do *Multi-Layer Stream Mapping*

A aplicação matemática da metodologia MSM® assemelha-se visualmente a uma matriz ( $n \times m$ ), em que “*n*” corresponde ao número de KPI/variáveis avaliados no sistema em análise e “*m*” ao número de etapas do sistema/processos unitários para o serviço ou produção.

A sua utilização não requer um procedimento científico complexo. Consiste, pelo contrário, numa ferramenta em que os seus criadores pretenderam objetivamente que fosse de entendimento simples, para aumentar a sua aplicabilidade, sendo facilmente compreendida por utilizadores com menor formação académica/profissional.

O método de aplicação é descrito nas seguintes etapas:

1. Identificação das fronteiras e etapas do sistema a estudar e elaboração de *brainstorming* na equipa de implementação (operadores, gestor do processo, e facilitador MSM®) para identificar e definir quais as variáveis e indicadores relevantes a avaliar;
2. Definição dos tipos de KPI a utilizar como indicadores anteriormente identificados (sempre balizados entre 0 e 100%);
3. Definir qual o melhor método de agregação dos KPI para o cálculo da eficiência agregada (média aritmética, produto, média geométrica);
4. Análise dos resultados, com identificação das variáveis/etapas mais ineficientes, priorização e estudo de ações de melhoria;
5. Implementação das ações de melhoria e aferir dos ganhos obtidos em termos de eficiência e redução de custos.

A Figura 1 representa o esquema analítico da metodologia MSM®, constituída por linhas (variáveis e respetivos KPI) e colunas (processos uni-

tários, etapas ou fases), ou seja uma matriz (n×m). Para cada um dos KPI, em cada processo unitário, deve-se definir a fração que agrega valor, e a fração que não-agrega valor, obtendo-se desta forma a eficiência (%) da respetiva variável, nomeadamente através do rácio entre a fração útil sobre o total da variável. Note-se que para além da eficiência de cada variável (“stream” ou linha) esta deve ser definida com o rácio do total que acrescenta valor sobre o total que é colocado no sistema para essa variável. Também é possível determinar a eficiência agregada de cada processo unitário. Este valor é determinado pela ponderação (média

aritmética por exemplo) da eficiência das variáveis que regem cada processo unitário (P1, P2, P3 e P<sub>N</sub> da Figura 2). Na linha da eficiência dos processos unitários também se indica o número de operários afetos a cada processo.

É de salientar que todos os valores resultantes da aplicação do MSM<sup>®</sup> são apresentados de forma adimensional, assim como se devem encontrar balizados entre 0 e 100%. Portanto é possível proceder-se à agregação dos valores tanto em linha, eficiência agregada para uma variável ao longo do processo, como em coluna, eficiência agregada de todas as variáveis para um dado processo unitário.

Determinados todos os valores de eficiência unitária (para cada par variável/processo unitário, nos casos em que é aplicável o cálculo do rácio) é então possível conhecer-se a eficiência agregada do sistema de produção. Este indicador pode ser por exemplo determinado pela média da eficiência de todos os processos unitários. No entanto, consoante o caso de estudo, pode ser aplicada uma outra

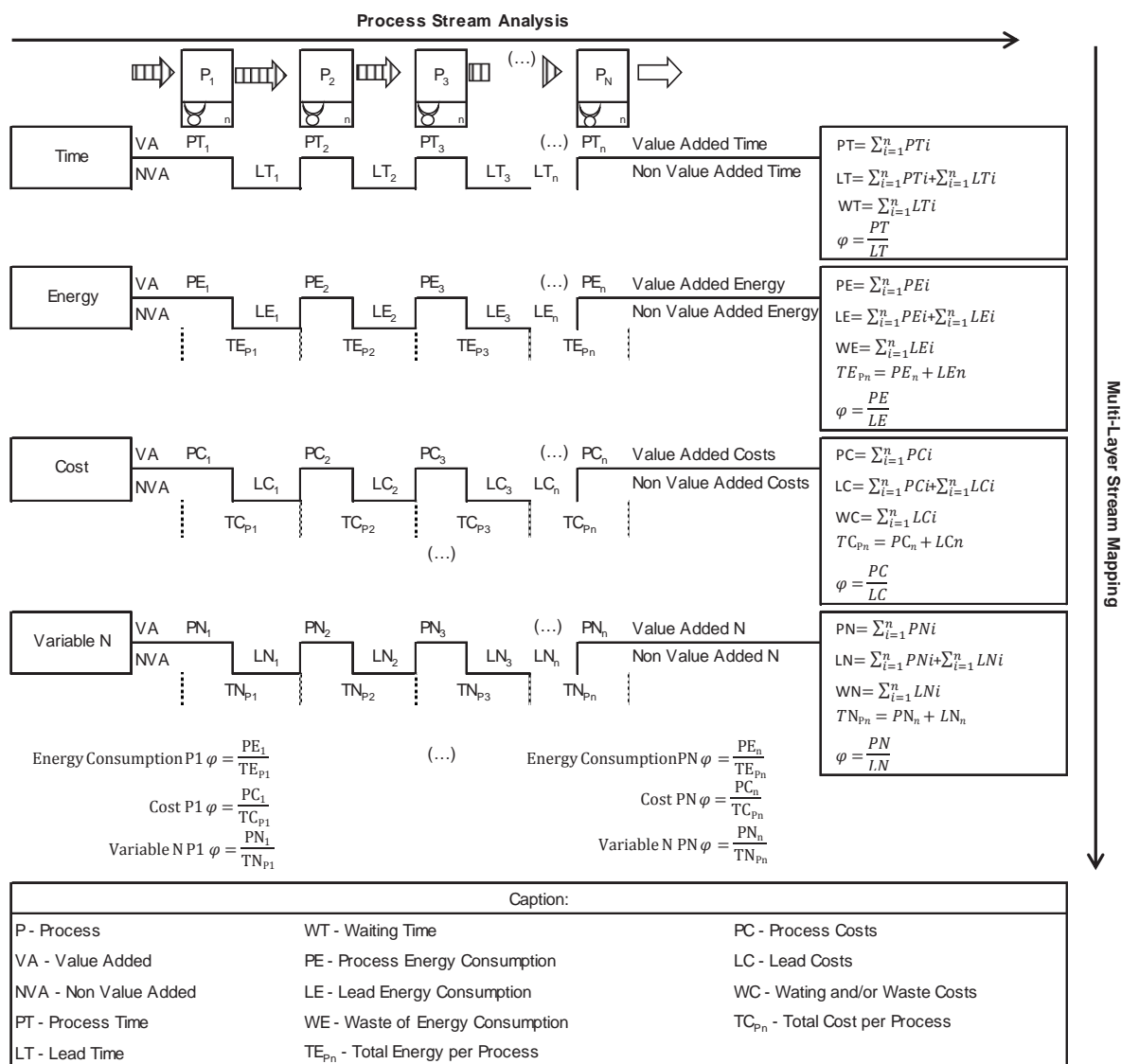


Figura 1 – Representação esquemática da metodologia MSM<sup>®</sup> (adaptado de [9])

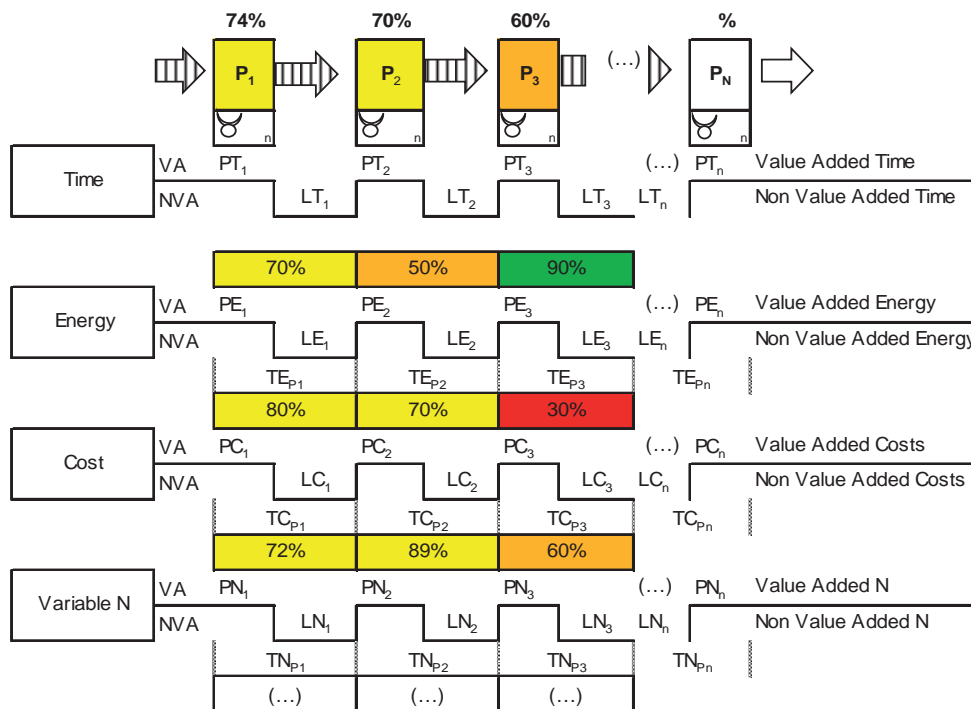


Figura 2 – Exemplo da eficiência dos processos unitários (adaptado de [9])

forma de agregação e mesmo adotando numa segunda fase de tratamento estatístico a ponderação diferenciada das variáveis ou etapas. Refira-se, contudo, na importância de se calcular em primeiro lugar a eficiência agregada sem afetar com pesos as variáveis ou etapas.

Durante o desenvolvimento da metodologia optou-se pela utilização de uma escala de cores, bastante comuns e intuitivos, associadas a gamas de eficiência. Esta prática assenta em dois princípios:

- ↳ **Gestão visual** – conhecidas as métricas, é possível analisar os dashboards de forma rápida uma vez que a as cores estão associadas a gamas de eficiência, facilitando a interpretação dos resultados de cada cartão MSM®. Desta forma, os gestores de topo podem analisar os resultados obtidos de uma forma mais simples e expedita. Esta escala de eficiências também facilita a interpretação dos resultados por colaboradores com menor formação académica ou profissional, e, ao mesmo tempo torna universal o método (isto é, independente do idioma do país onde é aplicado o método).
- ↳ **Alarmística** – utilizando a escala de eficiências, é possível detectar de forma ágil e rápida situações de ineficiência e que requerem intervenção.

Na Figura 3 está representada a escala de 4 cores utilizada no MSM® para as diferentes gamas eficiência, que estão tipicamente associadas a níveis comuns de eficiência, nomeadamente na vertente energética. A escala de eficiência (cores e respetivas gamas de eficiência) deve ser ajustada consoante a empresa e estado de maturidade da implementação da ferramenta.

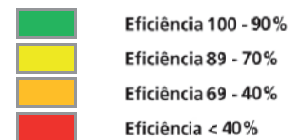


Figura 3 – Escala de eficiência do MSM®

## 2.2 Indicadores de Desempenho

Os KPI são utilizados como indicadores auxiliares à gestão, os quais permitem aferir se as variáveis de desempenho mais importantes/críticas estão, ou não, dentro dos valores esperados, assim como verificar o desempenho de uma organização ou de um determinado processo.

Através da utilização de KPI os gestores de topo podem fazer uma avaliação da eficiência dos processos, assim como analisar de que forma estes estão a contribuir para o sucesso da empresa. Esta abordagem direta permite poupar muito tempo à gestão de topo, dando a estes uma visão ampla da situação atual da atividade que estão a desenvolver.

Tal como noutras abordagens e ferramentas de análise de processos, também no MSM® a definição dos KPI é uma etapa fundamental para uma adequada aferição da eficiência de uma dada variável e da integração da eficiência total de um sistema. Um aspeto muito importante na definição dos KPI na abordagem MSM® consiste na obrigatoriedade de todos os KPI serem definidos com o objetivo de serem maximizados, isto é, impondo um sentido monótono crescente na direção da melhoria do sistema em análise. Este aspeto realça o foco de melhoria contínua intrínseco ao MSM® e na firmeza colocada no respeito dos princípios *Lean*.

Os KPI devem ser definidos juntando a equipa encarregue pelo mapeamento e definição das variáveis (vários níveis da organização) e o designado “moderador MSM®”, o qual deve conhecer bem a abordagem e deter experiência anterior na implementação desta ferramenta. A definição dos KPI associados a cada uma das variáveis de processo deve obedecer a regras que permitam o cálculo adequado dos rácios elementares de eficiência, procurando nomeadamente obter valores de eficiência naturalmente balizados entre 0% e 100%.

## 2.3 Pontos Fortes e Aplicabilidade do MSM®

A abordagem MSM® pode ser utilizada para identificar quais os proces-

sos e/ou os fluxos de valor menos eficientes, contribuindo, assim, para o apoio à decisão e permitindo a melhoria contínua dos sistemas de produção, através da análise sistemática e standardizada da eficiência de uma dada linha produtiva (conjunto de etapas/equipamentos), setor produtivo (conjunto de linhas), uma unidade produtiva (conjunto de setores), até, no limite à eficiência produtiva de várias fábricas.

Esta abordagem também pode ser utilizada para avaliar a reengenharia de processos, uma vez que, em alguns casos, os processos unitários ou mesmo o sistema de produção global, apresenta bons resultados operacionais, mas a eficiência não é tão elevada como poderia ser. Portanto, o MSM® permite escrutinar “como”, “onde” e “quanto” um processo unitário ou um sistema de produção poderá melhorar os seu desempenho.

Outro aspeto muito relevante desta abordagem consiste em permitir aferir objetivamente os custos que agregam valor e os que não-agregam valor. Ou seja, é possível aferir os custos associados aos desperdícios nas variáveis que definem o sistema. Na prática, passa a ser possível quantificar objetivamente e de modo simplificado o custo da ineficiência, quer individualizada variável/processo, quer de modo agregado. Este aspeto é ainda interessante como facilitador na altura de desenhar/estudar ações de melhoria, podendo priorizar-se a sua execução com o cálculo simplificado do período de retorno (payback), em função do ganho de eficiência esperado.

A tipologia dos resultados gerados pelo MSM® está descrita na Tabela 1. Note-se que as características dos resultados desta abordagem são adequados para apresentar os dados em formato *dashboard* ou *scorecard*. Esta versatilidade é o resultado da simplicidade inerente à aplicação do MSM®.

## 3. CASO DE ESTUDO FILEIRA DA METALOMECÂNICA

### 3.1 Enquadramento

Durante a fase de validação da metodologia MSM® foram testadas e maturadas as suas potencialidades, bem como debedadas dificuldades de parametrização para diferentes tipos de conjuntos de variáveis (“cartões de eficiência” para variáveis de recursos, opera-

Tabela 1 – Características de *Dashboards*, *Scorecards* e Resultados MSM® [4]

Característica	<i>Dashboard</i>	<i>Scorecard</i>	Resultados MSM®
Propósito	Mede o desempenho	Gráficos de Progresso	Mede o desempenho e possibilita mostrar gráficos de progresso
Utilizador	Supervisores e especialistas	Diretores, Gestores, Operadores	Supervisores, Especialistas, Diretores, Gestores, Operadores
Atualizações	Em tempo real	Periódicas	Periódicas ou em tempo real (quando integrado em software parametrizado)
Dados	Eventos	Sumários	Eventos e sumários
Exibição	Gráficos visuais e dados	Gráficos visuais e comentário	Gráficos visuais, dados



ção, qualidade ou fluxos). A metodologia foi aplicada a uma linha de acabamento de placas de aglomerado de madeira e a uma unidade de pintura da indústria metalomecânica. Neste trabalho apresentam-se os resultados do estudo consideram-se os processos unitários que decorrem durante a aplicação de um primário de uma linha de pintura. A métrica de referência, ou unidade funcional, é definida como a aplicação de primário numa peça aço com uma superfície de 514m<sup>2</sup> (valor adaptado no exemplo para fins da apresentação neste artigo).

No estudo consideraram-se os seguintes processos unitários:

- ↳ Limpeza
- ↳ Pintura à mão
- ↳ Preparação das tintas
- ↳ Aplicação do primário
- ↳ Secagem
- ↳ Inspeção/controlo de qualidade

Para cada um dos processos unitários aferiu-se através de medição *in-loco* o consumo de materiais e de energia, o tempo necessário para executar cada processo unitário, os custos, etc.

### 3.2 Inventário

Na Tabela 2 apresenta-se o inventário global do sistema de produção em análise (dados representativos para a apresentação). Consideram-se os materiais e a energia consumida, assim como os resíduos da unidade de pintura durante a aplicação do primário. Todos os valores são apresentados de acordo com a unidade funcional (514m<sup>2</sup>).

Tabela 2 – Inventário

	Descrição	Quantidade
Materiais	Peça de Aço por pintar	514 m <sup>2</sup>
	Tinta	122,42 kg
	Endurecedor	17,85 kg
	Diluyente	2,84 kg
Materiais Auxiliares / Consumíveis	Filtro de fibra de vidro	0,022 kg
	Filtro de cartão	0,0195 kg
	Luvax	0,09 kg
	Mascara	0,018 kg
	Fato Tyvek	0,18 kg
Energia	Gasóleo	141,88 kg
	Energia Elétrica	346,54 kWh
Resíduos	Latas de tinta	6,3 kg
	Lata de endurecedor	2,8 kg
	Filtro de fibra de vidro	0,022 kg
	Filtro de cartão	0,0195 kg
	Luvax	0,09 Kg
	Mascara	0,018 Kg
	Fato Tyvek	0,18 Kg

### 3.3 Resultados do MSM<sup>®</sup>

O resultado global detalhado do sistema de produção está representado na Figura 4, mostrando-se a eficiência de cada variável em cada processo unitário (fluxo de valor) assim como a eficiência global dessa variável. É de salientar que existem variáveis dependentes e independentes. O custo da mão-de-obra é uma variável dependente do tempo necessário para executar cada processo unitário, assim como os custos da tinta e energia dependem das quantidades utilizadas. Na Figura 4 fica claro que a eficiência das variáveis tempo, material ou energia é a mesma que a eficiência das variáveis dependentes associadas aos custos de cada aspeto. Apesar da eficiência das variáveis dependentes e independentes serem a mesma em cada par elementar variável/processo unitário, estes valores são mostrados devido à sua importância como indicadores de apoio à de decisão. A informação apresentada na Figura 4 é de grande importância e é fundamental para avaliar a eficiência, bem como para quantificar e alocar as ineficiências aos processos unitários, pela análise dos valores absolutos associados às grandezas físicas de cada variável.

O *dashboard* com o resumo do resultado da eficiência do sistema de produção e dos processos unitários está ilustrado na Figura 5, incluindo atributos de gestão visual, ou seja, rótulos de cor (ver legenda da Figura 5). A eficiência do processo unitário foi determinada pelo valor médio (aritmético) da eficiência de todas as variáveis que contribuem para levar a cabo o respetivo processo unitário. Por fim, o valor global da eficiência do sistema de produção é determinado pelo valor médio (aritmético) da eficiência de todos os processos unitários. Para este caso de estudo particular, a eficiência global do sistema é de 78%.

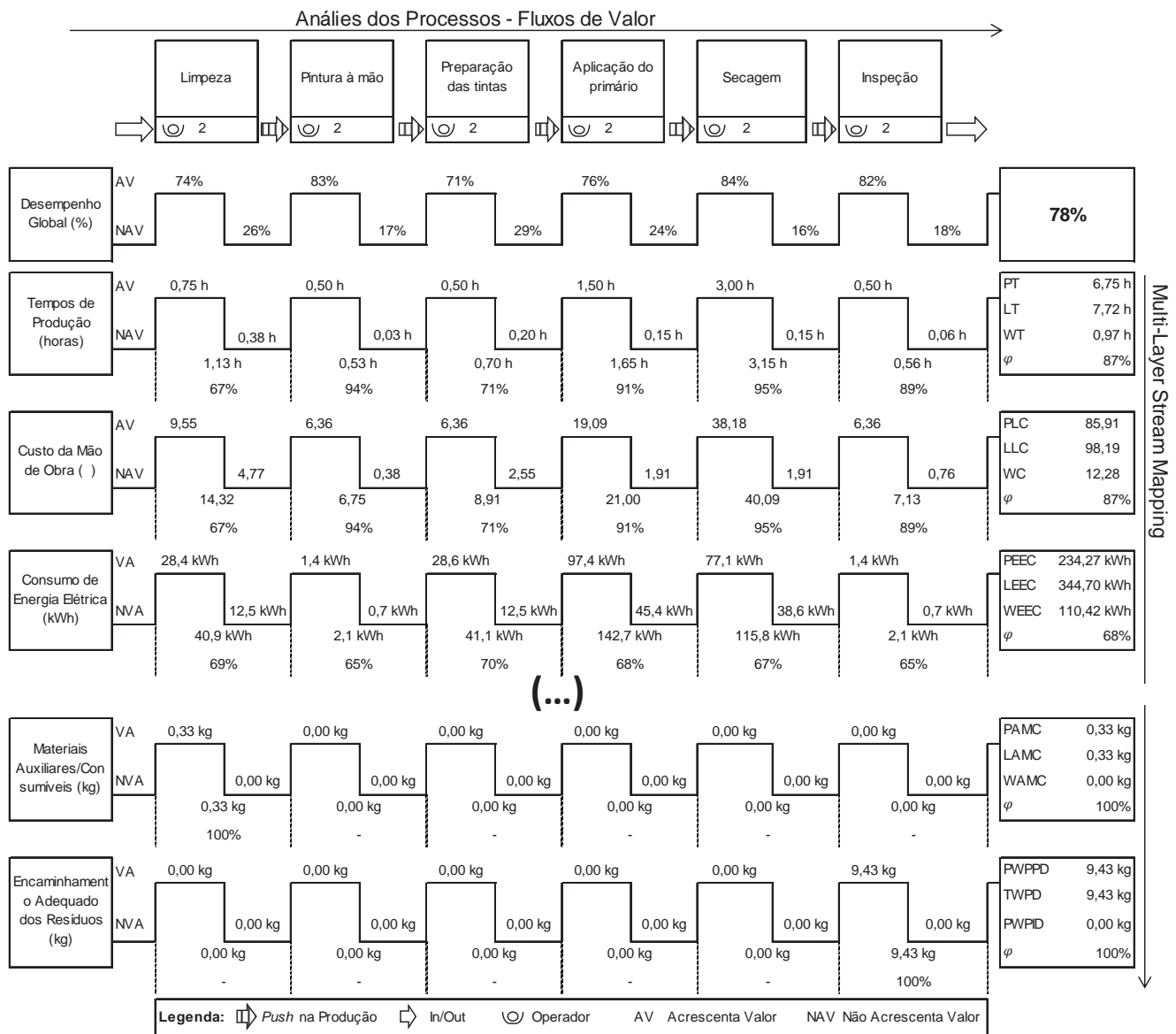


Figura 4 – Resultado global da análise MSM® ao sistema de produção

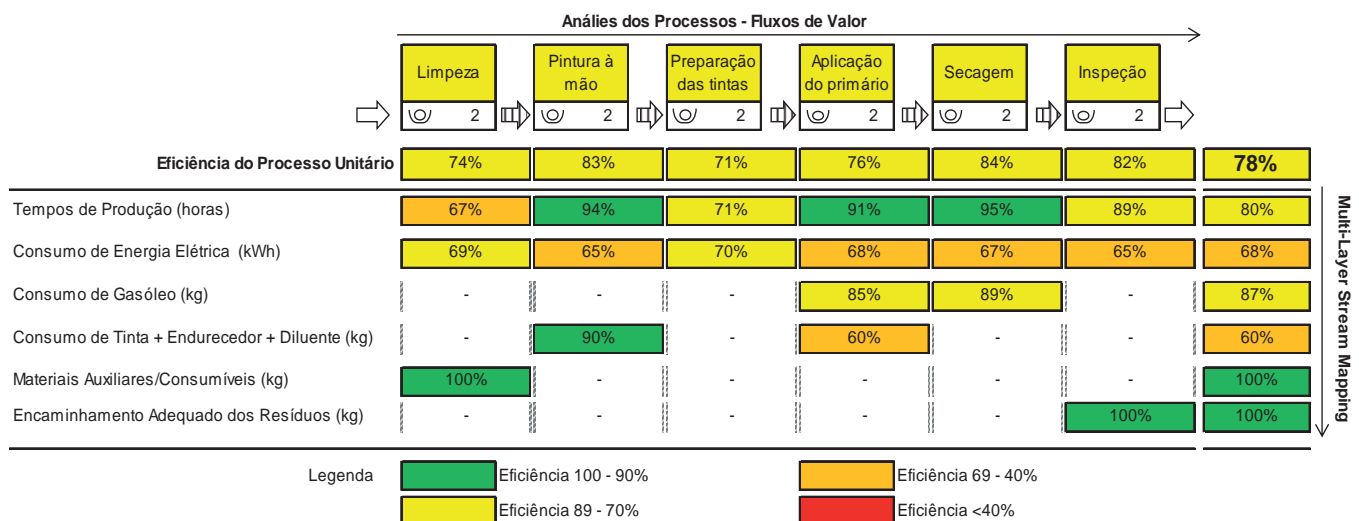


Figura 5 – Dashboard MSM® ou “cartão de eficiência” de recursos para o processo de pintura analisado

**Tabela 3 – Custos que acrescentam valor (AV) vs custos que não acrescentam valor (NAC)**

	AV	NAV	Total	Eficiência
Custo da Mão-de-obra (€)	85,91 €	21,83 €	107,74 €	80%
Custo da Energia Elétrica (€)	20,55 €	9,85 €	30,39 €	68%
Custo do Gasóleo (€)	155,73 €	22,77 €	178,50 €	87%
Custo da Tinta, Endurecedor e Diluente (€)	1.656,09 €	1.085,54 €	2.741,63 €	60%

#### 4. CONCLUSÕES

A abordagem inovadora denominada *Multi-Layer Stream Mapping – MSM®* permite avaliar a eficiência de sistemas de produção ou serviços, de modo sistemático, baseando-se na análise dicotômica valor/desperdício e incluindo um forte caráter de melhoria contínua. Variáveis como consumo de energia, consumo de matérias-primas, ou outro tipo de variáveis de processo (operação, fluxos, qualidade) podem ser aferidos, bem como a análise de custos associados (desagregando a componente de valor ou desperdício).

A metodologia é facilmente transposta numa ferramenta adequada para avaliar e quantificar o desempenho de sistemas de produção e, conseqüentemente, a apoiar na decisão para a melhoria contínua de sistemas de produção ou em processos de serviços.

O MSM®, além de permitir avaliar o desempenho global de sistemas de produção, considerando variáveis como o tempo e consumos diversos, pode apoiar na decisão para a melhoria do desempenho económico, isto através da redução de custos dos desperdícios, permitindo uma análise facilitada de investimento na melhoria versus o período de retorno (análises de *payback*).

No caso de estudo apresentado, que ilustra a aplicação do MSM® a uma unidade pintura da fileira metalomecânica, conclui-se que a eficiência global do sistema é de 78%. Note-se que a fração útil do consumo de tinta, endurecedor e diluente é de 60% e a fração útil do consumo de energia elétrica é de 68%. Já para as restantes variáveis, a eficiência é superior a 80%.

O consumo de tinta, endurecedor e diluente, para além de ser uma das variáveis de consumo com menor eficiência é também a variável mais onerosa. Conseqüentemente, esta ineficiência traduz-se em custos ele-

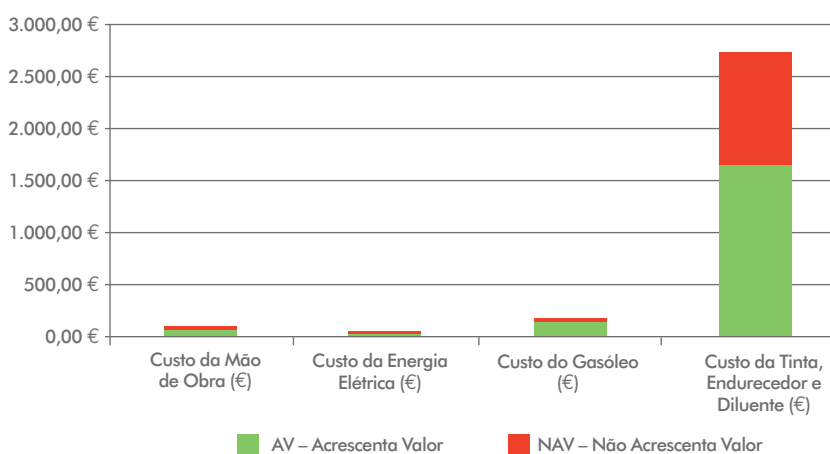


Figura 6 – Análise da fração de custos que acrescentam e não acrescentam valor

O MSM® além de permitir uma análise de eficiência ao sistema de produção, também permite fazer uma análise global aos custos que não agregam valor ao produto, ou seja, permite quantificar os custos associados ao desperdício. Na Tabela 3 e na Figura 6 apresenta-se os resultados da análise de custos que acrescentam e que não acrescentam valor. Por fim apresenta-se a “impressão digital” da eficiência do sistema de produção (ver Figura 7).

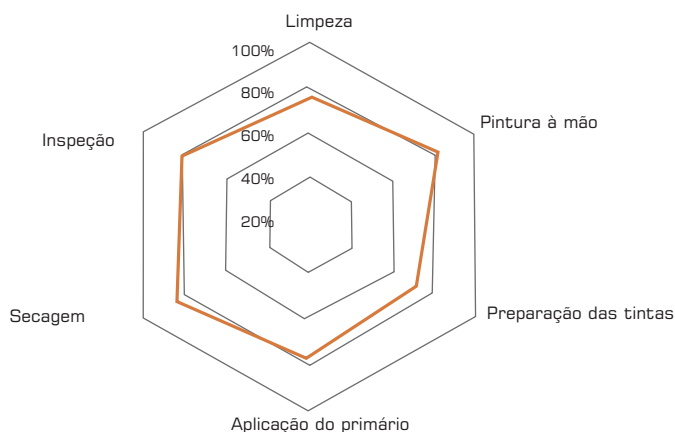


Figura 7 – Impressão digital da eficiência do sistema de produção

vados que não acrescentam valor ao produto. Este tipo de análise permite concluir que a tecnologia utilizada para a pintura das peças de aço deve ser estudada com o intuito de reduzir esta situação de ineficiência.

Note-se que os custos de mão-de-obra e de gásóleo que não acrescentam valor ao produto são superiores ao custo da energia elétrica que não acrescenta valor. No entanto, o consumo de energia elétrica é menos eficiente do que o consumo de gásóleo e do que o tempo de produção. O tipo de análise possibilitado pela metodologia confere um forte apoio à decisão em situações onde há influência de várias variáveis, permitindo criar facilmente relações entre a eficiência e o valor acrescentado, ou entre a ineficiência e o desperdício (e os custos associados), com vista à implementação de ações de melhoria sobretudo nas situações de ineficiência mais onerosas.

A versatilidade demonstrada da abordagem MSM<sup>®</sup> torna possível a sua aplicação a qualquer sistema, quer para fins de produção industrial

ou mesmo em serviços de vários setores de atividade (saúde, agro-indústria, transportes, hotelaria, gestão de edifícios, etc.), podendo ser aplicado quer de modo analítico eventual (avaliação da eficiência de um dado sistema já instalado ou a instalar) ou mesmo utilizado para avaliações de eficiência em contínuo, quando devidamente parametrizado com recurso a *software*, como o que poderá ser disponibilizado pela MICROPROCESSADOR SA integrado na sua aplicação de referência de controlo de sistemas e gestão de energia, Powergest.

### Agradecimentos

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Projeto PRODUTECH PSI (n.º 13849) - PPS5 Eficiência Energética e Ambiental dos Sistemas de Produção, do Programa do Sistema de Incentivos à Investigação e Desenvolvimento Tecnológico nas empresas, no âmbito do COMPETE – Programa Operacional Fatores de Competitividade do QREN – Quadro de Referência Estratégico Nacional – 2007-2013 e Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional da União Europeia e o apoio da Agência de Inovação.

Apoios:



### REFERÊNCIAS

- [1] John Shook and Mike Rother: Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate MUDA, in: 1999.
- [2] Marja Paju; Juhani Heilala; Markku Hentula; Antti Heikkilä; Björn Johansson; Swee Leong, and Kevin Lyons: Framework and Indicators for a Sustainable Manufacturing Mapping Methodology in: Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference. 2010.
- [3] Wen Li; Marius Winter; Sami Kara, and Christoph Herrmann: Eco-efficiency of manufacturing processes: A grinding case, in: CIRP Annals - Manufacturing Technology. 61 2012 pp: 59-62 DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2012.03.029>.
- [4] Harold Kerzner: Project Management Metrics KPIs and Dashboards. John Wiley & Sons, Inc. 2011.
- [5] Roberto J. Arbulu; Iris D. Tommelein; Kenneth D. Walsh, and James C. Hershauer: Value stream analysis of a re-engineered construction supply chain, in: Building Research & Information. 31 2003 pp: 161-171 DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/09613210301993>.
- [6] P. Kuhlang; T. Edtmayr, and W. Sihn: Methodical approach to increase productivity and reduce lead time in assembly and production-logistic processes, in: CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology. 4 2011 pp: 24-32 DOI: [10.1016/j.cirpj.2011.02.001](http://dx.doi.org/10.1016/j.cirpj.2011.02.001).
- [7] Fawaz A. Abdulmalek and Jayant Rajgopalb: Analyzing the benefits of Lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study, in: International Journal of Production Economics. 107 2007 pp: 223-236 DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.09.009>.
- [8] Marcello Braglia; Gionata Carmignani, and Francesco Zammori: A new value stream mapping approach for complex production systems, in: International Journal of Production Research. 44 2006 pp: 3929-3952 DOI: [10.1080/00207540600690545](http://dx.doi.org/10.1080/00207540600690545).
- [9] E. J. Lourenço; A. J. Baptista; J. P. Pereira, and Celia Dias-Ferreira: Multi-Layer Stream Mapping as a Combined Approach for Industrial Processes Eco-efficiency Assessment, in: Re-engineering Manufacturing for Sustainability. 2013 pp: 427-433 DOI: [http://dx.doi.org/10.1007/978-981-4451-48-2\\_70](http://dx.doi.org/10.1007/978-981-4451-48-2_70).