

Implementação do mapeamento de fluxo de valor de energia (EVSM) como ferramenta alternativa para a gestão e redução de energia dos processos no setor industrial: uma análise de literatura

Implementation of energy value stream mapping (EVSM) as an alternative tool for the management and reduction of energy in processes in the industrial sector: a literature review

Carolina Perim Pereira* – carolp.p@hotmail.com
João Carlos Espíndola Ferreira* – j.c.ferreira@ufsc.br
Lucila Maria de Souza Campos* – lucila.campos@ufsc.br

* Universidade Federal de Santa Catarina – (UFSC), Florianópolis, SC

Article History:

Submitted: 2017 - 08 - 07

Revised: 2017 - 08 - 11

Accepted: 2017 - 08 - 25

Resumo: O aumento do preço de energia, devido à escassez de recursos energéticos, tem impondo enorme pressão nas indústrias para a redução do consumo desses recursos e está forçando-as a investirem em técnicas que contribuam para a melhoria de sua eficiência energética. A aplicação de métodos tais como, o Mapeamento do Fluxo de Valor de Energia (EVSM) tem sido promissor na redução do consumo de energia e está sendo um dos métodos amplamente utilizados por profissionais do setor industrial com objetivo de eliminar ineficiências nos processos. Partindo destas informações, este trabalho teve como finalidade expor uma análise de literatura sobre EVSM abordando os modos de implementação, vantagens e desvantagens, o contexto industrial aplicado e os métodos complementares. Por meio dos resultados verificou-se que sua utilização possibilita a redução do consumo de energia, mas se limita a uma representação estática e permite a análise de apenas um produto. Além disso, a implementação do EVSM é realizada através de procedimentos, metodologias e ferramentas de simulação, o método mais utilizado foi o diagrama Sankey e o setor de eletrônicos foi o que mais implementou. Por fim, propuseram-se sugestões de métodos para complementar o seu uso e auxiliar as pesquisas futuras nesta área.

Palavras-chave: Manufatura Enxuta; Mapeamento de Fluxo de Valor; Eficiência Energética; Consumo de Energia; Revisão de Literatura

Abstract: The increase in the price of energy due to the scarcity of energy resources has imposed enormous pressure on the industries to reduce the consumption of these resources and is forcing them to invest in techniques that contribute to the improvement of their energy efficiency. The application of methods such as Energy Value Stream Mapping (EVSM) has been promising in reducing energy consumption and is being one of the methods widely used by industry professionals to eliminate inefficiencies in processes. Based on this information, the objective of this work is to present an analysis of the literature on EVSM addressing the modes

of implementation, advantages and disadvantages, the applied industrial context and the complementary methods. By means of the results it was verified that its use allows the reduction of energy consumption, but is limited to a static representation and allows the analysis of only one product. In addition, the implementation of EVSM is performed through procedures, methodologies and simulation tools, and the most used method is the Sankey diagram and the electronics sector was the one in which EVSM is most implemented. Finally, suggestions are made for methods to complement its use and to assist future research in this area.

Keywords: Lean Manufacturing; Value Stream Mapping; Energy Efficiency; Energy Consumption; Literature Review

1. Introdução

A indústria desempenha um papel fundamental na sociedade devido às suas enormes contribuições para a economia, emprego, investimento e inovação (Ghadimi *et al.*, 2014). Entretanto, o aumento da consciência ambiental dos consumidores, empregados e acionistas bem como o aumento do preço dos recursos naturais e energia em todo o mundo tem imposto cada vez mais pressão sobre os fabricantes de bens (Bogdanski *et al.*, 2013). Isto ocorre devido ao fato dos sistemas de manufatura serem os principais responsáveis pela grande parte do consumo de energia do mundo, representando aproximadamente um terço do consumo de energia total (Ghadimi *et al.*, 2014; Salonitis *et al.*, 2016). Além disso, mais de 90% do impacto ambiental das atividades da manufatura está associado ao consumo de energia e recursos (Li *et al.*, 2017).

O consumo de energia de um processo tem uma relação direta com a variação dos custos totais da produção e no valor final do produto. Quanto mais intensidade de energia um processo precisar, maiores são os custos do processo (Salonitis *et al.*, 2016). Para obter vantagens econômicas com relação a esses custos, é necessário que as indústrias identifiquem medidas para reduzir seu consumo de energia enquanto mantém seu desempenho.

Geralmente a economia de energia pode ser alcançada através de várias técnicas e métodos. Uma delas é a partir da auditoria de energia em que tem sido amplamente popular entre as indústrias e usada em diversos setores. A auditoria pode ser definida como um processo para avaliar onde a indústria utiliza a energia e identificar oportunidades para a redução do consumo (Aadithya, 2016).

Contudo, os métodos de auditoria apenas providenciam teorias sobre economia de energia e geralmente sugerem a utilização de novos equipamentos e atualização dos existentes, o que requer grande investimento. Porém ao considerar a substituição por um novo

equipamento e adoção de novas tecnologias por uma economia a longo-prazo, as indústrias preferem projetos com menor tempo de retorno, menores custos e de grande economia anual (Salonitis et al., 2016; Ghadimi et al., 2014).

Desta forma, ao invés de economizar energia através de grandes investimentos em novas tecnologias e equipamentos, a maioria das indústrias introduz em seu sistema de produção técnicas e métodos da filosofia *lean* (enxuta) para eliminar desperdícios, melhorar a qualidade e eventualmente alcançar o objetivo de economizar energia (Salonitis et al., 2016). Muitos dos sistemas de manufatura têm integrado o pensamento *lean* dentro da sua filosofia de produção. Além disso, verifica-se que através do *lean-green* é possível também alcançar melhores desempenhos ambientais (Drechsel et al., 2013).

Uma das ferramentas utilizadas nesse tipo de manufatura é o mapa de fluxo de valor. O mapeamento de fluxo de valor, do inglês “*Value Stream Mapping*” (VSM) desenvolvido por Rother e Shook (2003), é uma ferramenta que permite observar o fluxo de materiais e informações de um produto ou serviço que faz seu caminho através da cadeia de valor. É uma ferramenta que permite ver o todo do processo de manufatura, não apenas os equipamentos (Keskin et al., 2013). É uma ferramenta padronizada na manufatura *lean* e auxilia na criação de estruturas eficientes e evita desperdícios. O VSM tem como objetivo criar e otimizar processos com o foco na eficiência da produção e apresenta diversas extensões de análise, desde fluxo de informação de material, tempo, energia, assim como aplicação no contexto sustentável abordando aspectos econômicos, social e ambiental (Faulkner e Badurdeen, 2014).

Uma das extensões do método convencional é o mapeamento de fluxo de valor de energia, do inglês “*Energy Value Stream Mapping*” (EVSM), que integra dados da energia dentro da análise (Drechsel et al., 2013). O EVSM permite uma visualização clara de todos os processos e ajuda a identificar os principais consumidores e desperdícios de energia. Além disso, possibilita a comparação de diferentes cadeias de processos. Portanto, por meio desta ferramenta é possível auxiliar no processo de melhoria contínua nas linhas de produção existentes e auxiliar na eficiência energética dos processos.

Com isso, a academia e as indústrias com base em resultados já obtidos da implementação dessa ferramenta em várias indústrias, reconhecem a ampla necessidade de implementar e modelar metodologias entre elas o EVSM, para auxiliar as equipes colaborativas das empresas na contínua análise de melhorias e eficiência energética dos processos produtivos.

Logo, por meio deste trabalho será possível perceber a contribuição da implementação do mapeamento de fluxo de valor de energia (EVSM) no setor industrial como uma ferramenta para a gestão da eficiência energética dos processos. O presente artigo apresenta a seguinte estruturação: a seção 2 aborda a contextualização teórica sobre o tema; na seção 3 apresenta-se a metodologia de pesquisa. A seção 4 contém os resultados quanto modo e contexto de implementação do EVSM e apresenta os principais pontos relevantes da pesquisa, e na seção 5 apresenta-se a conclusão abordando os principais resultados obtidos e sugestões de métodos complementares na implementação do EVSM para auxiliar em pesquisas futuras.

2. Contextualização Teórica

2.1. A manufatura enxuta e o mapeamento de fluxo de valor

Muitos dos sistemas de manufatura têm integrado o pensamento da filosofia *Lean Manufacturing* (do inglês, Manufatura Enxuta) dentro da sua filosofia de produção. Além disso, sua contribuição possibilita alcançar melhores desempenhos ambientais (Drechsel et al., 2013). A produção neste sistema é definida como a gestão que orienta a organização na identificação e remoção contínua de fontes de desperdícios para que os processos sejam constantemente melhorados (Davies e Merwe, 2014).

Esta filosofia apresenta diferentes ferramentas e técnicas que foram desenvolvidas ao longo dos anos para eliminar e reduzir desperdícios nos processos de manufatura. Essas técnicas e ferramentas são utilizadas sob a condição dos cinco princípios, listados em ordem lógica de implementação: definir o valor, identificar o fluxo de valor, estabelecer o fluxo, conduzir o consumidor a produção puxada e atingir a perfeição (Davies e Merwe, 2014; Keskin et al., 2013; Thiede et al., 2016; Li et al., 2017).

A ferramenta *lean* que utiliza e combina a maioria das ferramentas e técnicas desta filosofia é o mapeamento de fluxo de valor (VSM – *Value Stream Mapping*). O VSM é uma ferramenta gráfica que mostra visualmente a informação sobre o processo de manufatura em uma gestão lógica (Davies e Merwe, 2014).

Segundo Rother e Shook (2003), o mapeamento de fluxo de valor é definido como o “simples processo de observar diretamente o fluxo de informações e materiais, como eles ocorrem, resumindo visualmente e depois imaginando um estado futuro com melhor desempenho”. Além disso, classifica todos os processos entre os que agregam ou não valor e

identifica todos os tipos de desperdícios no fluxo de valor para providenciar medidas para eliminá-los (Melvin e Baglee, 2008; Keskin *et al.*, 2013; Verma e Sharma, 2016).

Desta forma, o mapeamento do fluxo de valor auxilia no desenvolvimento de um “mapa do estado atual” que representa uma configuração visual de como a empresa está operando no momento e, por meio do registro de dados inseridos no mapa é possível obter informações a serem utilizadas para identificar desperdícios, problemas e oportunidades do início ao fim da análise nas etapas dos processos do sistema de manufatura (Melvin e Baglee, 2008; Thiede *et al.*, 2016).

Os desperdícios na filosofia *lean* são caracterizados como qualquer parte de um processo que consome tempo e recursos, e que não agrega valor ao produto. Os desperdícios são classificados como: excesso de produção, tempo de espera, transporte, processamento, estoque, movimento e fabricação de produtos defeituosos (Melvin e Baglee, 2008; Müller *et al.*, 2014; Davies e Merwe, 2014).

Sendo assim, é uma metodologia que proporciona uma representação estática e simplificada do fluxo de valor de um produto e de todas suas atividades relacionadas, ressaltando as etapas que agregam valor ou não e identificando assim os tipos de desperdícios do fluxo e estabelecendo medidas para eliminá-los. Além disso é uma ferramenta que permite uma visualização padronizada e pode ter uma aplicação simples (Thiede *et al.*, 2016; Schönemann *et al.*, 2016).

Por isso, o mapeamento de fluxo de valor é uma ferramenta que tem sido usada em sua maioria por diversas indústrias para planejar e identificar melhorias internas e, quando utilizada apropriadamente, pode auxiliar o processo industrial na eliminação de resíduos, manter melhor controle de estoque, melhorar a qualidade do produto, e obter melhor controle financeiro e operacional (Melvin e Baglee, 2008).

Além dessas vantagens o método possibilita a análise de diversos fluxos além de materiais e informações, por meio da inserção de outros dados gerando extensões da ferramenta. Naturalmente, o EVSM faz parte dessas ações.

2.2. Mapeamento de fluxo de valor de energia (EVSM)

O mapeamento de fluxo de valor de energia (EVSM) representa uma das extensões do método convencional de VSM, em que integra dados de energia do processo dentro da

análise, e assim como no VSM, os fluxos de informações desde o pedido do produto até a entrega ao cliente são também considerados (Drechsel *et al.*, 2013).

A ferramenta apresenta diretrizes que possibilitam sua utilização como meio para a gestão do consumo de energia. Essas diretrizes contribuem para: (i) predizer o ponto ótimo de operação da manufatura; (ii) reduzir a demanda de energia de recursos por meio de melhorias técnicas; (iii) minimizar o consumo de energia de recursos durante a operação em *stand-by*; (iv) recuperar energia, e nivelar o consumo de energia por meio de picos de energia mais suaves; (v) estabelecer o sequenciamento do processo de eficiência energética por meio do maior consumidor de energia da linha e (vi) sincronizar o suprimento de energia e consumo de energia (Aadithya 2016; Erlach 2011).

Deste modo, o EVSM possibilita fácil visualização do processo e auxilia na identificação dos principais consumidores e desperdícios de energia. Sendo assim é uma ferramenta que contribui para a melhoria contínua do processo.

Segundo a Agência de Proteção Ambiental [EPA] (2007), inserir dados de energia na análise dentro do mapeamento de fluxo de valor permite identificar oportunidades para a redução de energia e melhorias do processo que possibilitam maximizar ganhos operacionais e economia de energia.

Assim como no método convencional do VSM, o EVSM apresenta a distinção entre energia que agrega valor que é toda energia usada por atividades que criam valor para o consumidor e as energias que não agregam valor, que referem-se ao consumo em atividades que não agregam valor (Bush *et al.*, 2014).

Contudo, alguns autores caracterizam estas energias que agregam valor e que não agregam valor como energia direta e indireta ao processo (Salonitis *et al.*, 2016; Posselt *et al.*, 2014; Bush *et al.*, 2014).

Além disso, para facilitar a classificação dos tipos de energias presentes no processo industrial, alguns estudos na literatura possibilitaram definir e classificar essas energias por meio da relação do consumo direto e indireto de cada equipamento ou sistemas dentro do processo na fabricação do produto (Bush *et al.*, 2014; Posselt *et al.*, 2014).

No EVSM é possível identificar o nível de energia utilizado e o desperdício em cada passo do processo, além de determinar as oportunidades de conservação de energia. Para analisar os possíveis resultados de opções de melhorias, cenários futuros são também

desenvolvidos no EVSM. O modelo sugerido pode ser usado não apenas para identificar os consumidores de energia ou pontos de ineficiência mas, também, para fazer orçamento e propor medidas de redução do consumo de energia (Verma e Sharma, 2016).

Do mesmo modo que o método convencional apresenta e classifica os diferentes tipos de desperdícios, esta extensão da ferramenta possibilita caracterizá-los com relação causa de consumo de energia nos processos e também fonte do consumo. As causas de consumo são caracterizadas pelos modos de consumo sendo por meio de: transporte, superprodução, estoque, movimentação, espera e fabricação de peças defeituosas, enquanto que as fontes referem-se à origem através daquele modo de consumo, e são caracterizados pelos sistemas e equipamentos inapropriados, equipamentos em operação durante o processo de não produção e vazamento de substâncias que contribuem para a geração de energia (ver Figura 1) (Davies e Merwe, 2014; Bush et al., 2014; Müller et al., 2014; Davies e Merwe, 2016).

Classificação	Categoria	Desperdício de Energia
Causa	Processamento	Durante as diferentes etapas de operação de um equipamento
	Transporte	Em transporte interno/ externo no armazém, na planta ou empresa
	Estoque	Na manutenção e armazenamento de produtos no estoque
	Movimentação	No movimento de máquinas e equipamentos
	Espera	No processo de stand-by, manutenção do processo e em tempos de inatividade da produção
	Superprodução	Na operação de um equipamento na fabricação de peças desnecessárias
	Defeitos	Para processar produtos com defeitos
Fonte	Vazamentos	Fumaça, ar, LPG
	Tamanho do equipamento	Utilização de Motores e sistemas HVAC superdimensionados / de compressor de ar com tamanho impróprio
	Tempo de ociosidade	Funcionamento de sistemas: HVAC, processos e iluminação durante a não operação
	Gestão de Engenharia	Com Motores ineficientes/ Baixo fator de potência/ Carência de variáveis de velocidade/ Carência de sensores
	Perda de Calor	Fornos e sistemas de aquecimento e resfriamento impróprios ou inadequados a planta

Figura 1 – Desperdícios no EVSM
Fonte: Adaptado de Müller et al (2014) e Davies e Merwe (2016)

Para Bogdanski *et al.* (2013), durante a aplicação da ferramenta é importante ter conhecimento sobre os diferentes tipos de consumo de energia nos processos de produção para realizar a derivação das medidas de melhorias adequadas a cada uma.

Na sequência apresenta-se o método de pesquisa composto por duas etapas e, na seção 4 são apresentadas as figuras e tabelas referentes aos resultados obtidos da análise de literatura.

3. Metodologia de pesquisa

Esta seção apresenta a sequência do desenvolvimento da análise de literatura por meio de duas etapas: procedimentos de pesquisa e classificação de pesquisa a ser realizada.

3.1. Procedimentos de pesquisa

Para obter os resultados com base nos objetivos do trabalho, foram estabelecidos os procedimentos de pesquisa relacionados ao tema proposto, dos quais foram estabelecidas 3 fases: (i) as definições dos critérios de seleção dos periódicos e a coleta dos artigos, (ii) análise do conteúdo e (iii) apresentação dos resultados.

Na primeira fase a análise de literatura procedeu-se com busca de palavras-chave, variando entre os termos relacionados à ferramenta e filosofia *lean*: *Lean Manufacturing*, *VSM*, *Value Stream Mapping*, *EVSM*, *Energy Value Stream Mapping*, e também quanto à seleção das palavras-chave dos termos relacionados à energia: *Energy Consumption*, *Energy*, *Eenergy Efficiency* – *Efficien** e *Energy Efficient*.

Selecionou-se as bases de dados que possuíam o potencial para colaborar com o tema de pesquisa em questão e que estavam disponíveis no Portal de Periódicos CAPES para compor o banco de dados sendo: *Scopus*, *Web of Science*, *Engineering Village*, *Scielo* e *Proquest*.

Para estabelecer a busca, foram realizadas várias interações entre as palavras selecionadas para identificar a combinação que obtivesse a maior quantidade de artigos relacionados ao tema principal. A partir desta análise, constatou-se que a melhor combinação foi a interação entre as palavras-chave: “*Value Stream Mapping*” AND “*Energy*”, pois a partir delas foi adquirida a maior quantidade de artigos que estavam relacionados ao tema. Apenas as publicações tipo *articles* foram consideradas; e limitadas também a publicações em inglês,

porém o período de seleção compreendeu entre o início da criação das bases de dados até o ano atual de 2017.

Para o tratamento dos dados, utilizou-se o *software* EndNote X7 ® para a importação das publicações selecionadas nas bases de dados pesquisadas. O *software* também auxilia na pesquisa e na escrita científica por meio da aquisição de referências e arquivos das bases de dados online e, além disso, facilita a organização do conjunto de referências por cada base de dados e a classificar os artigos por filtro conforme a necessidade e especificação do pesquisador, portanto agrupando eles de várias maneiras (Ferenhof et al., 2014).

Após a seleção das palavras-chaves e a exportação dos dados no *software*, foram selecionados um total de 66 artigos. Retirando os artigos repetidos e analisando o alinhamento dos títulos e palavras-chaves dos artigos com o objetivo da presente pesquisa, restaram 29 artigos, dos quais estavam disponíveis gratuitamente para leitura completa, pois os demais restringiram a busca devido à privacidade de publicação.

Porém considerando a relação do contexto da pesquisa com o resumo de cada artigo e restringindo a pesquisa apenas para artigos em inglês obteve-se um total de 21 artigos para análise. Conforme se verifica no gráfico 1, 21 artigos relacionam-se com as restrições e o tema da pesquisa, enquanto 45 artigos foram obtidos pela interação das palavras-chaves.

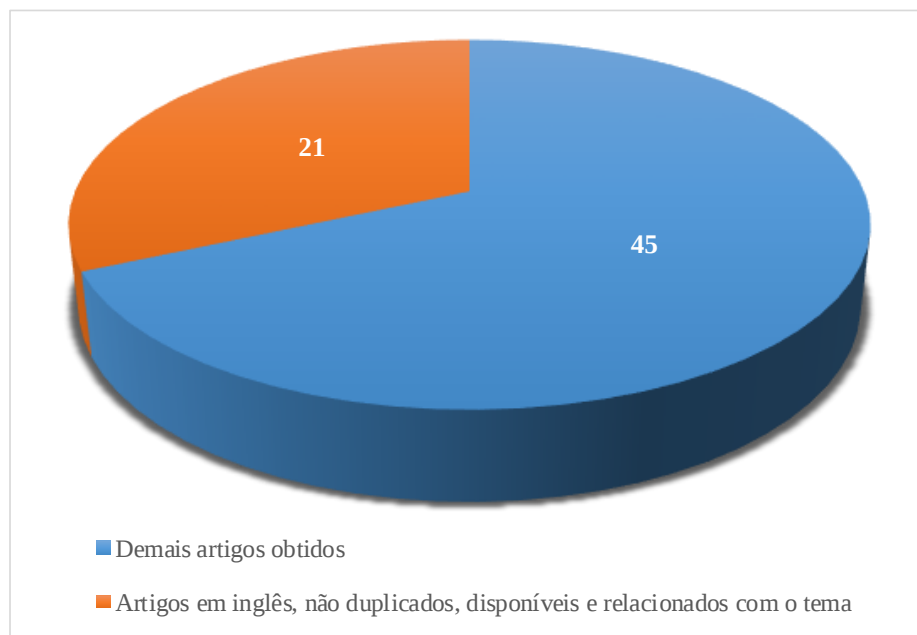


Gráfico 1 – Artigos obtidos para análise de literatura

Na segunda fase, para alinhar as etapas de análise de conteúdo e a apresentação dos resultados ao objetivo deste artigo, procedeu-se a leitura completa do conteúdo dos artigos

conforme alguns parâmetros de análise, tais como: (i) título; (ii) autores; (iii) resumo e objetivo; (iv) tipo de pesquisa; (v) implementação; (vi) principais resultados; (vii) limitações e (viii) lacunas.

Na terceira fase constam os resultados obtidos e que foram utilizados nas discussões.

Desta forma, por meio de análise qualitativa e quantitativa, foi possível obter as informações e dados relacionados ao enfoque da pesquisa facilitando a busca pelos resultados da análise da literatura com relação aos modos e contextos de implementação, e as vantagens e desvantagens do método para gestão da energia no contexto industrial.

3.2. Classificação de pesquisa

Para atender o objetivo deste trabalho foi necessário verificar artigos relacionados ao tema, envolvendo conteúdos com resultados de integração deste método com outros métodos, técnicas e ferramentas, além de identificar em que contexto o método foi implementado, apresentando-se os resultados obtidos das aplicações e verificando se há vantagens e desvantagens da sua utilização para tratamento de soluções energéticas no campo industrial.

Esta pesquisa, portanto, tem a finalidade de apresentar uma contextualização sobre abordagens e implementação da ferramenta de mapeamento de fluxo de valor em empresas do setor industrial para a gestão e redução de energia no sistema de manufatura. Logo, caracteriza-se como uma pesquisa de natureza teórica e de contexto descritivo e exploratório, a fim de apresentar o enfoque de utilização desta ferramenta e seus principais resultados advindos da implementação como ferramenta alternativa para o tratamento do uso de energia nos processos de manufatura.

Além disto, o presente trabalho avalia o conteúdo por meio da análise qualitativa que se tem como parâmetros os modos de implementação, as ferramentas e métodos auxiliares utilizados na implementação e quais setores industriais utilizaram a ferramenta. Isto foi feito porque, por meio da análise qualitativa é possível classificar a literatura existente sob a base do contexto problema, da abordagem, metodologia adotada e também possibilita mapear as técnicas e ferramentas utilizadas (Srivastava, 2007).

4. Resultado e discussões

Os resultados obtidos através das informações e dados da literatura com relação ao uso do mapeamento de fluxo de valor de energia, foram avaliados conforme os modos de implementação e métodos auxiliares, bem como, referentes ao contexto e resultados da

aplicação nos setores industriais e as vantagens e desvantagens das implementações na eficiência energética dos processos.

4.1. Modos de implementação e métodos complementares

Com relação aos modos de implementação, constatou-se que dos 21 artigos analisados com relação ao contexto de implementação do EVSM no setor industrial, cinco pesquisas se limitaram a desenvolver procedimentos representando 24% dos modos de implementação na análise (Aadithya, 2016; Salonitis *et al.*, 2016; Melvin e Baglee, 2008; Melsas *et al.*, 2016; Verma e Sharma, 2016).

Nestes casos, apenas apresentaram etapas de utilização do EVSM nas indústrias. Essas pesquisas consideraram somente a energia como fluxo de informações no processo. Quanto aos tipos de energia, Melsas *et al.* (2016) consideraram apenas as energias que agregam valor, Aadithya (2016) e Verma e Sharma (2016) identificaram as energias que não agregam valor, e nas pesquisas de Salonitis *et al.* (2016) e Melvin e Baglee (2008) abordaram tanto as que agregam quanto as que não agregam valor.

Além de procedimentos de implementação do EVSM no setor industrial, foi possível identificar o desenvolvimento de metodologias para aplicação do EVSM na indústria (Bush *et al.*, 2014; Drechsel *et al.*, 2013; Davies e Merwe, 2016; Faulkner e Badurdeen, 2014; Müller *et al.*, 2014; Keskin *et al.*, 2013; Davies e Merwe, 2014; Schmidt *et al.*, 2007). A distinção entre esses dois modos de implementação está na inserção de métodos, ferramentas e definições complementares ao EVSM para fazer a gestão da eficiência energética das indústrias.

Essas metodologias representaram 38% dos modos de implementação do EVSM identificados conforme as limitações da pesquisa. As metodologias das pesquisas apresentam diversas formas de fluxos de informação. Entre elas, somente sobre energia por Bush *et al.*, (2014), Drechsel *et al.* (2013) e Keskin *et al.* (2013), energia e tempo por Müller *et al.* (2014), energia e material por Schmidt *et al.* (2007), sobre energia e água por Davies e Merwe (2016) e Davies e Merwe (2014) e outras em relações aos aspectos social, econômico e ambiental, das quais inclui o fluxo e métrica de consumo de energia (Faulkner e Badurdeen, 2014).

Quanto aos tipos de energia apenas Drechsel *et al.* (2013) avaliaram a influência das energias que agregam valor. Schmidt *et al.* (2007), Davies e Merwe (2016), Keskin *et al.* (2013), Faulkner e Badurdeen (2014) e Davies e Merwe (2014) avaliaram as energias que

agregam ou não valor. Além desses dois tipos de energia alguns pesquisadores desenvolveram metodologias para implementar a influência dos serviços de construção técnica (TBS) que são atividades complementares e que não agregam valor ao produto, porém contribuem significativamente para a variação do consumo e na eficiência energética dos processos industriais (Bush *et al.*, 2014; Müller *et al.*, 2014).

Além desses dois modos de implementação, a literatura também apresenta diversas ferramentas de simulação dinâmica do EVSM, que representou outros 38% dos modos de implementação na análise, isto por que o método apresenta limitações de aplicação. Deste modo, para sanar esta restrição, alguns autores desenvolveram essas ferramentas para possibilitar a análise da influência de diferentes produtos no processo, etapas de processamento da máquina e da influência dos serviços de construção técnica (TBS) (Malte Schönemann *et al.*, 2016; Bogdanski *et al.*, 2013; M. Schönemann *et al.*, 2014; Li *et al.*, 2017; Ghadimi *et al.*, 2014; Thiede *et al.*, 2016). Foram desenvolvidas também simulações que avaliam o efeito da medida de produtividade de energia que, de maneira oposta à intensidade de energia que geralmente é mais utilizada nas empresas, representa a medida da saída útil dividida pela entrada de energia (Schnellbach e Reinhart, 2015).

Estas ferramentas consideraram informações de fluxo de energia e tempo (Schönemann *et al.*, 2014; Schönemann *et al.*, 2016; Bogdanski *et al.*, 2013) e, também, de material, energia e tempo (Ghadimi *et al.*, 2014; Thiede *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2017). Nos gráficos 2, 3 e 4 pode-se verificar a incidência dos modos de implementação do EVSM, tipos de fluxo de informação e aos tipos de energias conforme apresenta-se na literatura analisada.

O desenvolvimento de simulações no contexto de aplicação do EVSM nas indústrias contribui positivamente porque apresenta uma análise do comportamento similar ao real do sistema em um período, pois usa um modelo simplificado de um sistema real para implementar experimentos e adquirir resultados que possam ser transferíveis a realidade (Schönemann *et al.*, 2016). Porém, mesmo que a simulação apresente um significativo aumento da eficiência nos fluxos da indústria, a mesma requer certo esforço e experiência para desenvolver tais modelos de maneira a representar fielmente o funcionamento da fábrica (Ghadimi *et al.*, 2014).

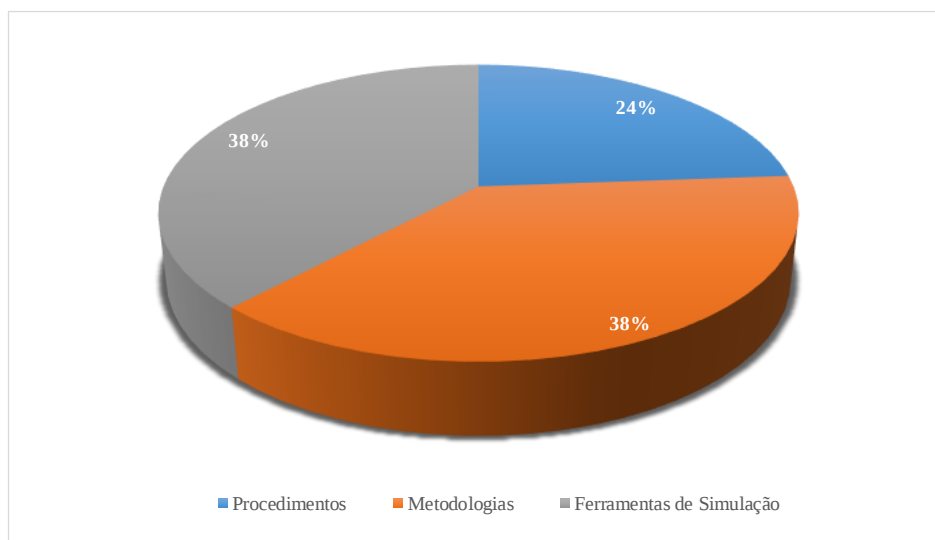


Gráfico 2 – Modos de implementação

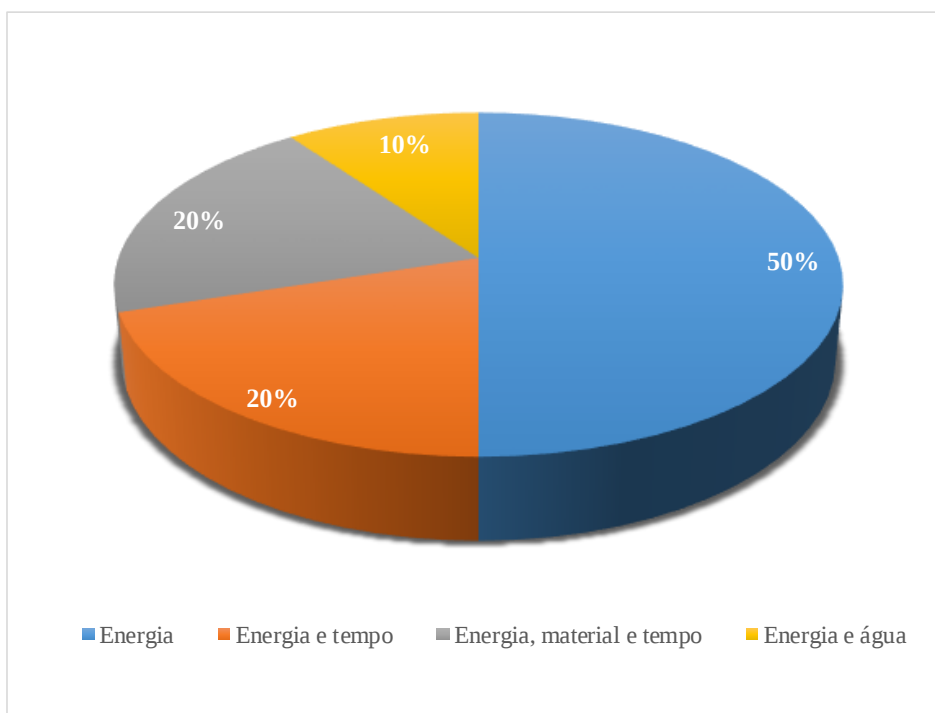


Gráfico 3 - Fluxos de informação

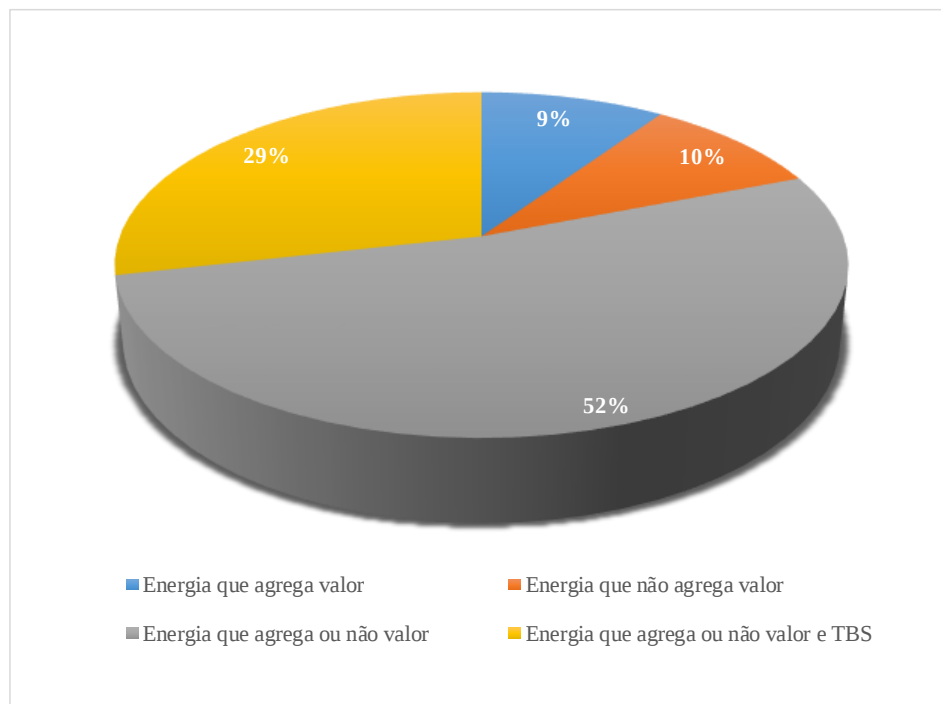


Gráfico 4 – Tipos de energia

Assim como nas metodologias, as ferramentas de simulação dinâmica também integram em seus modelos, métodos e ferramentas que flexibilizam a implementação do EVSM. Dentre os métodos inseridos no desenvolvimento das metodologias e ferramentas encontram-se quatro artigos com a utilização de Diagrama Sankey, três artigos utilizando a análise do fluxo de material e energia (MEFA), dois com o método de quatro etapas compostas por planejar, fazer, verificar e agir (do inglês, *Plan-Do-Check-Act*) (PDCA) e dois com o método de medição e verificação (M&V) e a avaliação do ciclo de vida (do inglês *Life Cycle Assessment*) (LCA), Redes Bayesianas, Análise ABC, Protocolo de Auditoria, Modelo periférico, Programação de Carga (LS), Monte Carlo, Processo Analítico Hierárquico (AHP) e *Variable Speed Driver* (VSD) com apenas uma aplicação. Portanto, verificou-se que as ferramentas mais usuais nas implementações são Diagrama Sankey e MEFA (ver Gráfico 5).

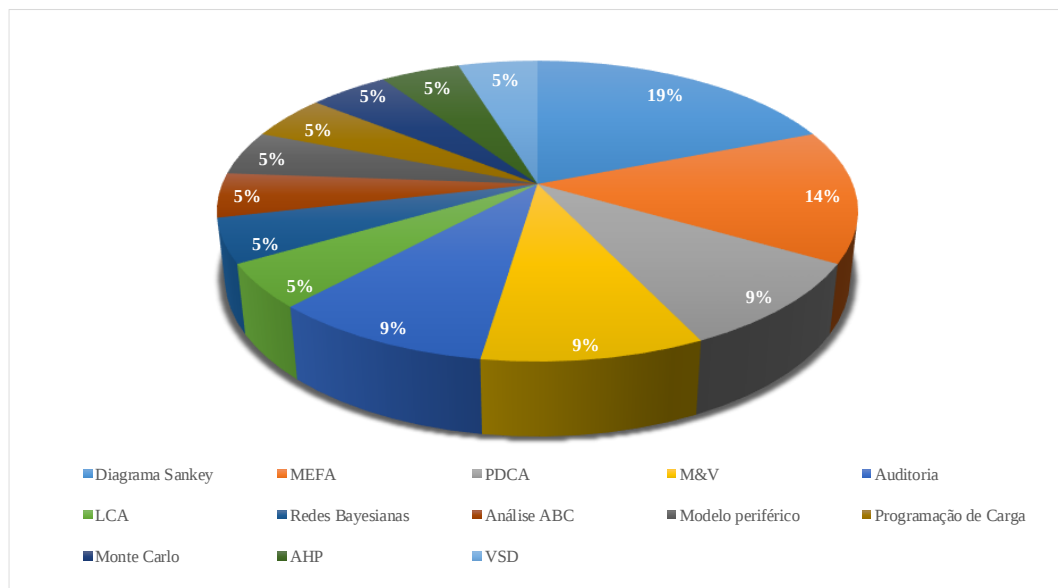


Gráfico 5 – Métodos e ferramentas complementares

Essas duas ferramentas são mais utilizadas, pois flexibilizam a identificação de ineficiências dos fluxos nas etapas dos processos no sistema de manufatura e possibilitam caracterizar os fluxos por meio de termos padronizados e definitivos contribuindo com os resultados mais significativos e reprodutíveis.

O diagrama Sankey, por se tratar de uma representação gráfica, possibilita a identificação da variação dos resultados, resalta a ineficiência do fluxo no processo e facilita a visualização de vários fluxos separadamente (Li *et al.*, 2017). Sua representação é feita por flechas, onde o sentido representa a ordem das etapas do processo a serem analisadas e a espessura representa a intensidade de consumo do fluxo (Ghadimi *et al.*, 2014). Desta forma é possível contribuir na identificação de problemas e ineficiências (Li *et al.*, 2017).

Além disso, permite distinguir os diferentes tipos de consumos das etapas presentes em um sistema ou equipamento durante um processo, possibilitando identificar as diferenças entre os fluxos, favorecendo a escolha das diferentes prioridades na planta para implementar novas ações (Thiede *et al.*, 2016). Por isso torna-se uma ferramenta adequada quando se deseja evidenciar e facilitar a visualização do fluxo e identificar os principais problemas, ineficiências do sistema de manufatura e principalmente representar os fluxos complexos de um sistema (Li *et al.*, 2017).

Com relação a análise do fluxo de material e energia (MEFA) também chamada de análise do fluxo de energia (EFA), é o segundo método mais utilizado nas análises da implementação do EVSM na indústria, pois consiste em um método sistemático que permite

quantificar o fluxos e estoques em um tempo e espaço definidos. Este método relaciona a entrada e a saída do fluxo baseado na lei de conservação da matéria (Thiede *et al.*, 2016). Além disso, especifica o material, fluxo de energia e estoques em termos definidos e padronizados apresentando assim os resultados de forma significativa e reprodutível (Li *et al.*, 2017).

Os demais métodos foram implementados conforme o contexto de desenvolvimento das pesquisas e como tentativa de adaptar melhorias e considerações a novas análises e implementações do EVSM na indústria.

Constatou-se também que algumas metodologias, procedimentos e ferramentas são adaptáveis para serem implementadas em empresas de pequeno e médio porte (Schmidt *et al.*, 2007; Keskin *et al.*, 2013; Verma e Sharma, 2016; Li *et al.*, 2017; Bush *et al.*, 2014).

4.2. Contextos e resultados de aplicação no setor industrial

Por meio da aquisição de dados e informações dos artigos analisados, verificou-se que houve uma variação de setores industriais onde se implementaram o EVSM para a melhoria contínua do processo e da eficiência energética. No gráfico 6 pode-se identificar os principais setores de implementação dos procedimentos, metodologias e ferramentas de simulação utilizadas para avaliar e identificar o fluxo e consumo de energia dos processos.

Nas implementações realizadas em empresas, o setor eletrônico obteve maior incidência de aplicação, isto ocorre pois é o caso em que apresenta uma quantidade sólida de dados viáveis de estudos anteriores do VSM (Schönemann *et al.*, 2016). Entre as aplicações neste setor, verificou-se a adoção do EVSM no processo de auditoria, que possibilitou uma redução de 3,5% do consumo de energia total utilizado pela indústria e com o resultado da aplicação constatou-se que o EVSM pode ser uma ferramenta conveniente e eficiente para o processo de auditoria de energia que não agrega valor pois possibilita a visão atual do sistema existente e atua como uma ferramenta de economia de tempo devido à sua fácil interpretação e aplicabilidade (Aadithya, 2016).

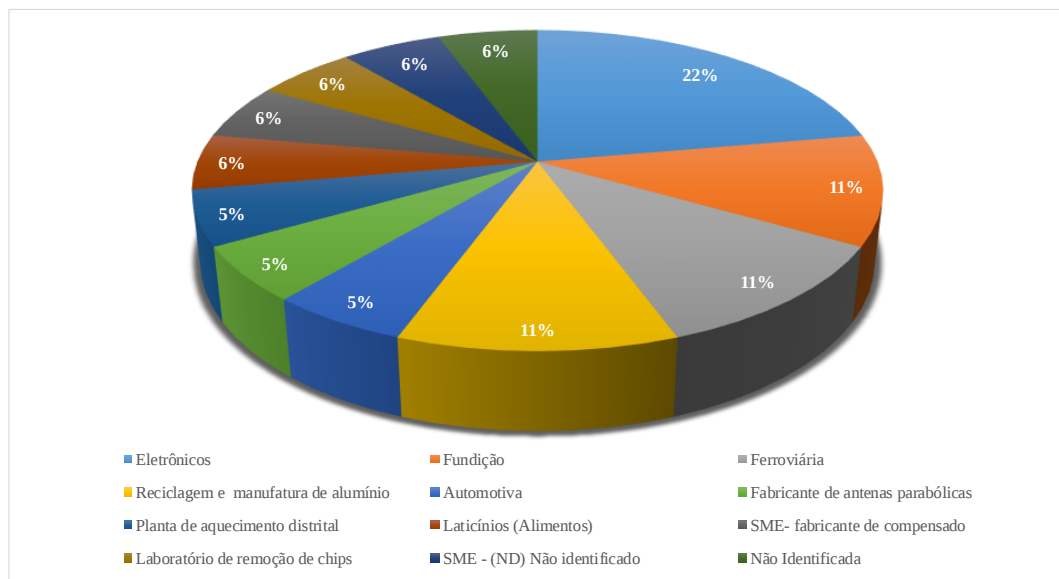


Gráfico 6 – Setores industriais na implementação do EVSM

Outro modo de implementação neste setor foi por meio das ferramentas de simulação dinâmica (Schönemann *et al.*, 2014; Schönemann *et al.*, 2016; Bogdanski *et al.*, 2013). Estes casos, foram implementados em empresas de fabricação de placas de circuito impresso (do inglês *Printed Circuit Board*) (PCB) e utilizados para verificar a influência das diferentes características deste produto no consumo de energia.

Para Schönemann *et al.* (2014), a utilização dessas ferramentas de simulação permitiu determinar o fluxo de valor de diferentes produtos e trabalhos sobre o nível de sistema da empresa por um período de tempo específico. Isto permite prever as demandas de energia dos estados ocioso e acelerado das máquinas, bem como alocar o consumo indireto da planta. Schönemann *et al.* (2016) verificaram também que a ferramenta auxilia a melhorar os resultados do EVSM principalmente para alcançar resultados mais realísticos que estão próximos ao que realmente acontece em chão de fábrica.

Nas implementações, os resultados revelaram que o *lead time* e consumo de energia podem ser influenciados pelos diferentes tipos de controles e características dos produtos, pois resulta em variações demandas de energia nas etapas do processo (Schönemann *et al.*, 2016).

Para verificar a influência dessas características o autor abordou três tipos de PCB, o PCB simples, duplo e de multicamadas, com relação a três cenários: o primeiro com o tipo de PCB simples e que compreende cinco trabalhos, o segundo representa dois tipos de produtos o simples e o duplo com cinco trabalhos para um e cinco para o outro, e o terceiro e último cenário compreende os três tipos de produtos com diferentes tipos de trabalhos. Avaliando a

influência dos diferentes tamanhos de trabalhos somente no cenário 1, constatou-se que a demanda de energia no tempo ocioso para o trabalho de PCB em tamanhos uniforme para um lote de 10 peças apresentou um valor de 282,01 kWh, enquanto que nos tamanhos variados representou 253,95 kWh. Com isso verificou-se que os diferentes tamanhos dos trabalhos do cenário contribuem para redução de 11% da demanda de energia nesta etapa do processo, além de que houve uma variação de 14% do *lead time* com diferentes tamanhos de trabalhos quando comparados os cenários 1 e 2 (Schönemann et al., 2016).

Com estas informações disponíveis pelas ferramentas é possível auxiliar os gestores a desenvolver os produtos a fim de que se reduza o *lead time* e os custos de fabricação, especialmente para casos que demandam grandes volumes de produtos, onde esforços para melhorar os projetos podem ser viáveis e deveriam ser avaliados (Schönemann et al., 2014).

Deste modo, verificou-se que os resultados das implementações mostraram a influência de certas características dos produtos sobre a demanda de energia do sistema de produção, e que essas informações podem ser utilizadas durante o projeto e desenvolvimento do produto a fim de avaliar as opções de projetos considerando o custo de produção mais alto e o esforço de desenvolvimento (Bogdanski et al., 2013).

As simulações EVSM proporcionam ainda a oportunidade de avaliar a influência dinâmica dos cronogramas dos produtos múltiplos em termos de demanda e tempo de energia. A variação das diferenças de cronogramas dos produtos é avaliada sob julgamento do planejador e podem ser verificadas além dos cálculos estáticos (Malte Schönemann et al., 2016). Logo, verifica-se que o comportamento dinâmico do sistema de manufatura e os efeitos sobre os fluxos de valor de trabalho apresentado por essas ferramentas possibilitam aos planejadores de produção analisar os efeitos dos diferentes controles de estratégia para o seu sistema de fabricação sob simulação (Schönemann et al., 2014).

No setor de fundição, Schmidt et al. (2007) implementaram um procedimento com auxílio do diagrama Sankey para identificar principais ineficiências. Por meio deste método os autores verificaram através dos resultados a possibilidade de desenvolver certas características que indicam as ineficiências dentro do processo de produção, além de que este método pode ser introduzido em empresas de pequeno e médio porte.

Salonitis et al. (2016) utilizaram na implementação do EVSM neste setor um *software* desenvolvido por eles, denominado CRIMSON adaptado a esse contexto industrial. Constatou-se por meio desta aplicação melhores resultados relacionados à qualidade de

fundição devido ao melhor controle da taxa de preenchimento do material, economia de energia e alta eficiência de produção de material em etapas que demandavam alto consumo de energia.

Além disso, identificaram através da utilização da ferramenta que a qualidade do material durante o processo de fundição é um fator muito importante, pois a taxa de perda de material é um dos principais fatores que contribui para o alto consumo de material e energia no processo. Assim as oportunidades de melhoria neste campo dependem da qualidade e pureza da matéria-prima, pois requerem a redução da perda de material em cada processamento (Salonitis *et al.*, 2016).

Outro contexto industrial envolve o setor ferroviário, na metodologia de Posselt *et al.* (2014). Os resultados da implementação permitiram a comparação entre as atividades que agregam valor ou não divididas entre os processos e produtos. Neste caso, constatou-se um grande potencial de melhoria dentro das atividades que não agregavam valor, representando 60% da demanda global da empresa.

Além disso, destacou-se a relevância das reduções dos tempos de processo, uma vez que os processos com mais duração tendem a ser os que mais demandam consumo de energia. Deste modo, os autores constataram que a ferramenta não somente possibilitou uma visão detalhada do fluxo de energia das atividades que agregam ou não valor mas, também, permite ao planejador identificar e diferenciar os diversos produtos dentro do mesmo processo, criando assim cadeias de valores múltiplos dentro da metodologia (Posselt *et al.*, 2014).

A contribuição da metodologia de Thiede *et al.* (2016) no mesmo setor possibilitou a redução da demanda de material e energia. O *lead time* não foi comprometido, mas também houve uma diminuição. Com isso, foram feitos progressos significativos em todas as relações entre material, tempo e energia.

Assim como as metodologias, procedimento e ferramentas de EVSM implementadas nos setores mencionados acima, os modos de implementação utilizados nos outros setores da análise, possibilitaram contribuir com a identificação das atividades que agregam ou não valor, mas, além disso, permitiram o alcance de resultados econômicos e ambientais positivos. Deste modo possibilitaram a redução de consumo de material, energia e, tempo, influenciando assim na redução de custos no sistema de manufatura. Esses resultados puderam ser observados por Verma e Sharma (2016) na fabricação de um componente por processos CNC; Müller *et al.* (2014) em um laboratório de remoção de chips, Melvin e Baglee (2008) em uma

empresa de laticínios; Melsas *et al.* (2016) em uma planta de aquecimento distrital por meio da estratégia de programação de carga (LS) com relação à demanda de resposta (DSR); Bush *et al.* (2014) em uma fabricantes de peças para carro e em empresas de reciclagem de alumínio (Ghadimi *et al.*, 2014; Li *et al.*, 2017). Algumas pesquisas incluíram a utilização de redes bayesianas que mostrou-se útil para situação de carência de dados quantitativos, usando apenas informações das experiências dos colaboradores Keskin *et al.* (2013) e o uso do PDCA assegurando resultados e soluções sustentáveis (Drechsel *et al.*, 2013).

4.3. Vantagens e desvantagens do EVSM

Por meio dos resultados das implementações no setor industrial apresentado pela literatura, verificou-se que o EVSM pode ser um método alternativo para auxiliar no processo de auditoria. Mesmo existindo várias ferramentas eficientes para fazer a auditoria de energia que agrega valor ao processo, o mapeamento de fluxo de valor de energia é um dos quais consegue identificar energia que não agrega valor ao processo e ainda propor melhorias (Aadithya, 2016). Além disso é uma ferramenta que pode ser implementada facilmente nos três tipos de auditorias, sendo elas a auditoria através da caminhada, auditoria padrão e simulação computacional (Thumann e Younger, 2008).

Observou-se também que a ferramenta é compreensível, e os resultados são obtidos e interpretados de forma simples mesmo que o profissional não possua um conhecimento mais profundo da ferramenta, devido à sua estrutura de aplicação e utilização de símbolos padronizados (Schönemann *et al.*, 2016).

Entretanto, mesmo que sua aplicabilidade pareça ser simples, o EVSM apresenta algumas desvantagens, e uma delas está na aquisição dos dados, em que os processos são modelados com valores constantes com base em uma média de valores ou em uma única medição. Em uma perspectiva instantânea um único valor gera incertezas e compreende o risco de não capturar a situação atual do chão de fábrica, ou seja, a variação dinâmica do processo, apresentando assim uma situação defasada do sistema (Bogdanski *et al.*, 2013; Schönemann *et al.*, 2016).

Além disso, a aplicação do EVSM se limita também a um único produto ou uma família de produtos, esta limitação presente no método negligencia o comportamento dinâmico dos processos, a variação dos estágios de produção das máquinas, as restrições dos parâmetros do processos e recursos, bem como a influência das diferentes características dos produtos que requerem condições de processamento distintas e, portanto, contribuindo com

variações de consumo de energia na planta (Schönemann *et al.*, 2014; Schönemann *et al.*, 2016; Bogdanski, *et al* 2013; Keskin *et al.*, 2013).

Com isso, a visão estática apresentada por essa ferramenta devido à classificação limitada de produtos neste caso, limita sua implementação a sistemas de manufatura de produção em massa, dificultando sua aplicabilidade em sistemas de manufatura dinâmicos que compreende alta variabilidade de produtos e incertezas da prática industrial na aplicação contínua do EVSM (Li *et al.*, 2017; Thiede *et al.*, 2016).

No entanto, o EVSM é um método que leva em conta circunstâncias realistas e fornece informações valiosas tanto para engenheiros como projetistas, pois identifica e apresenta indicações claras da composição de demanda de energia de acordo com os subsistemas relevantes da fábrica e os diferentes estados de operação dos equipamentos envolvidos (Bogdanski *et al.*, 2013).

E em alguns setores industriais, tal como o de fundição, a aplicação do EVSM é ainda menos implementada devido à configuração da planta, pois requer grande quantidade de estoque de matéria-prima na entrada e longos tempos de planejamento o que geralmente dificulta o uso e implementação de pequenos lotes. Porém em alguns casos, o uso do EVSM possibilitou identificar diversos desperdícios durante cada etapa do processo, e descobriu-se que com mínima intervenção, a empresa poderia reduzir os desperdícios em 23% o que corresponde a uma significativa economia de energia (Salonitis *et al.*, 2016).

4.4. Framework sobre EVSM

Conforme apresentado nos resultados acima, a análise de literatura se resume na seguinte estruturação apresentada por meio de quatro figuras. Na Figura 2 detalha-se quais os tipos de fluxo e energia que foram analisados em cada artigo; na Figura 3 quais os modos de implementação foram utilizados; a Figura 4 apresenta os métodos e ferramentas de auxílio utilizadas nas simulações e metodologias; e, na Figura 5 apresentam-se os setores industriais selecionados para a implementação do EVSM.

Tipos de Fluxos	Mapeamento de Fluxo de Valor de Energia																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Energia	•		•		•		•					•	•	•		•	•	•			
Energia e Tempo		•								•					•				•		
Energia, Material e Tempo				•				•	•												•
Energia e Água						•														•	
Tipos de Energia																					
Energia que Agrega Valor					•									•							
Energia que Não Agrega Valor	•						•														
Energia que Agrega ou Não Valor				•		•				•	•	•	•			•		•	•	•	•
Energia que Agrega ou Não Valor e TBS		•	•				•	•							•		•				

Figura 2 – Tipos de fluxos e de energia

Modo de Implementação	Mapeamento de Fluxo de Valor de Energia																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Procedimentos	•						•					•	•	•							
Metodologias			•		•	•					•				•	•				•	•
Ferramentas de Simulação		•		•				•	•	•							•	•	•		

Figura 3 – Modos de implementação do EVSM

Métodos Complementares	Mapeamento de Fluxo de Valor de Energia																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Diagrama Sankey				•				•	•												•
MEFA				•				•	•												
PDCA						•														•	
M&V						•														•	
Auditoria	•																				
LCA								•													
Análise ABC					•																
Redes Bayesianas																•					
Modelo Periférico															•						
LS/DS														•							
Monte Carlo e AHP																		•			

Figura 4 – Métodos complementares

Setor Industrial	Mapeamento de Fluxo de Valor de Energia																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Eletrônico	•	•								•									•		
Fundição												•									•
Reciclagem de Alumínio				•					•												
Fabricação de Peças de Veículos Ferroviários								•									•				
Centros de Aquecimento														•							
Fabricantes de Peças Para Carros			•																		
Laticínios (Alimentos)													•								
Laboratório de Remoção de Chips															•						
Antenas Parabólicas										•											
SME e/ou Não Identificadas (ND)				•			•									•					

Figura 5 – Setores industriais

Os números inseridos na parte superior das quatro figuras representam os autores conforme serão apresentados na sequência: (1) Aadithya (2016); (2) Bogdanski *et al.* (2013); (3) Bush *et al.* (2014); (4) Li *et al.* (2017); (5) Drechsel *et al.* (2013); (6) Davies e Merwe (2014); (7) Verma e Sharma (2016); (8) Thiede *et al.* (2016); (9) Ghadimi *et al.* (2014); (10) Schönemann *et al.* (2016); (11) Faulkner e Badurdeen, (2014); (12) Salonitis *et al.* (2016); (13) Melvin e Baglee (2008); (14) Melsas *et al.* (2016); (15) Müller *et al.* (2014); (16) Keskin *et al.* (2013); (17) Posselt *et al.* (2014); (18) Schnellbach e Reinhart (2015); (19) Schönemann *et al.* (2014); (20) Davies e Merwe (2016) e (21) Schmidt *et al.* (2007).

4.5. Pontos relevantes da pesquisa

Além dos resultados apresentados anteriormente, tornou-se importante enfatizar a presença de quatro importantes constatações presentes na literatura quanto à implementação de medidas que contribuam na melhoria da eficiência energética das empresas.

A primeira constatação consiste na existência de barreiras durante a implementação de tecnologias para melhorar a eficiência energética dos sistemas de manufatura. Mesmo que as empresas tentem melhorar seu desempenho e direcionar esforços para questões sustentáveis por meio da adaptação e implementação de tecnologias que favoreçam a eficiência energética de suas plantas, sua utilização pode resultar em impactos indesejáveis sobre o sistema de produção.

Deste modo, dentro da primeira constatação existem três barreiras principais que impedem as empresas de utilizarem essas tecnologias. A primeira encontrada na literatura é a de recursos principalmente recursos financeiros para implementar medidas eficientes para recursos e energia. A segunda é a de produção, pois quaisquer mudanças na instalação do sistema de manufatura podem conduzir a grandes variações no desempenho em nível operacional, podendo causar riscos técnicos relacionados à interrupção da produção.

E a terceira barreira, ainda apresentada na primeira constatação, são as restrições tecnológicas em que as opções de adaptação podem enfrentar limitações de adequação quanto ao sistema existente em termo de espaço, capacidade e operação. Neste caso, limitando não somente o número de opções viáveis, mas também aumenta o risco de perturbações futuras no atual sistema de produção (Salonitis *et al.*, 2016; Ghadimi *et al.*, 2014).

Segundo Salonitis *et al.* (2016), em alguns casos presentes em pequenas e médias empresas (PME) as principais barreiras que impedem o investimento em melhorias da

eficiência energética da planta são os recursos insuficientes, falta de tempo e carência de colaboradores preparados.

Na segunda constatação, verificou-se que o consumo de energia tem relação direta com a sustentabilidade ambiental devido ao uso de recursos não renováveis e emissão de gases do efeito estufa.

A terceira constatação observada também foi que a maioria das plantas existentes não possui sistema de medição de energia que possibilitem fazer a gestão e monitoramento dos processos ou equipamentos, do consumo de potência nominal ou fator de carga. Geralmente resultados são obtidos através de uma estimativa grosseira após uma visita panorâmica no chão de fábrica (Ghadimi *et al.*, 2014). Mesmo com a carência de sistemas de mensuração, a medição e monitoramento do consumo de energia é importante, pois identificará a quantidade de energia consumida por cada processo bem como a energia consumida entre os processos por transporte e armazenamento (Faulkner e Badurdeen, 2014).

Na última constatação verificou-se por meio dos resultados apresentados na literatura que as atividades de manutenção e programação da produção inapropriadas têm grande influência na ineficiência da planta, pois afetam o tempo de inatividade das máquinas e o fluxo de produção, contribuindo para o aumento do consumo de energia (Melvin e Baglee, 2008).

5. Conclusões

A análise de literatura realizada através dos procedimentos metodológicos adotados neste artigo possibilitou obter 21 artigos que condiziam com o contexto da pesquisa, onde se teve acesso a dados e informações do contexto de aplicação do EVSM no setor industrial, em que foi possível identificar os principais modos de implementação, os tipos de setores industriais onde foram feitas a aplicação, métodos complementares e vantagens e desvantagens do método.

Constatou-se por meio da análise de literatura que a implementação do EVSM independentemente do modo de aplicação o método apresenta vantagens na identificação e visualização das atividades que agregam ou não valor e, também, contribuiu para a redução do consumo de energia por meio do constante processo de melhoria. As desvantagens do método observadas consistem na sua representação estática e limita-se a visualizar o fluxo de informações de um produto ou família apenas.

Por meio dos resultados obtidos, verificou-se que o EVSM foi implementado nas empresas usando-se ferramentas de simulação dinâmica que contribuíram para apresentar resultados similares com a situação real do chão de fábrica e através de procedimentos e metodologias. A distinção destes dois últimos modos de implementação consiste na utilização de outros métodos tais como diagrama Sankey, MEFA, PDCA e LCA.

Entre esses métodos complementares implementados junto ao EVSM, os mais utilizados foram o diagrama Sankey e a MEFA, pois flexibilizam a visualização de problemas e ineficiências dos fluxos nas etapas do sistema de manufatura. Além disso, os resultados possibilitaram mostrar que os setores industriais que mais implementaram o método em sua maioria foram as indústrias de eletrônicos, fundição, ferroviária e reciclagem de alumínio. Ainda neste trabalho foi desenvolvida uma estrutura que facilitou a identificação dos contextos de utilização do método por cada autor.

Apesar das diversas aplicações, sua utilização ainda é um campo emergente a ser explorado. Com isso, alguns métodos que poderiam ser complementados na utilização do EVSM seriam, o projeto para o meio ambiente (do inglês, *Design for Environment*) (DFE) pois é uma ferramenta que contribui para a minimização do consumo de recursos e o impacto ambiental durante o projeto do produto e a ferramenta 5W2H (do inglês, representa *What, Why, Where, When, Who*, e o 2H *How e How Much*) pois auxiliaria na tomada de decisões sobre as ações que podem ser realizadas para eliminar as ineficiências do sistema de manufatura. Além disso, deve-se verificar a influência da análise do berço-ao-berço (do inglês, *cradle-to-cradle*) no uso do EVSM, pois este modelo dispõe a gestão dos recursos de uma forma lógica circular desde a criação à reutilização do produto considerando os consumos de energia das etapas de reuso, reciclagem e remanufatura dos produtos nos processos.

Portanto, por meio desta pesquisa foi possível observar os principais modos e setores industriais de implementação do EVSM e as vantagens e desvantagens da ferramenta na gestão de energia dos sistemas de manufatura. Com as lacunas apresentadas pela pesquisa foi possível sugerir alternativa de métodos que poderiam ser utilizadas em pesquisas futuras para aprimorar e investigar com maior profundidade a sua aplicação.

REFERÊNCIAS

- Aadithya, G. (2016). Application of energy value stream mapping as auditing tool for non-value added industrial energy management. *Ieee*, 62–66.
- Bogdanski, G., Schönemann, M., Thiede, S., Andrew, S., & Herrmann, C. (2013). An extended energy value stream approach applied on the electronics industry. *IFIP WG 5.7 International Conference on Advances in Production Management Systems, APMS 2012*, 397(1), 65–72. http://doi.org/10.1007/978-3-642-40352-1_9
- Bush, A., Palasciano, C., Portioli Staudacher, A., Taisch, M., & Vitali, S. (2014). Investigating lean methodology for energy efficient manufacturing. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 439 (2), 508–517. http://doi.org/10.1007/978-3-662-44736-9_62
- Davies, E., & Merwe, K. (2014). Development of a framework for a lean based water and energy efficiency tool, *South African Journal of Industrial Engineering* 5(2), 95–104.
- Davies, E., & Merwe, K. (2016). Methodology to produce a water and energy stream map (WESM) in the South African manufacturing industry. *South African Journal of Industrial Engineering*, 27(3), 219–229. <http://doi.org/10.7166/27-3-1657>
- Drechsel, M., Bornschlegl, M., Spreng, S., Bregulla, M., & Franke, J. (2013). A new approach to integrate value stream analysis into a continuous energy efficiency improvement process. *IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference)*. <http://doi.org/10.1109/IECON.2013.6700382>
- Environmental Protection Agency US (2007). The lean and environment toolkit. Prevention, 96. Disponível em: <http://www.epa.gov/lean>. Acesso em: 18 de junho de 2017.
- Erlach, K. (2011). Increasing energy efficiency using energy value stream mapping. *National Energy Efficiency Conference*, 1–30.
- Faulkner, W., & Badurdeen, F. (2014). Sustainable value stream mapping (Sus-VSM): methodology to visualize and assess manufacturing sustainability performance. *Journal of Cleaner Production*, 85, 8–18. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.042>
- Ferenhof, H.A., Vignochi, L., Selig, P.M., Lezana, G.R., & Campos, L.M.S. (2014) Environmental management systems in small and medium-sized enterprises: An analysis and systematic review. *Journal of Cleaner Production*, 74, 44-53. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.03.027>
- Ghadimi, P., Li, W., Kara, S., & Herrmann, C. (2014). Integrated material and energy flow analysis towards energy efficient manufacturing. *Procedia CIRP*, 15, 117–122. <http://doi.org/10.1016/j.procir.2014.06.010>
- Keskin, C., Asan, U., & Kayakutlu, G. (2013). Value stream maps for industrial energy efficiency. *ResearchGate*, 129, 1–29. <http://doi.org/10.1007/978-1-4471-5143-2>
- Li, W., Thiede, S., Kara, S., & Herrmann, C. (2017). A Generic sankey tool for evaluating energy value stream in manufacturing systems. *Procedia CIRP*, 61, 475–480. <http://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.174>
- Melsas, R., Rosin, A., & Drovtar, I. (2016). Value stream mapping for evaluation of load scheduling possibilities in a district heating plant. *EEEIC 2016 – International Conference on Environment and Electrical Engineering*. <http://doi.org/10.1109/EEEIC.2016.7555696>
- Melvin, A., & Baglee, D. (2008). Value stream mapping: A dairy industry prospective. *2008 IEEE International Engineering Management Conference*, 1–5. <http://doi.org/10.1109/IEMCE.2008.4618003>
- Müller, E., Stock, T., & Schillig, R. (2014). A method to generate energy value-streams in production and logistics in respect of time- and energy-consumption. *Production Engineering*, 8(1–2), 243–251. <http://doi.org/10.1007/s11740-013-0516-9>
- Posselt, G., Fischer, J., Heinemann, T., Thiede, S., Alvandi, S., Weinert, N., & Herrmann, C. (2014). Extending energy value stream models by the TBS dimension - applied on a multi product process chain in the railway industry. *Procedia CIRP*, 15, 80–85. <http://doi.org/10.1016/j.procir.2014.06.067>
- Rother, M., & Shook, J. (2003). Learning to See - value stream mapping to create value and eliminate muda. *Lean Interprises Institute (Vol 1.3, Chap 1, pp4)*.
- Salonitis, K., Zeng, B., Mehrabi, H. A., & Jolly, M. (2016). The challenges for energy efficient casting processes. *Procedia CIRP*, 40, 24–29. <http://doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.043>

- Schmidt, M., Raible, C., Keil, R., & Gräber, M. (2007). Energy and material stream mapping. Recovery of Materials and Energy for Resource Efficiency. Davos, 7, 3–5. Disponível em: http://umwelt.hs-pforzheim.de/fileadmin/dokumente/2007/English/Schmidtetal_MSM_2007_R07.pdf. Acesso em: 18 de junho de 2017.
- Schnellbach, P., & Reinhart, G. (2015). Evaluating the effects of energy productivity measures on lean production key performance indicators. *Procedia CIRP*, 26, 492–497. <http://doi.org/10.1016/j.procir.2014.07.094>
- Schönemann, M., Kurle, D., Herrmann, C., & Thiede, S. (2016). Multi-product EVSM simulation. *Procedia CIRP*, 41, 334–339. <http://doi.org/10.1016/j.procir.2015.10.012>
- Schönemann, M., Thiede, S., & Herrmann, C. (2014). Integrating product characteristics into extended value stream modeling. *Procedia CIRP*, 17, 368–373. <http://doi.org/10.1016/j.procir.2014.01.091>
- Srivastava, S. K. (2007). Green supply-chain management: a state-of-the-art literature review. *International Journal of Management Reviews*, 9(1), 53–80. <http://doi.org/10.1111/j.1468-2370.2007.00202.x>
- Thiede, S., Li, W., Kara, S., & Herrmann, C. (2016). Integrated analysis of energy, material and time flows in manufacturing systems. *Procedia CIRP*, 48, 200–205. <http://doi.org/10.1016/j.procir.2016.03.248>
- Thumann, A., & Younger, W. (2008). Energy auditing basics. *Handbook of Energy Audits*. The Fairmont Press (Ed.) (Vol. 7, Chap 1, pp 1-2).
- Verma, N., & Sharma, V. (2016). Energy value stream mapping a tool to develop green manufacturing. *Procedia Engineering*, 149(June), 526–534. <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.701>



This journal is licenced under a Creative Commons License. Creative Commons - Atribuição-CompartilhaIgual 4.0 Internacional.