

Extensão do mapa de fluxo de valor para avaliação do desempenho energético em consumidores industriais cativos

Fabício Nicoletti Hedlund Universidade Federal de Santa Catarina
fabricio.hedlund@gmail.com.br

Fernando Antônio Forcellini Universidade Federal de Santa Catarina forcellini@gmail.com.br

Resumo

O setor industrial consome a maior parcela da eletricidade no Brasil e medidas que aumentem a sua performance energética, em especial para os consumidores cativos que estão sujeitos a elevadas tarifas, proporcionam benefícios ambientais e econômicos a toda cadeia de suprimentos. Avaliações do desempenho de uma organização podem ser realizadas por meio da ferramenta Lean de Mapa do Fluxo de Valor, inclusive para a energia elétrica. Entretanto, os estudos não apresentam os impactos dos desperdícios das demandas de energia na demanda global da organização. Assim, é proposta uma extensão para viabilizar o aumento da performance energética de consumidores industriais cativos em termos da energia demandada com a validação por um estudo de caso. A partir da avaliação do desempenho energético do fluxo de valor foi possível identificar oportunidades para aumentar a eficiência do sistema elétrico.

Palavras-Chaves: desempenho energético, consumidores industriais, mercado cativo, mapa do fluxo de valor

1. Introdução

A avaliação do desempenho energético da classe de consumo industrial é fundamental para que medidas de redução dos impactos ambientais e econômicos sejam implementadas. O consumo de eletricidade das indústrias no Brasil entre 2006 e 2015 cresceu 4,38% ao ano, consumiu a maior parcela (41,98%) de toda eletricidade e corresponde a 0,80% do total de consumidores (BRASIL, 2016). Destes consumidores industriais, 99,72% estão sujeitos à tarifa do mercado cativo, uma das mais elevadas no mundo (CORREIA; CULCHESK; REGO, 2016). Dessa forma, medidas para aumentar a eficiência energética neste setor beneficiam tanto o lado da oferta, postergando investimentos na capacidade instalada da geração, transmissão e distribuição (STRBAC, 2008), como o lado da demanda, uma vez que os custos estão relacionados diretamente com as tarifas.

A abordagem do *Lean manufacturing* auxilia os sistemas produtivos a melhorar seu desempenho operacional por meio de princípios que buscam a eliminação sistemática de desperdícios (MONDEN, 2011). A principal ferramenta que permite entender os fluxos de produção para reconfiguração do sistema na visão *Lean* é o Mapa do Fluxo de Valor – MFV (LASA; LABURU; VILA, 2008). Esta ferramenta foi estendida para avaliação de outros objetivos das organizações, como ambiental, saúde, econômico e energético. Ressalte-se, no entanto, que não são apresentados os impactos do desperdício de cada processo na demanda global da organização. Este estudo abordará o mapeamento do fluxo de valor incorporando métricas para avaliar a curva de demanda de modo a melhorar o desempenho energético dos consumidores cativos industriais.

O estudo está estruturado da seguinte forma: referencial teórico descrevendo os estudos relacionados ao mapeamento do fluxo de valor e suas extensões, o cenário atual do setor elétrico para os consumidores cativos, apresentação da proposta de extensão do MFV, um estudo de caso de uma indústria cativa de Santa Catarina e as conclusões sobre o estudo.

2. Referencial teórico

2.1. Mapa do fluxo de valor e suas extensões

O propósito do *Lean manufacturing* é o aumento da produtividade através da redução de custos associados a desperdícios (MONDEN, 2011). Os princípios que sustentam esta abordagem são baseados na visão do cliente, seguindo o ciclo de especificar o valor, identificar o seu caminho, dar fluxo para a sua produção, suportar o seu fluxo e reduzir para zero os desperdícios (WOMACK; JONES, 1996; HINES; HOLWEG; RICH, 2004). Em termos de valor, a organização tem suas atividades categorizadas em três tipos (MONDEN, 2011; HINES; RICH, 1997). O primeiro tipo são as atividades que agregam valor, transformam o produto ao longo de suas operações. Os outros dois tipos não agregam valor e são caracterizados como desperdícios, porém podem ser separadas em necessárias e desnecessárias para as condições atuais de operação. A ferramenta que suporta a reconfiguração dos processos baseado em seus princípios é o MFV (LASA; LABURU; VILA, 2008).

O MFV é uma ferramenta efetiva para a identificação de desperdícios e melhoria de processos (DAL FORNO et al., 2014). Representa visualmente as etapas dos fluxos de materiais e informações necessárias para entregar o produto ao cliente (ROTHER; SHOOK, 1999). Em cada etapa do processo, dados são coletados para medir o seu desempenho. As principais

métricas para cada ponto são o tempo de ciclo, *up time* ou utilizações de recursos, tempo de *set-up* ou de troca, estoque de materiais processados, quantidade de operadores (SINGH; GARG; SHARMA, 2011). O MFV do estado atual de operação apresenta o desempenho da produção de um produto e pode ser visto como uma linha base para desenvolver a situação futura, na qual deverá haver menos desperdícios.

Apesar de esta ferramenta ser útil na identificação de desperdícios, existem algumas limitações (HINES et al., 1998; CARVALHO et al., 2014) com tentativas de contorno, como na complexidade de processos (BRAGLIA; CARMIGNANI; ZAMMORI, 2006), em incertezas de demanda (LU; YANG; WANG, 2011) e na caracterização de outros tipos de desperdícios, de modo a se aproveitar da visão holística da ferramenta. Estudos sugeriam que iniciativas *Lean* indiretamente beneficiavam o desempenho ambiental (US EPA, 2003), sendo suas ferramentas de apoio adaptadas para avaliar o impacto de desperdícios como energia, água, resíduos materiais e emissões de dióxido de carbono.

As propostas de extensão do MFV à avaliação de desperdícios ambientais não convergiram para um mesmo modelo. Inicialmente, as avaliações foram no nível da cadeia de valor e no ciclo de vida dos produtos e identificam, especialmente, as ações de logística impactavam no desenvolvimento sustentável (SIMONS; MASON, 2002). Num segundo momento, a análise passou ao nível da planta com a utilização de métricas específicas em cada área de interesse, como resíduos de perigo (KARP, 2005), energia e poluentes (US EPA, 2007). A representação de novas métricas seguiu o padrão da linha temporal, com a incorporação de uma nova linha ao mapa.

As extensões do MFV com ênfase na eletricidade também não convergiram. Os pontos de maior controvérsia são relativos à caracterização da energia que pode ser considerada como energia que agrega valor (EVA) e os desperdícios, vistos como energia que não agrega valor (ENVA). Alguns estudos caracterizam a EVA como toda a energia utilizada durante o tempo de processamento, incluindo o tempo ciclo (EPA, 2007), enquanto outros afirmam que dentro do tempo de processamento existem desperdícios que devem ser avaliados (MÜLLER; STOCK; SCHILLIG, 2013, BOGDANSKI et al., 2013). De todo modo, a métrica envolvida é a quantidade de energia consumida, expressa em kWh, durante cada operação do processo produtivo.

Apesar da expansão do MFV, alguns pontos carecem de análise, principalmente o impacto do desperdício na curva de demanda. Os estudos apresentam a análise do consumo de energia para os tempos de ciclo ou processamento sem avaliar o impacto do seu consumo ao longo

período de faturamento ou ao longo do intervalo de integração da demanda. A análise das demandas associadas a desperdícios pode viabilizar o aumento o desempenho energético da indústria, principalmente na priorização dos pontos que devem ser reorganizados.

2.2. Setor elétrico e a indústria no Brasil

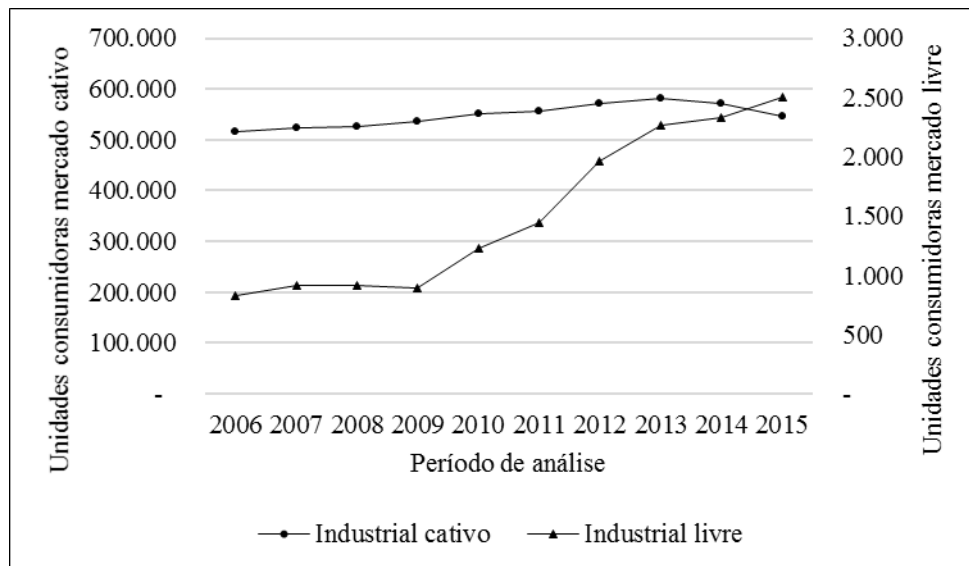
Desde a década de 1980, o setor de energia elétrica em todo o mundo está em contínuo processo de transformação, cada qual com suas particularidades, porém, na direção de estabelecer uma estrutura de mercado. As reformas deste setor tiveram como objetivos a redução do preço da eletricidade, aumento da eficiência na indústria como um todo e atração de capital privado. No Brasil, as reformas iniciaram a partir 1995. Entre 2001 e 2002, o país sofreu com um período de secas que, em conjunto com a expansão da geração abaixo dos valores esperados, levou o governo a tomar medidas de racionamento de eletricidade e a propor medidas para assegurar o fornecimento e reduzir os impactos tarifários. Assim, para incentivar as transações de energia, foram criados dois ambientes de contratação, o regulado ou cativo (ACR) e o livre (ACL). No ACR, as distribuidoras compram energia elétrica em leilões públicos e repassam via tarifas de energia aos seus consumidores, conhecidos como cativos. No ACL, os consumidores negociam livremente seus contratos de compra de energia com geradores e comercializadores.

Os consumidores cativos estão restritos à eletricidade da distribuidora local, ficando sujeitos às suas tarifas. Já os consumidores livres podem adquirir energia elétrica de outros fornecedores, utilizando o sistema elétrico da distribuidora local (BRASIL, 2010). Até 2009, os consumidores livres deviam ter contratos de demanda mínimos de 3 MW, porém, como forma de incentivar a geração distribuída no país e ampliar este mercado, o valor foi reduzido para 500 kW. Assim, a classe de consumo industrial pode comprar energia em dois ambientes, o regulado e o livre, desde que atenda aos requisitos do ACL.

Os consumidores industriais concentram-se no mercado regulado (99,72%) e respondem por 17,31% do consumo do país (BRASIL, 2016). Já os consumidores industriais livres são 0,28% do total, porém representam 24,40% do consumo. Enquanto no mercado livre os consumidores podem negociar os seus contratos de compra e venda de energia, no mercado cativo não existe opção de escolha de fornecedor. Dessa forma, a maioria absoluta das indústrias encontra-se no mercado cativo e sujeitos à sua realidade tarifária.

A Figura 1 apresenta a evolução de unidades consumidoras no Brasil entre 2006 e 2015. A partir de 2009, houve a migração de consumidores para o mercado livre devido à atratividade dos preços praticados e a redução do requisito do contrato de demanda.

Figura 1 – Unidades consumidoras industriais nos mercados cativo e livre no Brasil entre 2006 e 2015



Fonte – Adaptado de BRASIL, 2016

Os custos aos consumidores cativos industriais são relacionados ao fornecimento da eletricidade e ao uso do sistema elétrico com periodicidade mensal, variando entre 27 e 33 dias consecutivos (BRASIL, 2010). Dentro deste ciclo existem intervalos menores de faturamento para mensurar a quantidade de energia requerida. A cada 15 minutos ocorre a integralização dos dados de potência ativa, resultando na demanda de energia, que relaciona o consumo e o tempo num mesmo intervalo. Isto significa que ocorrem 4 intervalos de faturamento a cada hora, 96 ao longo de um dia e variando entre 2.592 e 3.168 para o ciclo completo. Os consumidores devem contratar montantes para uso do sistema de distribuição baseados na sua demanda e, caso a ultrapassem em qualquer um dos 2.592 intervalos mínimos e, caso ultrapassem em mais de 5% esse valor, será penalizado. Assim, monitorar e controlar a curva de demanda dos sistemas produtivos possibilitam a adequação do contrato de demanda, bem como evitar de ser penalizado por ultrapassagens, contribuindo para a eficiência do sistema elétrico.

Ainda, existe a aplicação de tarifas diferenciadas para o consumo e a demanda de energia ao longo do dia conhecidos como postos tarifários e divididos em ponta e fora de ponta. O primeiro é composto por 3 horas diárias consecutivas com exceção realizada a dias não úteis.

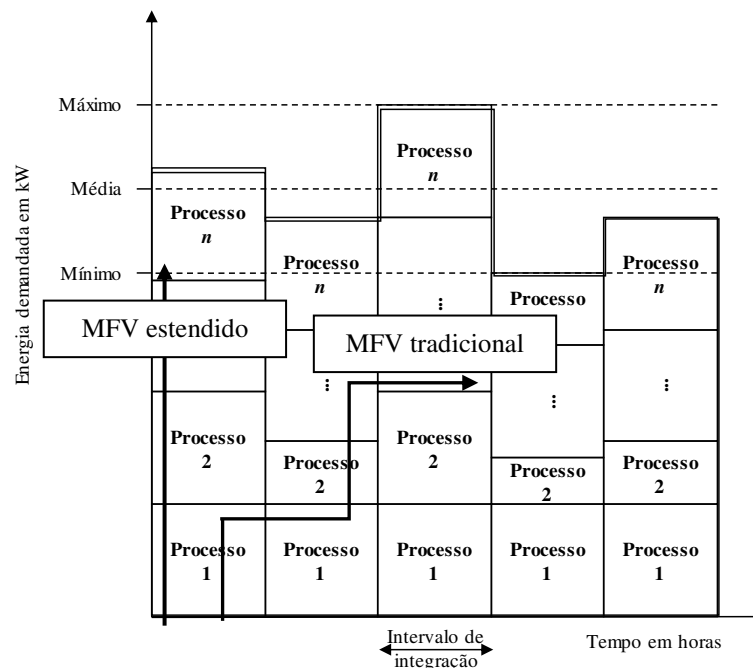
O segundo é composto pelas horas diárias consecutivas e complementares ao posto tarifário de ponta. Esses horários são definidos com base na curva de carga do sistema elétrico de cada distribuidora. O horário de ponta é período em que ocorrem os valores máximos de carga do sistema, possuindo tarifas mais elevadas do que as do horário fora ponta. Esta medida de influenciar os períodos de consumo é conhecida como Gestão pelo Lado da Demanda (GELLINGS, 1985) e resulta no uso racional da energia, na otimização da alocação de recursos e na redução de impactos ao meio ambiente, com reflexos no preço da eletricidade.

3. Expansão do método de mapa de fluxo de valor à eletricidade

Esta extensão do MFV busca ampliar o atual mapeamento do desempenho operacional para avaliar o desempenho energético acrescentando três etapas. Estas são a coleta de dados energéticos, a seleção e análise das demandas de energia que não agregam valor, e a implementação da melhoria da performance com a verificação dos resultados.

Na aplicação tradicional do MFV, a leitura dos dados do fluxo de valor ocorre transversalmente à linha do tempo, conforme Figura 2. Nesta proposta, a leitura ocorre de forma perpendicular à linha do tempo, avaliando as cargas, separando em termos de energia que agrega (EVA) e não agrega valor (ENVA). Como os processos produtivos ocorrem de modo simultâneo, acumulando suas demandas individuais à demanda global, essa avaliação permite identificar medidas que permitam alterar a curva de demanda de forma consciente.

Figura 2 – Comparativo entre a abordagem tradicional de análise do desempenho operacional e a nova proposta para o desempenho energético



3.1. Coleta de dados

Os indicadores da performance energética devem estar relacionados a eficiência, utilização e consumo da energia (ABNT, 2011), sendo adicionada a métrica de energia demandada que é a taxa na qual a energia é consumida ao longo de um intervalo. Os processos produtivos refletem diretamente na demanda, sendo que para cada intervalo de integração as cargas operam em variados estados de consumo (exemplo: desligada, em espera ou processamento), tendo como característica a variabilidade. O seu máximo valor ocorre quando há um acúmulo no consumo de eletricidade durante um intervalo. O pico influencia na ineficiência do sistema elétrico, uma vez que este deve projetar o fornecimento para as máximas demandas, considerando perdas ao longo do sistema e aumentos no consumo inesperados. Entender a curva de demanda auxilia na escolha pela modalidade tarifária que irá proporcionar a menor tarifa, definir os montantes de energia e minimizar ultrapassagens de contrato. Os indicadores de desempenho quantificam dados energéticos de modo a criar referenciais, que posteriormente serão utilizados para comparação. Deste modo, necessita-se quantificar a energia demandada durante o tempo de processamento em cada operação do fluxo de valor e o seu pico.

Nesta extensão do VSM para a avaliação da energia elétrica são inseridas informações referentes à demanda de energia da mesma forma que é realizada em relação ao tempo, entretanto, sem incluir os estoques devido o propósito ser a avaliação da curva de demanda de energia.

3.2. Seleção e análise das ENVA

Os processos com as maiores contribuições individuais de demanda são selecionados para avaliação dos dados de operação e de energia. Com o entendimento do comportamento da operação refletido na energia, busca-se identificar os períodos em que a energia demandada pode ser considerada como ENVA. Para esta extensão, toda energia consumida em processos que possuam baixo carregamento/utilização, operação no horário de ponta e que o seu desligamento temporário não interfira nos processos seguintes são consideradas como ENVA. Esta definição procura abranger a energia que é utilizada de forma desnecessária, com baixa eficiência operacional. Além do consumo evitado causado pela sua ineficiência, a operação no horário de ponta eleva os custos energéticos e deve ser evitado.

A diferenciação entre as demandas EVA e ENVA ocorre pela avaliação da real necessidade de uso do equipamento elétrico naquele período. Busca-se identificar oportunidades de baixo

investimento, mas que tragam benefícios de curto e longo prazo. Por exemplo, a energia demandada por um processo pode ser avaliada em alguns períodos do turno produtivo como EVA e em momentos ociosos como ENVA, sendo o foco da eliminação. Idealmente, deve-se coletar todas as entradas de energia em cada processo, incluindo as relativas às instalações que são compartilhadas entre os processos.

3.3. Implementação e verificação de resultados

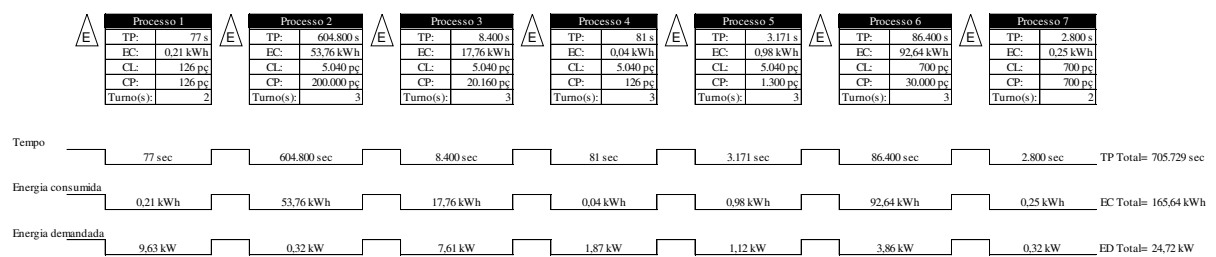
Com os períodos de energia ENVA buscam-se propostas de melhoria visando eliminar estes períodos. As curvas de demanda após a implementação devem ser coletadas e comparadas com as linhas de referência afim de verificar os resultados.

4. Estudo de caso

O estudo de caso foi aplicado em uma indústria cativa brasileira que fabrica componentes eletrônicos para carros e indústria, localizada em Santa Catarina. O seu sistema de manufatura é setorizado em quatro áreas, denominadas A, B, C e D e possui três famílias de produtos. O setor B é o único setor que opera em três turnos produtivos e a família de produtos de maior demanda mensal passa por seus processos, de modo que a análise do desempenho energético será realizada nesse setor.

A Figura 3 apresenta o MFV estendido à eletricidade. Os dados usuais coletados foram mantidos, auxiliando o entendimento de como o consumo ocorre e como se relaciona com os outros processos. Observou-se que pelo estado atual da performance de energia que o impacto desses processos na demanda total da organização foi de 24,72 kW, sendo que os processos 1 (9,63 kW) e 3 (7,61 kW) são os maiores e assim selecionados.

Figura 3 – Mapa de fluxo de valor estendido à energia elétrica

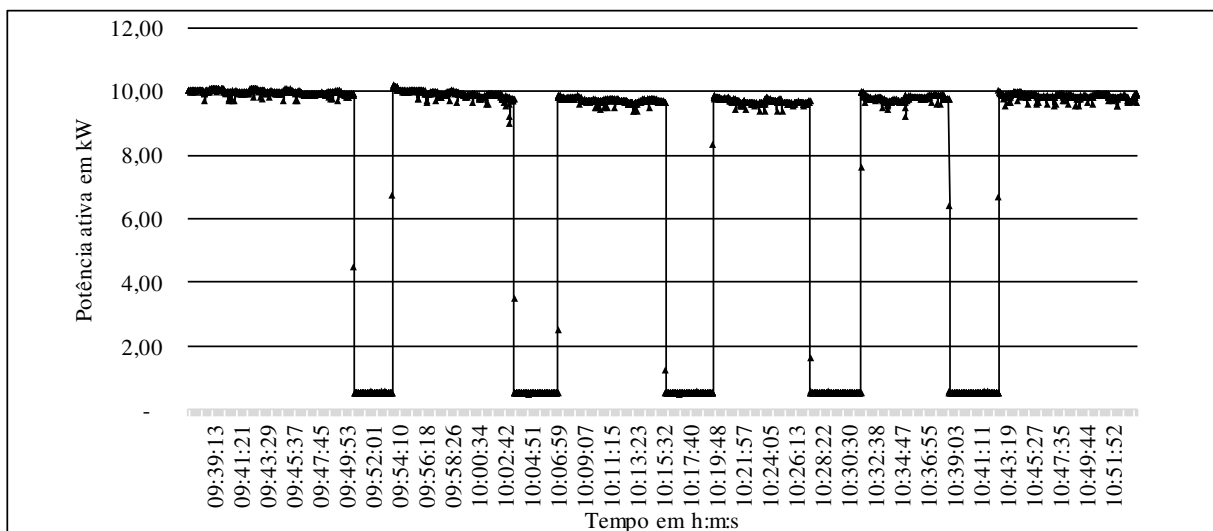


A análise dos períodos de ENVA identificou que o processo 3 opera de forma ininterrupta durante os três turnos produtivos de modo a atender o processo 4, que possui um baixo tempo de processamento. Ainda, o processo 3 opera no horário de ponta e, se o seu carregamento for alterado, é possível desligá-lo neste horário. O processo 1 opera em dois turnos, possui baixo

tempo de processamento e não opera de forma ociosa. Além disso, opera em 2 turnos, resultando num menor impacto ao longo do tempo.

Uma vez identificado o processo com maiores potenciais para melhoria do desempenho energético, avaliou-se a sua curva de demanda. Este processo possui uma estufa elétrica com potência instalada de 18 kW, enquanto que a sua demanda média é de 7,61 kW. A Figura 4 apresenta a sua curva típica de potência ao longo do primeiro turno. Analisando esta curva foi possível confirmar o seu baixo carregamento, com as quedas na curva conforme são inseridas ou retiradas cargas do processo. Esta operação influencia no consumo não somente em relação à energia elétrica que deve ser convertida em térmica para compensar a perda de calor, mas com parte da energia devido à baixa eficiência do processo. A medida sugerida foi de elevar o carregamento desse processo de modo a deixar de operar no horário de ponta, porém sem influenciar no processo seguinte. Assim, o processo 3 deveria produzir dois lotes com carregamentos mínimos de 75% antes do horário de ponta para não afetar o processo 4 durante este horário que não estaria em funcionamento. Isto foi necessário devido ao elevado tempo de processamento do processo 3, sendo o primeiro lote para suprir o horário de ponta, enquanto que o segundo serve para compensar o tempo necessário para a produção do lote seguinte sem que o sistema fosse alterado.

Figura 4 – Curva de potência ativa do processo 3 durante um dia típico de operação



A implementação da sugestão de alteração da operação do processo 3 foi executada durante oito dias. Foi instalado um controlador temporizador para liberar o seu acionamento em determinados horários de forma automática. Assim, o operador poderia realizar o carregamento prévio durante o horário de ponta, enquanto o equipamento estivesse desligado.

As Figuras 5 a 6 apresentam os valores de desempenho energético antes e após a implementação da medida sugerida pela análise do MFV. A redução no pico de demanda foi de 8,76 kW ou de 10,20% em relação a média dos valores anteriores, enquanto que a redução na energia demandada foi de 8,45 kW ou 10,54%.

Figura 5 – Pico de energia demanda antes e depois da implementação do estudo de caso no horário de ponta

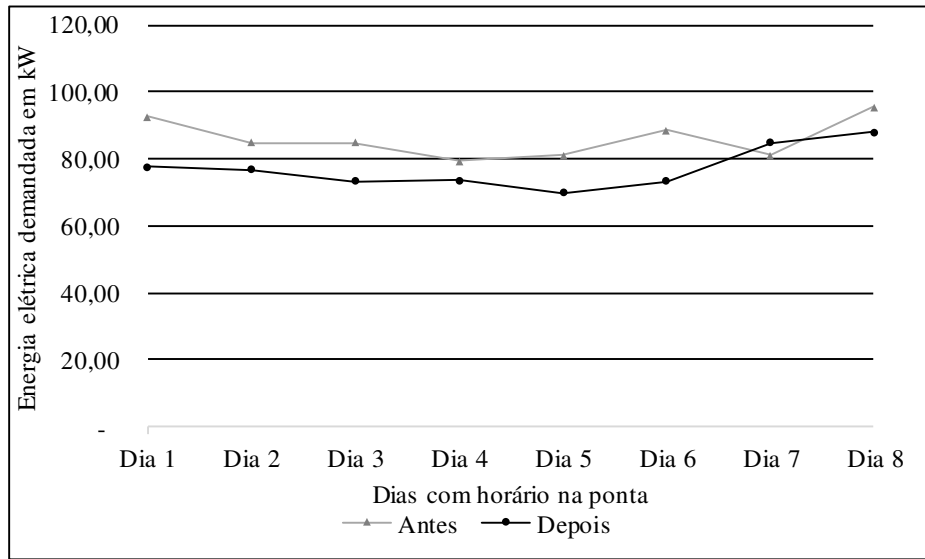
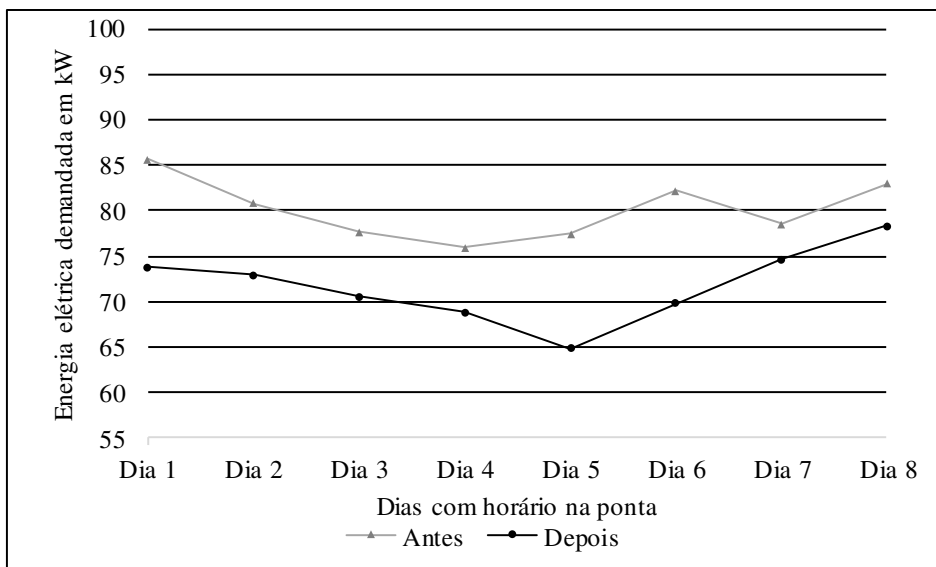


Figura 6 – Energia elétrica demandada antes e depois da implementação do estudo de caso no horário de ponta



5. Conclusão

A avaliação do desempenho energético das indústrias integrantes do mercado cativo deve ser um esforço contínuo, não somente pela sua participação de 17,31% do consumo total, mas por

representar a maior parcela de consumidores sujeitos a elevadas tarifas. Nesse sentido, a proposta de expansão do MFV para avaliar, em conjunto com o desempenho operacional, a performance da energia, viabiliza a identificação de oportunidades que contribuam para os dois lados da cadeia de suprimentos.

Com a análise das demandas de energia dos processos é possível direcionar os esforços. As medidas de melhoria no desempenho são percebidas na demanda global, inclusive nos valores dos picos de demanda. A avaliação dos tempos de processamento de energia que agrega e não agrega valor permite localizar ineficiências nas operações. Por mais que a abordagem *Lean* tenha como princípio o fluxo de produção, a proposta sugeriu a adequação do lote de produção para aumentar a eficiência em relação ao desempenho energético, sem alterar o desempenho operacional.

Para estudos futuros, pretende-se avaliar o desempenho energético entre os processos, os estoques, uma vez que estes compartilham a energia de mais de um processo. Ainda, cabe analisar a expansão da definição da energia que não agrega valor para incluir outros desperdícios que influenciam o desempenho energético, visando maximizá-lo.

REFERÊNCIAS

- BOGDANSKI, Gerrit et al. **An extended energy value stream approach applied on the electronics industry**. In: IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems. Springer Berlin Heidelberg, 2012. p. 65-72.
- BRAGLIA, Marcello; CARMIGNANI, Gionata; ZAMMORI, Francesco. **A new value stream mapping approach for complex production systems**. International journal of production research, v. 44, n. 18-19, p. 3929-3952, 2006.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Resolução normativa nº 414**. Brasília. 2010.
- _____. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Anuário estatístico de energia elétrica 2016**. Brasília, 2016.
- CARVALHO, Dinis et al. **Waste identification diagrams with OEE data**. In: XX International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (ICIEOM 2014). ICIEOM, 2014. p. 313-320.
- CORREIA, Paula Juliana; CULCHESK, Aline Silva; REGO, Erik Eduardo. **Is the energy tariff expensive for captive customers in Brazil?**. IEEE Latin America Transactions, v. 14, n. 11, p. 4506-4511, 2016.
- DAL FORNO, Ana Julia et al. **Value Stream Mapping: a study about the problems and challenges found in the literature from the past 15 years about application of Lean tools**. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 72, n. 5-8, p. 779-790, 2014.
- GELLINGS, Clark W. **The concept of demand-side management for electric utilities**. Proceedings of the IEEE, v. 73, n. 10, p. 1468-1470, 1985.

HINES, Peter et al. **Value stream management**. The International Journal of Logistics Management, v. 9, n. 1, p. 25-42, 1998.

HINES, Peter; HOLWEG, Matthias; RICH, Nick. **Learning to evolve: a review of contemporary lean thinking**. International journal of operations & production management, v. 24, n. 10, p. 994-1011, 2004.

HINES, Peter; RICH, Nick. **The seven value stream mapping tools**. International journal of operations & production management, v. 17, n. 1, p. 46-64, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR ISO 50001: Sistemas de gestão da energia. Rio de Janeiro, 2011.

KARP, Heidi R. **Green suppliers network: Strengthening and Greening the manufacturing supply base**. Environmental Quality Management, v. 15, n. 2, p. 37-46, 2005.

LASA, Ibon Serrano; LABURU, Carlos Ochoa; VILA, Rodolfo de Castro. **An evaluation of the value stream mapping tool**. Business process management journal, v. 14, n. 1, p. 39-52, 2008.

LU, Jiunn-Chenn; YANG, Taho; WANG, Cheng-Yi. **A lean pull system design analysed by value stream mapping and multiple criteria decision-making method under demand uncertainty**. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, v. 24, n. 3, p. 211-228, 2011.

MONDEN, Yasuhiro. **Toyota production system: an integrated approach to just-in-time**. CRC Press, 2011.

MÜLLER, Egon; STOCK, Timo; SCHILLIG, Rainer. **Dual energy signatures enable energy value-stream mapping**. In: Advances in Sustainable and Competitive Manufacturing Systems. Springer International Publishing, 2013. p. 1603-1611.

SIMONS, David Wyn; MASON, Robert John. **Environmental and transport supply chain evaluation with sustainable value stream mapping**. In Proceedings of the 7th logistics research network conference. 2002.

STERN, Frank. **Peak demand and time-differentiated energy savings cross-cutting protocols**. National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2013.

ROTHER, Mike; SHOOK, John. **Learning to See**. Lean Enterprise Institute. Inc., Brookline, MA, 1999.

SINGH, Bhim; GARG, Suresh K.; SHARMA, Surrender K. **Value stream mapping: literature review and implications for Indian industry**. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 53, n. 5-8, p. 799-809, 2011.

STRBAC, Goran. **Demand side management: Benefits and challenges**. Energy policy, v. 36, n. 12, p. 4419-4426, 2008.

US EPA. United States Environmental Protection Agency (US EPA). **Lean Manufacturing and the Environment: Research on Advanced Manufacturing Systems and the Environment and Recommendations for Leveraging Better Environmental Performance**. USA. 2003.

_____. United States Environmental Protection Agency (US EPA). **The Lean and Energy Toolkit-Achieving Process Excellence Using Less Energy**. USA. 2007.

WOMACK, James P.; JONES, Daniel T. **Lean thinking: Banish waste and create wealth in your organisation**. Simon and Shuster, New York, NY, v. 397, 1996.