

AUMENTANDO A SUSTENTABILIDADE DO PROCESSO ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DE *LEAN MANUFACTURING* NA RECEPÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR

Manoel Gonçalves Filho (Universidade Metodista de Piracicaba - UNIMEP) manaelgoncalesfilho@gmail.com
Reinaldo Gomes da Silva (Escola de Engenharia de Piracicaba) reinaldorgda@gmail.com
Silvio R. I. Pires (Universidade Metodista de Piracicaba - UNIMEP) sripires@unimep.br

Resumo

A água é um recurso finito e escasso que tem chamado a atenção de governantes e empresários com medidas para seu uso mais racional. A indústria sucroenergética está inclusa entre os que utilizam intensivamente a água para o desenvolvimento das suas atividades. Neste artigo, a atenção volta-se ao procedimento da limpeza da cana-de-açúcar no processo de recebimento na usina sucroalcooleira. Reutilizar água residuária ou substituí-la por outra opção de limpeza da cana-de-açúcar passa a ser uma exigência para o desenvolvimento de um negócio mais sustentável. Portanto, o objetivo é aplicar os princípios e algumas ferramentas *lean* para reduzir o uso da água no processo de recepção da cana-de-açúcar. O método de pesquisa utilizado foi, a partir de uma revisão bibliográfica, realizou-se um estudo de múltiplos casos. Os resultados mostram que a integração da Manufatura Enxuta (*lean*) com a Manufatura Verde (*green*) pode ser um caminho bem positivo e rentável para as empresas do setor.

Palavras-chave: Manufatura Enxuta, Processo Produtivo, Gestão da produção, Usina Sucroenergética.

INCREASING PROCESS SUSTAINABILITY THROUGH LEAN MANUFACTURING APPLICATION IN RECEPTION CANE SUGAR

Abstract

Water is a finite and scarce resource that has drawn the attention of governments and businesses with measures for their rational use. The sugarcane industry is included among those who make intensive use of water for the development of their activities. In this article, attention turns to the procedure of cleaning of sugarcane in the receiving process in the sugarcane mill. Reusing wastewater or replace it with another cleaning option sugarcane becomes a requirement for the development of a more sustainable business. Therefore, the aim is to apply the principles and some lean tools to reduce water use in the process of reception of sugarcane. The research method used was from a literature review, there was a study of multiple cases. The results show that the integration of lean manufacturing with the Green Manufacturing can be a very positive way and profitable for companies in the sector.

Keywords: Lean Manufacturing, Production Process, Production management, plant sugarcane.

1. Introdução

A agroindústria sucroenergética brasileira é responsável por movimentar cerca de US\$ 14 bilhões em *commodities* (açúcar, etanol e derivados) anualmente (SINDIQUÍMICOS, 2014). O setor está incluso entre os setores de uso intensivo da água para o desenvolvimento das suas atividades, estima-se que o setor seja responsável por 23% da demanda por água no Estado de São Paulo (ELIA NETO, SHINTAKU, 2009). Ainda segundo os mesmos autores, como essa matriz produtiva brasileira se apoia largamente no uso dos recursos hídricos, é necessário que a gestão deste recurso esteja inserida dentre as prioridades do país.

A procura por alternativas que eliminem o uso de água nas usinas é grande e reutilizar águas residuárias ou substituir por outra opção resolve dois problemas: (i) reduz o consumo de água fresca e (ii) o descarte de efluentes que estão impróprios ao meio ambiente, seja nos mananciais ou na irrigação das lavouras (PAQUES, 2014).

Assim, as usinas podem e devem investir na implantação de sistemas de gerenciamento e equipamentos. Conforme Piacente (2005), esses sistemas tem a finalidade de aumentar a eficiência das usinas, melhorar sua competitividade, produtividade e fazer com que seus processos se adequem às exigências e padrões de qualidade, ambiental, segurança, entre outros.

Nesse sentido, Verrier, Rose, Caillaud, Remita (2014) relatam que o sistema de Manufatura Enxuta (ME - *Lean Manufacturing*) pode incidir sobre as formas de melhorar as operações, racionalizar o uso dos recursos utilizados na produção e reduzir o desperdício de forma a minimizar ou eliminar os resíduos do ponto de vista ambiental. Ainda segundo os mesmos autores, olhando para as operações a partir de uma perspectiva *green* pode-se beneficiar não só o ambiente, mas os *stakeholders*, proporcionando vantagem competitiva, lucratividade (que muitos fabricantes estão procurando) e sustentabilidade ambiental.

Então, visa-se relacionar aspectos da filosofia e de algumas ferramentas utilizadas na ME para contribuir na melhoria do processo de recepção de cana-de-açúcar nas usinas sucroalcooleira.

2. Fundamentação teórica

2.1. Manufatura Enxuta (*Lean Manufacturing*)

Segundo, Womack e Jones (1998), a Manufatura Enxuta (ME), do inglês *Lean Manufacturing*, é considerada enxuta porque é uma metodologia aplicada ao processo de produção que busca fazer cada vez mais utilizando cada vez menos recursos. Isso significa menos esforço humano, menos tempo, menos movimentação e menos espaço, eliminando, assim, desperdícios, diminuindo a geração de resíduos e aumentando os benefícios para a corporação por meio de atividades que apenas agreguem valor ao produto final, com foco nos clientes, para ofertar exatamente o que eles desejam.

Conforme Brunilde, Bertrand, Caillaud, Remita (2013), para tornar-se e manter-se competitivo, as organizações devem adotar estratégias de evolução e a ME é uma estratégia

utilizada em várias empresas industriais que se baseia na identificação e eliminação de resíduos (desperdícios) em várias etapas dos processos de produção.

2.1.1. Melhoria Contínua

O conceito *Kaizen* está fundamentado na cultura do Japão como um modo de vida, principalmente no pós-guerra quando o país estava destruído e não apenas nas empresas as melhorias eram necessárias, mas nas suas próprias vidas. Nesse sentido, o melhoramento contínuo passou a ser uma “filosofia de vida” com a qual o povo japonês aprendeu a conviver no seu dia a dia.

Conforme Mano, Akoten, Yoshino, Sonobe 2014, o conceito de *Kaizen* é sempre estar em busca da melhoria contínua e isso pode refletir diretamente junto à produtividade e à qualidade sem gasto ou com o mínimo de dispêndio possível.

2.1.2. Mapa de fluxo de valor (MFV)

O Mapa de Fluxo de Valor (MFV) consiste em duas fases principais: primeiro e inicialmente analisa-se o estado atual do fluxo de valor, por meio da análise do *layout* do fluxo verifica-se onde existem fontes de desperdícios, após descobertos são reduzidos, criando-se, na segunda fase, um novo fluxo de Valor (estado futuro), atacando-se também prazos de entrega e redução dos inventários (ROTHER, SHOOK, 2003).

O MFV permite "enxergar" o fluxo, tornando possível uma análise e otimização de fluxos melhorando o fluxo global com redução de tempo, custo ou de recursos naturais e sociais o que permite melhorias na produtividade e qualidade, ou seja, é o ponto de partida para melhorar o desempenho global (BERTHOLEY; BOURNIQUEL; RIVERY; COUDURIER; FOLLEA, 2009).

Portanto, para se manter a vantagem competitiva, as empresas buscam otimizar sua produção em termos de eficiência de custos, prazo de entrega e qualidade, ou por pressões necessárias à proteção ao meio ambiente. Diante deste cenário tem-se o Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) como sendo precursor de todo o processo de melhoria do sistema de manufatura.

2.1.3. Lean Green (LGn)

A aplicação da Manufatura Enxuta (ME) pode trazer diversos resultados para a empresa em termos de produtividade e busca de racionalização na utilização dos recursos disponíveis. Dentre esses fatores, pode haver uma relação estreita da ME com o meio ambiente na busca de um menor impacto ambiental.

Assim, do ponto de vista da ME (*Lean*), ineficiências de recursos devem ser minimizadas, pois não contribuem para o valor agregado ao produto ou serviço. Dües, Tan e Lim (2013) afirmam que a aplicação da ME funciona como um catalisador para a Manufatura Verde (MV), pois facilita o processo de transformação da empresa em prol do seu desenvolvimento de forma sustentável.

Bergmiller e McCright (2009) identificaram a correlação entre as operações verdes e os resultados da ME (*Lean*). Os autores descobriram que as empresas que buscam as operações *Lean* alcançam melhores resultados quando incluem práticas verdes em relação às empresas que não o fazem.

Assim, tem-se que as práticas verdes estão diretas ou indiretamente ligadas às práticas *Lean* em um ambiente de melhoria contínua, sendo que o desenvolvimento da ME vai direcionar a empresa para a adoção dessas práticas em um contexto organizacional. Desse modo, a garantia de qualidade ambiental das organizações representa um desafio contínuo aos gestores das empresas de processo.

2.2. Recepção da cana-de-açúcar

Uma das primeiras etapas do processo produtivo em uma usina sucroalcooleira é a atividade de recepção e limpeza, ilustrada na Figura 1. Nessa etapa busca-se minimizar as impurezas minerais e vegetais que foram impregnadas na matéria prima durante o seu cultivo. Tradicionalmente, executa-se essa limpeza com jatos de água antecedendo os ternos de moenda.



Figura 1: Ilustração da limpeza da cana-de-açúcar com água na recepção (Fonte: Embrapa, 2014; SBA; STAB; CTC; 2012).

A Figura 2 representa o início do processo produtivo que começa quando a cana-de-açúcar é descarregada diretamente nas mesas alimentadoras, as quais realizam a limpeza dessa matéria prima por meio da água retirada dos mananciais, represas e nascentes. Os picadores, desfibradores, difusores e ternos de moenda, na sequência, complementam o processo de moagem.

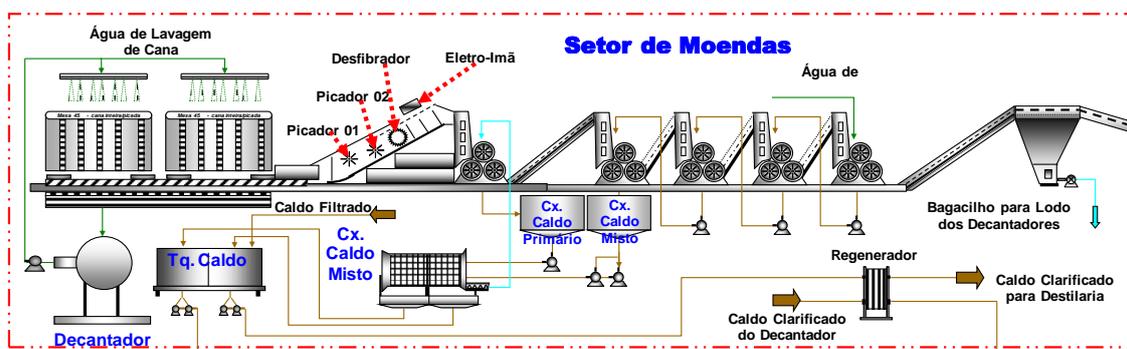


Figura 2: Início do processo produtivo da usina sucroalcooleira (Fonte: UDOP, 2014).

A pesquisa realizada por Omena, Callado, Pedrosa, Pimentel, Menezes, Torquato Jr, Lopes, Silva, (2004) apontou que as usinas misturam 50% de água de boa qualidade com 50% de água de baixa qualidade (a que retorna do decantador), isso porque sua qualidade físico-química e bacteriológica tende a diminuir ao longo da safra. O trabalho de pesquisa também identificou a adição de leite de cal para fazer a correção do pH da água na tentativa de manter sua qualidade, pois a água de reuso na limpeza da cana-de-açúcar possui grande potencial poluidor. Além do cal, estão constituídas de terra, nutrientes, açúcares, microrganismos e outras impurezas.

Payne (1990) afirmava, há 25 anos, que a não realização da limpeza da cana-de-açúcar acarretaria a presença de microrganismos que acabariam por diminuir a eficiência da etapa de fermentação. Referente ao meio ambiente, Stupiello (2014) relata que as medidas ambientais, especialmente ligadas ao consumo de água e às perdas de açúcares na limpeza da cana-de-açúcar obrigaram as unidades produtoras a deixarem de lavar ou a de buscarem um sistema de limpeza a seco.

2.2.1. Limpeza a seco

Os principais motivos para a limpeza de cana-de-açúcar a seco são: (i) Aumento da colheita mecanizada, esse tipo de colheita tem a opção apenas da cana-de-açúcar picada que também traz a palha agregada e que a limpeza com água não separa; (ii) Aproveitamento de parte da palha para fins energéticos; (iii) Aproveitamento de parte da palha como adubo no próprio solo da atual colheita; (iv) Evitar o aumento do desgaste dos equipamentos (moagem); (v) Remoção das impurezas minerais e vegetais; (vi) Teor reduzido de impurezas minerais na palha separada e; (vii) Redução no nível de perdas (SBA; STAB; CTC, 2012).

A Figura 3 ilustra os equipamentos necessários para o procedimento de limpeza a seco. São eles: (i) Mesa alimentadora 45°; (ii) Esteira metálica; (iii) Transportadores de cana-de-açúcar (correia); (iv) Ventiladores (sopradores); (v) Peneiras de separação de palha, terra e pedra; (vi) Transportadores de palha; (vii) Transportadores de terra e pedra; (viii) Picador de palha e; (ix) Transportadores de palha picada para a caldeira (DEDINI, 2015).



Figura 3: Ilustração dos equipamentos para limpeza a seco (Fonte: DEDINI, 2015).

Posteriormente à limpeza a seco, a cana-de-açúcar vai para um sistema de separação que consiste de uma mesa com discos que são acionados quando os eixos são movimentados por motos redutores. Nesse processo a cana-de-açúcar utilizada pode ser tanto inteira quanto picada, queimada ou não. Esta matéria prima é descarregada sobre esses discos e sofre a separação de matéria estranha ao passar entre os discos, ou seja, palha, pedra e terra são

separadas da cana-de-açúcar. Depois da palha separada pelo sistema de limpeza a seco, passa pelo picador para que seja mais bem aproveitada quando queimada na caldeira, ou seja, a palha picada se torna mais inflamável e gera mais energia.

2.3. DMAIC

Conforme Kasahara e Carvalho (2003), as fases de aperfeiçoamento do processo e do treinamento das pessoas para que possam obter melhores resultados costumam ser denominadas de DMAIC: (i) definir (*define*), (ii) medição (*measure*), (iii) análise (*analyse*), (iv) aperfeiçoamento (*improve*) e (v) controle (*control*).

Assim, tais fases deverão ser seguidas na aplicação da ME (*lean*) na busca da melhoria da etapa de recepção da cana-de-açúcar pela usina sucroalcooleira. Por isso utilizou-se aqui do DMAIC por ser uma metodologia sistematizada e estruturada que possibilita a organização das atividades a serem desenvolvidas, ações a serem implementadas e melhorias a serem monitoradas.

3. Abordagem metodológica

O método de pesquisa utilizado foi o Estudo de Casos, que segundo Miguel (2007), é composto pelas etapas apresentadas na Figura 4.

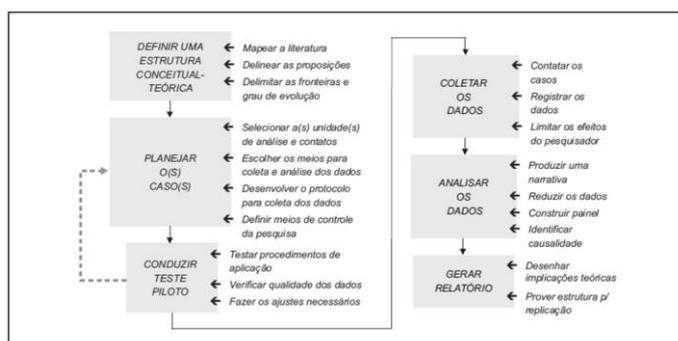


Figura 4: Etapas para elaboração de Estudo de Casos (Fonte: Miguel, 2007).

Foi realizada uma revisão bibliográfica, no período de 2004 a 2014, via o Portal de Periódicos da CAPES e de outras fontes para determinar a área de conhecimento por meio das palavras chaves: *lean manufacturing*, *lean green*, DMAIC, usina de açúcar e etanol e cana-de-açúcar, análise de viabilidade econômica.

O planejamento dos casos teve como critério de escolha das usinas, suas iniciativas de inovação organizacional e tecnológica para o desenvolvimento da gestão dos sistemas produtivos. Do total de oito usinas sucroalcooleiras contatadas, são seis as que participaram como unidades de análise, sendo que: duas delas serviram de teste piloto de conhecimento do processo produtivo de açúcar e álcool por meio de visitas técnicas previamente agendadas, bem como do aprimoramento do questionário de pesquisa. As outras quatro usinas restantes participaram como respondentes do questionário da pesquisa já aprimorado durante o teste piloto.

Foi elaborado um instrumento de coleta de dados (questionário) para que o estudo de casos fosse desenvolvido. Miguel (2007) recomenda que se utilize de teste-piloto (pré-teste) de forma a facilitar ao pesquisador a determinação de unidades de análise, verificar a qualidade dos dados e realizar os ajustes necessários para o aprimoramento do questionário. Sob essa orientação, realizaram-se duas visitas técnicas, sendo: a primeira em uma usina localizada na cidade de Jaú (SP) e a segunda na cidade de Iracemápolis (SP). Assim se pode-se aplicar, realizar ajustes e desenvolver esse instrumento de coleta de dados (questionário) da pesquisa.

A coleta dos dados foi de forma direta e concisa, acerca da gestão do processo produtivo pertinente ao problema ambiental proposto inicialmente. Nessa etapa, quatro usinas sucroalcooleiras participaram, que por motivos de sigilo das informações coletadas serão denominadas Usina A, B, C e D. A coleta e registro dos dados aconteceu por meio do *JotForm* (*site* de pesquisa) como repositório de informação. Geraram-se, automaticamente, informações que foram registradas em planilhas eletrônicas.

Dessa forma, construiu-se o relatório final com as implicações teóricas a partir da identificação dos principais resultados do estudo de múltiplos casos.

4. Análise e relato do estudo de casos

Inicialmente, buscou-se investigar se essas usinas têm em sua cultura traços ou experiências da “filosofia” da ME. Constatou-se que, as usinas A e D, praticam e tem em sua cultura organizacional a ME como estratégia de produção.

Constatou-se nas usinas A, B, C e D que as impurezas (tais como terra, palha e pedras) entram no processo produtivo após a recepção da cana-de-açúcar, e foi unânime o reconhecimento de que essas impurezas se constituem em um problema que afeta o rendimento dos ternos de moenda, bem como acelera o desgaste dos equipamentos. Essas usinas reconhecem a possibilidade de separação da palha da cana-de-açúcar e de alguma forma transportá-la até a caldeira. Apenas uma delas, a usina B, não limpa a cana-de-açúcar antes de iniciar a moagem, ou seja, a matéria prima entra com todas as impurezas no seu processo produtivo. Porém, há o reconhecimento, por parte da empresa, que a quantidade de palha que entra no processo é grande.

O consumo de água para a limpeza da cana-de-açúcar na recepção das usinas existe para as usinas A e D. Sendo que a usina D, tem os dois tipos de limpeza: com água e a seco. A usina C, não utiliza água e realiza limpeza a seco. A usina B não faz limpeza. Entretanto, há o reconhecimento de que esse recurso natural precisa ser tratado (e é tratado) antes de ser devolvido à natureza pelas usinas A e D.

Com foco na utilização da palha, que possivelmente possa ser separada da cana-de-açúcar na recepção, buscou-se conhecer as práticas das usinas. Nas usinas C e D a palha é separada da cana-de-açúcar e está sendo aproveitada para fins energéticos e não faz falta para o campo, pois no momento do corte a colheita mecanizada deixa quantidade suficiente de

palha no campo que é utilizada como adubo. Porém, as usinas A e B não separam a palha na recepção.

As usinas A e B relataram que há subtração de sacarose causada pela presença de palha e, também destacaram que, há diminuição perceptível da produtividade do processo de moagem. As usinas C e D opinaram que não percebem a perda de sacarose pela presença de palha e que, igualmente, não detectam perda de produtividade. É importante destacar que, os respondentes das usinas A e B, relataram que a palha não separada da cana-de-açúcar na recepção significa que, a cada tonelada de palha que entra no processo de moagem, tem-se uma tonelada a menos de cana-de-açúcar moída.

Na sequência, pesquisou-se sobre o destino da água utilizada pelas usinas após a limpeza da recepção da cana-de-açúcar. As usinas A e D destinam a água utilizada para o lago de decantação. Lembrando que a usina B não faz limpeza com água. A água, depois de decantada, volta para a limpeza da cana-de-açúcar na recepção do processo. A usina A reutiliza a água na limpeza da cana-de-açúcar mais de cinco vezes, e a usina D, no máximo, duas vezes; a usina C não identificou o número de vezes que reutiliza a água. Logo, notou-se que a água é tratada durante todo o tempo do seu uso e reuso, ou seja, durante todo o período de safra ela recebe entre 42 a 54 toneladas de cal virgem para uma usina que processa 7.000 toneladas de cana-de-açúcar por dia (24h de trabalho). Para aumentar a sua oxigenação, é decantada no lago, e reutilizada na limpeza da cana-de-açúcar. Ao final de cada safra, é descartada na lavoura de cana-de-açúcar pelas usinas A e D.

As usinas A e B não possuem limpeza a seco, enquanto as usinas C e D possuem essa opção. Essas respostas estão adequadas com os resultados anteriores, pois se identificou que a usina B não limpa a cana-de-açúcar na recepção, e a usina D limpa a cana-de-açúcar por meio das duas opções, ou seja, limpeza com água e a seco (duas mesas alimentadoras 45°). A usina A respondeu que existe a possibilidade de instalação dos equipamentos para limpeza a seco, e pensa em analisar sua viabilidade econômico financeira, sendo que a usina B não vê a possibilidade dessa aplicação.

4.1. Painel de Causalidade

A partir desses dados relatados anteriormente é possível sintetizar em um painel a causalidade apresentado na Tabela 1 entre as variáveis pesquisadas: água e palha na recepção da cana-de-açúcar.

Recurso	Implicações da revisão bibliográfica	Implicações da pesquisa	Relação causal
Água	* Aplicações da ME buscam a eliminação de desperdícios.	* Existe o consumo de água na recepção para a limpeza da cana.	* Fazer intervenção no sistema de limpeza da cana, na busca de melhorias, por meio da filosofia da ME e na direção da sustentabilidade do negócio.
	* Resíduos industriais são considerados desperdícios. A água de limpeza ou reuso gera um efluente carregado de cal.	* A eliminação do uso da água no processo de limpeza da cana na recepção ainda não é consenso nas usinas.	* A ME pode trazer contribuição para o racionamento do uso da água criando sinergia impulsionada pela melhoria ambiental.
	* A água de limpeza ou reuso não agrega valor e é considerado desperdício evidente. A integração da Manufatura Enxuta com a Manufatura Verde agrega valor ao produto e reduz desperdícios de resíduos.	* A eliminação do uso da água no processo de limpeza da cana na recepção ainda não é consenso nas usinas.	* O desperdício evidente de água na limpeza da cana deve ser atacado.
	* Na limpeza da cana as usinas podem operar por meio de circuito aberto ou fechado.	* Não há indícios de redução do uso de cal utilizado para aumentar o Ph na água de reuso.	* O circuito aberto piora a relação ambiental, sendo o circuito fechado mais adequado nessa relação.
	* A eliminação do uso da água pode minimizar os impactos prejudiciais à natureza.	* A usina reutiliza a água a partir de circuito fechado.	* A água de reuso não pode ser descartada nos mananciais por estar carregada de cal, mas é descartada na lavoura.
	* A sustentabilidade deve ser considerada como a combinação de fatores ambientais, econômicos e sociais.	* Necessidade de análise da viabilidade econômica financeira para novos investimentos.	* A análise financeira pode viabilizar investimentos e assim proporcionar melhorias no processo de recebimento da cana.
Palha	* Ao limpar a cana picada com água perde-se mais sacarose do que com a cana inteira.	* A cana entra no processo produtivo inteira pela colheita manual e picada pela colheitadeira mecanizada.	* A cana picada não deve ser limpa por meio de água para não perder sacarose, mas a cana inteira poderia, visto que a perda é menor.
	* O consumo de água na limpeza da cana é de 2,19 l/ton.	* Durante a safra, em média, se consomem 3.762.710 litros de água.	* Há um consumo alto de água. O Ideal é buscar a racionalização ou até a eliminação de seu uso.
	* Se não separada da cana na recepção diminui o rendimento do processo produtivo, pois, cada tonelada de palha que entra na moagem é menos uma tonelada de cana processada.	* A palha, pedra, terra, entre outras impurezas, entram no processo produtivo (moagem).	* A limpeza com água não separa a palha da cana.
	* Se entrar no processo de moagem contribui para danificar os equipamentos, aumentando a manutenção.	* A cana limpa por meio de água, sem terra e pedras, continua com a palha entrando no processo de moagem.	* A palha está acelerando e aumentando o desgaste dos equipamentos e afetando o rendimento do processo produtivo.
	* Existe oportunidade de melhoria de seu uso eficiente como fonte energética.	* É possível separar a palha da cana na recepção e transportá-la até a caldeira por meio de esteiras ou qualquer outro tipo de transportador.	* A palha entrando na moagem "rouba" sacarose da cana.

Tabela 1: Implicações e causalidades.

A partir da Tabela 1, conclui-se que: (i) Se a cana-de-açúcar não for lavada com água na recepção, todas as impurezas entram no processo de moagem, danificam os equipamentos, trazem problemas operacionais na caldeira e prejudicam as etapas de fermentação. Então é preciso livrar a cana-de-açúcar de impurezas antes do processo de moagem; (ii) As usinas que utilizam a água para a limpeza da cana-de-açúcar coletam-nas nos rios e tanques da região e, após o tratamento dessa água, reusa-se na própria limpeza dessa matéria prima. Notou-se que durante a limpeza a água evapora fazendo-se necessário a coleta constante para repor a quantidade evaporada. Em média, evaporam-se 15.358 litros que são captados dos rios ou tanques diariamente. Isso significa 2,194 litros por tonelada de cana-de-açúcar diariamente, para uma usina que processa 7.000 toneladas diárias (24h diárias de trabalho). Sabendo-se que uma safra anual, em média, tem a duração de 245 dias e que, multiplicado esse período por 7.000 toneladas diárias de processamento, resulta em 1.715.000 toneladas produzidas no ano. Isso significa uma evaporação média de 3.762.710 litros de água por safra. Então é preciso reduzir a quantidade de água utilizada, principalmente porque ela é coletada de rios e tanques; (iii) Quando do término da safra, período de entressafra, toda a água que está parada no sistema (processo de limpeza), e o lodo que está no fundo do lago, são descartados na agricultura como adubo orgânico, isso porque não poderia ser direcionado aos rios, por estarem carregados de cal. Entretanto, essa prática pode atingir lençóis freáticos e dessa forma alcançar os rios. Então se for reduzida a quantidade de água no processo de limpeza na recepção da cana-de-açúcar, será reduzido o descarte na agricultura e seus riscos de contaminação dos lençóis freáticos e mananciais; (iv) Como a limpeza com água não separa a palha da cana-de-açúcar. Então é preciso buscar uma alternativa que separe esta palha da cana-de-açúcar na recepção; (v) Como a presença de palha no processo produtivo favorece o

desgaste dos equipamentos e baixa o rendimento geral da moenda, além de diminuir a sacarose da cana-de-açúcar. Então é preciso buscar uma alternativa que elimine o máximo possível essa palha entrando no processo de moagem.

Portanto, dessas conclusões causais percebe-se a possibilidade de se aplicar os conceitos e algumas das ferramentas do ME, nos quais se identificam e qualificam os desperdícios, o que está agregando valor, o mapa de fluxo de valor, projetos de melhoria contínua, aspectos do meio ambiente a ser atacado e preservado (*lean green*). Para tanto, é necessária uma análise de viabilidade econômico-financeira dos ajustes, melhorias, implantações, projetos, que envolverão essa temática.

5. Aplicação de princípios e ferramentas da ME (*lean*) na recepção da cana-de-açúcar

Para a aplicação de princípios e ferramentas da ME (*Lean*) na recepção da cana-de-açúcar de um modo estruturado e sistematizado, utilizou-se do DMAIC, para orientação das fases apresentadas pela Tabela 2.

Etapa do DMAIC	Revisão teórica	Aplicação
"D" Definir	4P's e 14 Princípios	Considerou-se a importância do pensamento de longo prazo para se basear as decisões em detrimento de metas financeiras. Preocupou-se com a visão de que se constroem pessoas e não apenas produtos orientando a aprendizagem organizacional.
		Estudou-se o fluxo do processo da limpeza da cana para trazer o problema à tona e buscou-se desenvolver a oportunidade de melhoria encontrada.
		A situação foi verificada para compreender o problema por si e a solução foi apresentada na busca da melhoria contínua.
Melhoria Contínua	8 Desperdícios	Atacou-se o problema de desperdício encontrado no processo da recepção da cana eliminando o uso da água. Este foi considerado desperdício evidente sendo completamente eliminado do processo transformando em valor agregado.
		Aplicou-se <i>Kaizen</i> no recebimento da cana considerando a melhoria da produtividade e a eliminação de desperdícios e resíduos.
"M" Medir	Mapa de fluxo de valor atual	Racionalizou o consumo de água no processo produtivo global Reduziu o Tempo de Ciclo (TC) da atividade de limpeza da cana Deu-se melhor aproveitamento a palha não separada na limpeza
"A" Analisar	Mapa de fluxo de valor futuro.	Eliminou-se o consumo do recurso natural (água) na recepção da cana, Minimizou-se o <i>Lead time</i> por meio da identificação dos desperdícios encontrados no processo atual, Separou-se a palha da cana, o que permitiu melhorias na produtividade e no desempenho do processo.
"I" Implementar	Equipamentos para Limpeza a seco	Realizou-se o estudo do custo-benefício do novo <i>layout</i> .
"C" Controlar	Controlar para sustentar	Utilizar ciclicamente o DMAIC, para controlar o sistema, de modo a mantê-lo e mensurar os novos ganhos futuros após implementação do novo <i>layout</i>

Tabela 2: Aplicação do DMAIC na recepção da cana-de-açúcar.

Definiram-se os requisitos dos *stakeholders* por meio do desenho dos processos da produção procurando identificar aqueles que têm relação com a qualidade, e que estão gerando resultados ruins, no que se refere às exigências ambientais, rendimento do processo, oportunidades de melhorias no processo, dentre outros. A característica crítica encontrada contribuiu com o objetivo do trabalho, ou seja, aplicar os princípios e algumas ferramentas da ME (*Lean*) para reduzir e/ou eliminar o uso da água no processo de recepção da cana-de-açúcar, bem como prover melhor tratamento à palha.

Do ponto de vista da ME essa redução do uso da água, deve ser considerada, pois não contribui em nada para o valor agregado ao produto. A redução ou eliminação desse recurso também é positiva sob a perspectiva da sustentabilidade do sistema produtivo, pois levam ao aumento do passivo ambiental gerado na usina. E a palha que entra no processo de moagem,

por não ter sido separada da cana-de-açúcar na recepção foi, também, considerada desperdício evidente. Como está sendo utilizada, a palha reduz a eficiência de moagem e a produtividade geral do sistema. Tem também o problema de seu tempo de espera de secagem para que possa ser aproveitado na caldeira para geração de energia, o que causa uma ineficiência energética momentânea.

Para analisar o sistema observou-se e comparou-se o fluxo do valor atual e futuro, identificando-se lacunas entre o desempenho atual e o pretendido. A análise constatou que a busca pela solução de racionalizar o uso da água e dar melhor aproveitamento à palha passa a ser fundamental para proteção ambiental e o desenvolvimento sustentável. O MFV futuro está apresentado na Figura 5.

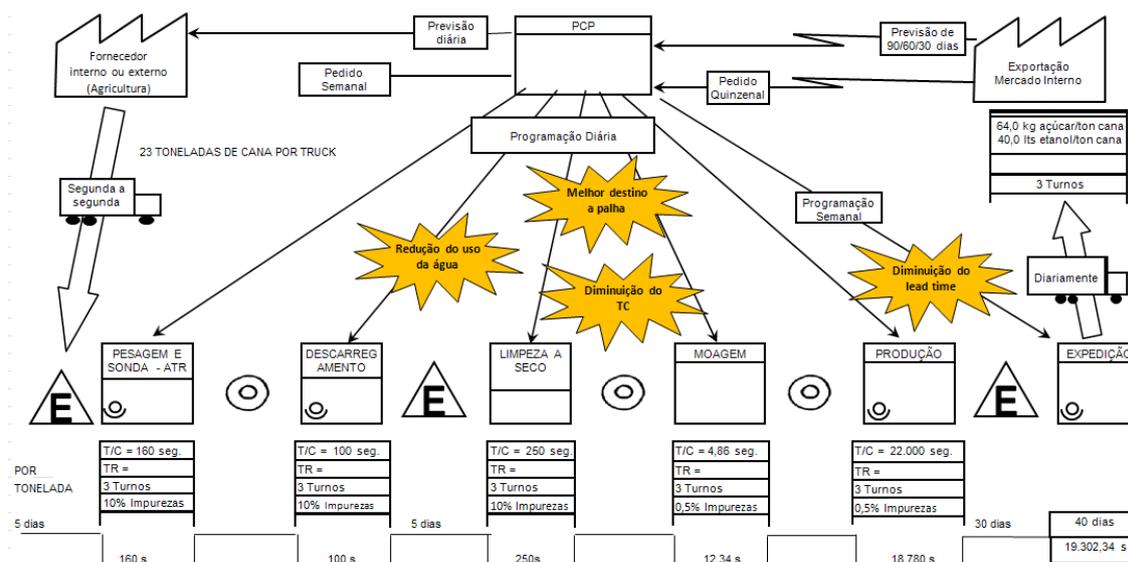


Figura 5: MFV futuro

A cana-de-açúcar, uma vez limpa a seco, reduz as impurezas provenientes do campo de 10% para 0,5%, separando, com eficiência, a palha da cana-de-açúcar que segue fluxo produtivo normal.

Observa-se com a análise comparativa do estado atual e futuro, que é possível reduzir o Tempo de Ciclo (TC) na limpeza da cana-de-açúcar de 626 s para 250 s por tonelada, pelo sistema de limpeza a seco. Essa redução do TC poderá alimentar com maior velocidade as moendas, que tem o TC de 12,34 segundos por tonelada, e resultar em redução do *lead time* do processo produtivo em geral. Nesse caso, o ganho é de 2% (de 19.678 segundos para 19.302 segundos).

Constatou-se que, reduzindo o desperdício industrial por meio da economia de água e eliminando as contaminações ao meio ambiente, por não se ter mais a necessidade de depositar na agricultura os resíduos gerados na limpeza da cana-de-açúcar que estão impregnados de cal, encontra-se a relação estreita da ME com o meio ambiente na busca de um menor impacto ambiental. E a palha, por ser separada da cana-de-açúcar no processo de limpeza, poderá aumentar a produtividade e fomentar ganhos financeiros.

Portanto, a melhor sustentabilidade desses processos pode englobar os princípios da ME e da gestão ambiental. Além disso, essa sinergia promove a busca e o melhoramento contínuo por meio da reflexão junto à maior produtividade, no caso por: *(i) melhorar o lead time do processo produtivo em geral; (ii) não se ter mais a palha entrando na etapa de moagem; (iii) melhorar a qualidade do açúcar por conter menos impurezas e exigir menos clarificação; (iv) pelo fomento e possível promoção de uma cultura de melhoria contínua.*

Para a etapa de implementação encontrou-se um conjunto de equipamentos disponível no mercado de tecnologia canavieira que podem contribuir para a solução dos problemas identificados. Esse conjunto de equipamentos é composto de soprador, esteiras de separação das impurezas e picador. O soprador pode ser instalado após o descarregamento da cana-de-açúcar (embaixo ou acima) das mesas alimentadoras de 45°. As impurezas (palha, terra, pedra, insetos) por gravidade caem nas esteiras de separação e a palha é transportada até o picador. Após ser picada ela é destinada para queima na caldeira. Assim, executa-se a limpeza a seco e substitui-se o uso da água no sistema tradicional da limpeza da cana-de-açúcar na recepção.

Na sequência, realizou-se o estudo do custo-benefício do projeto para a implementação da melhoria no sistema de recepção da cana-de-açúcar. Consolidaram-se os resultados para uma projeção de quatro anos e apuraram-se os retornos do capital investido com base no Fluxo de Caixa Operacional (FCO). A usina situada na cidade de Jaú/SP informou que os investimentos necessários para a implantação da limpeza a seco (equipamentos e instalação) estão na ordem de 10 milhões de reais e que sua Taxa Mínima de Atratividade (TMA) é de 1,2% ao mês. Sabendo-se que a Demonstração do Resultado do Exercício (DRE) apresenta resultados no final do exercício fiscal (anual), foi necessário transformar a TMA mensal em taxa equivalente composta anual.

A rentabilidade desse investimento equivale a 4,128% ao ano. Se a Taxa interna de retorno (TIR) for maior do que a Taxa mínima de atratividade (TMA), se aceita o investimento. No exemplo a TIR é de 19,517% e a TMA de 15,389%, portanto, TIR maior que a TMA se aceita investir no novo empreendimento. O ganho será de 4,128% a.a., que é a diferença da TIR com a TMA. Isso se comprova quando se observa um Valor presente líquido (VPL) positivo de R\$ 944.450,75.

Logo, a implementação da limpeza a seco é um projeto viável economicamente. Dessa forma, sob a visão da sustentabilidade há um atendimento das suas três perspectivas, a saber: *(i) meio ambiente:* essa implementação da limpeza a seco causa menor dano pela redução do uso da água e pelo incremento de geração de energia limpa pela queima de mais palha (picada e seca); *(ii) econômico:* essa implementação da limpeza a seco demanda um investimento financeiro que, pela análise de viabilidade econômica verificou-se ser viável; *(iii) social:* essa implementação da limpeza a seco gera alguns benefícios à sociedade, dentre eles podem ser destacados: preservação dos mananciais e nascentes, preservação dos lençóis freáticos, menor poluição do ar por queimar palha em detrimento de outras fontes mais poluidoras (por exemplo, diesel em geradores).

Finalmente, para controlar o sistema após a implementação da melhoria, poderiam novamente aplicar o ciclo DMAIC, com o apoio de ferramentas da ME. Então é primordial

um programa robusto de treinamento e capacitação nos princípios e ferramentas da ME, dentre outros que possam vir a surgir a partir do estilo gerencial dos gestores e das especificidades das equipes de trabalho envolvidas nessas questões.

6. Conclusão

As usinas de açúcar e etanol utilizam um montante alto de água em seu processo produtivo. A partir do objetivo traçado de aplicar os princípios e algumas ferramentas da ME (*Lean*) para reduzir e/ou eliminar o uso da água e melhor tratamento da palha (na recepção da cana-de-açúcar), pode-se afirmar que é possível obter melhorias em relação à produtividade, eficiência energética e benefícios relativos à sustentabilidade (perspectivas do meio ambiente, econômico e social).

A realização de uma revisão bibliográfica cruzada com visitas técnicas a duas usinas e estudo multicase em quatro usinas, proveu condições de sistematizar, via a estrutura do DMAIC, uma aplicação dos princípios da ME (*lean*) com algumas de suas ferramentas. Essa aplicação apresenta detalhes, passo a passo, propondo a eliminação do uso da água na recepção do processo produtivo (limpeza a seco) e dando melhor aproveitamento à palha (picada e seca) proporcionando meios de gerar/manter vantagem competitiva, lucratividade e sustentabilidade.

Por esse levantamento feito e pela proposta de aplicação ilustrada, as questões relativas à sustentabilidade foram trabalhadas porque há potencial de *ganho ambiental* pela substituição da limpeza tradicional (com água, sem separação da palha) pela limpeza a seco (sem água, com separação da palha); de *ganho econômico*, em razão do VPL positivo; de *ganho social*, pela redução da utilização de captação de rios e mananciais, pelo aumento do uso geração de energia limpa pela queima eficiente da palha separada, trazendo resultados relevantes numa época de escassez de recursos hídricos e combate a todas as formas de poluição.

Este trabalho tratou de temas atuais, no que tange ao consumo de recursos naturais, a partir da aplicação de conhecimento sistematizado e tecnológico, pois muitas organizações encontram-se diante do aumento da pressão dos *stakeholders* para fazer negócios de uma maneira sustentável e, além disso, por uma série de circunstâncias, a sociedade civil, em geral, vem aprofundando o debate sobre essas questões ambientais.

Referências

BERGMILLER, G.G.; MCCRIGHT, P.R. Are lean and green programs synergistic? **Industrial Engineering Research Conference**. Disponível em:
http://zworc.com/site/publications_assets/AreLeanAndGreenProgramsSynergistic.pdf, 2009.

BERTHOLEY, F.; BOURNIQUEL, P.; RIVERY, E.; COUDURIER, N.; FOLLEA, G. Work organization improvement methods applied to Blood Transfusion Establishments (BTE): Lean Manufacturing, VSM, 5S. **Transfusion Clinique et Biologique**. Vol 16, N 2, PG 93–100, 2009.

BRUNILDE V.; BERTRAND R.; CAILLAUD E; REMITA, H. Combining organizational performance with sustainable development issues: the Lean and Green project benchmarking repository. **Journal of Cleaner Production** - DOI: 10.1016/j.jclepro.2013.12.023, 2013.

CAPES, Periódicos. Disponível em: <http://periodicos.capes.gov.br.ez100.periodicos.capes.gov.br/index.php>. Acesso em 27/05/2014.

CTC - Centro de tecnologia canavieira. Disponível em: <http://www.ctcanavieira.com.br>. Acesso em: 02/10/2014.

DEDINI. Disponível em:

file:///C:/Documents%20and%20Settings/megoncales/Meus%20documentos/Downloads/slc_pt%20(1).pdf.

Acesso em 02/02/2015.

DÜES, C. M.; TAN, K. H.; LIM, M. Green as the new Lean: how to use Lean practices as a catalyst to greening your supply chain. **Journal of Cleaner Production**, 40, 93 – 100 - DOI: 10.1016/j.jclepro.2011.12.023, 2013.

ELIA NETO, A; SHINTAKU. Usos e reusos de água e geração de efluentes. Manual de Conservação e reuso de água na Agroindústria Sucoenergética. Agência Nacional de Águas; Federação das Indústrias do estado de São Paulo; **União da Indústria da cana-de-açúcar; Centro de Tecnologia Canavieira**. Cap. 5, p. 69 – 176. Brasília, 2009.

EMBRAPA. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-açúcar/arvore/CONTAG01_102_22122006154841.html. Acesso em 25/11/2014.

Jotform. Software de pesquisa. Disponível em <http://www.jotform.com/myforms>. Acesso em 07/06/2014.

KASAHARA, E. S.; CARVALHO, M. M; “Análise dos Modelos TQM e Seis Sigma: estudo de múltiplos casos”. **Anais: In XXIII ENEGEP – Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Ouro Preto. Porto Alegre: V. 1, p. 1-8. UFRGS, 2003

MANO, Y., AKOTEN, J., YOSHINO, Y., SONOBE, T. Teaching KAIZEN to small business owners: An experiment in a metalworking cluster in Nairobi. **Journal of the Japanese and International Economies**. Volume 33, páginas 25-42, setembro 2014.

MIGUEL, P. A. C., Estudo de caso na engenharia de produção: Estruturação e recomendações para sua condução. **Produção**, v. 17, n. 1, p. 216-229, Jan./Abr, 2007.

OMENA, S. P. F.; CALLADO, N. H.; PEDROSA, V. A.; PIMENTEL, I. M. C.; MENEZES, A. C.; TORQUATO JR, H.; LOPES, J.C.; SILVA, J.B. Melhoria da qualidade ambiental, por meio da recirculação de água de limpeza da cana-de-açúcar na indústria sucro-alcooleira. **VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste** 30 de novembro a 3 de dezembro de 2004.

PAQUES. Disponível em: <http://br.paques.nl/aplicacoes/other/reutilizacao-da-agua>. Acesso em 04/11/2014.

PAYNE J. H., **Operações unitárias na produção de açúcar de cana-de-açúcar**. Honolulu, Havaí. **Empresa de consultoria e projetos para fábricas de açúcar**. Nobel/STAB, 1990.

PIACENTE F. J. **Agroindústria canavieira e o sistema de gestão ambiental: o caso das usinas localizadas nas bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá**. Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP. Instituto de Economia. Programa de pós-graduação em desenvolvimento econômico. Dissertação de mestrado, 2005.

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda**. The Lean Enterprise Institute, Inc. One Cambridge Center, Cambridge, Ma 02142 USA, 102 pgs, 2003.

SBA – 13º Seminário Brasileiro Agroindustrial; STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos; CTC – Centro de Tecnologia Canavieira, Ribeirão Preto, out 2012. Suleiman Hassuani, Disponível em: http://www.stab.org.br/13_sba_palestras/06_STAB_2012_Suleiman.pdf. Acesso em 30/12/2014.

SINDIQUÍMICOS. Disponível em: <http://sindiquimicos.com.br/2012/portal/index.php/noticias/115-mediacao-mpv-647-2014>, acesso em: 27/01/2015.

STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos. Disponível em: http://www.stab.org.br/index.php?option=com_content&view=article&id=32&Itemid=44. Acesso em: 02/10/2014

STUPIELLO, J. P. Conversando com a cana-de-açúcar. **Stab açúcar, álcool e subprodutos**, vol 32. Nº 3, 2014.

UDOP. Disponível em: <http://www.udop.com.br/index.php?item=noticias&cod=29960>. Acesso em 07/11/2014.

VERRIER, B.; ROSE, B.; CAILLAUD, E.; REMITA, H. Combining organizational performance with sustainable development issues: the Lean and Green project benchmarking repository. **Journal of Cleaner Production**. DOI:10.1016/j.jclepro.2013.12.023, Volume 85, Pages 83–93, 15. December 2014.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **Lean Thinking: Banish Waste and Creat the Wealth in Your Corporation**. New York: Simon and Schuster, p.165-208, 1998