

Otimização do uso de recursos hídricos em uma usina de produção de etanol

Optimization of water resources in an ethanol production plant

Giampaolo Foschini Di Donato¹, Marcelo dos Santos Targa², Ana Aparecida da Silva Almeida³

RESUMO: O estudo objetivou avaliar, em um processo industrial de uma usina para a produção de etanol a partir de cana-de-açúcar, alternativas possíveis para a otimização do uso dos recursos hídricos com consequente economia na redução da captação de água sem prejuízo à qualidade do produto, à eficiência do processo de conversão e ao equilíbrio financeiro do processo produtivo. Para tanto, foram analisadas as correntes por meio de balanço hídrico e observadas as perdas de água e energia nos sistemas de captação de água; de vapor/condensado; de coleta e tratamento de águas residuárias; de destilação; de refrigeração; de fermentação; de embebição da cana, de lavagem de gases e recuperação de fuligem. Os resultados indicaram que é possível alcançar uma economia de água de 222,1 m³/h contra um consumo atual avaliado de 579,0 m³/h, representando 38,4% de redução no consumo de água, bem como atingir o consumo de 1,0 m³/ton de cana processada conforme ao limite determinado pelo órgão ambiental paulista. Os ganhos na melhoria dos processos de produção têm potencial para produzir um superávit anual de cerca de nove milhões de reais.

Palavras-chave: Agroindústria canavieira. Economia. Reúso de água. *Saccharum officinarum* L.

ABSTRACT: The industrial process of a plant for the production of ethanol from sugarcane is evaluated for possible alternatives for the optimization of the use of water resources. In other words, savings due to the reduction of water production without impairment of quality, efficiency of the conversion process and financial balance of the production process are assessed. Therefore, accounts were analyzed by water balance and the water and energy loss in the water collection systems; steam/condensation; collecting and treatment of wastewater; distillation; refrigeration; fermentation; sugarcane absorption, gas washing and soot recovery. Results reveal a water saving rate of 222.1 m³/h against a current consumption evaluated of 579.0 m³/h. Actually, it represents a 38.4% reduction in water consumption and a consumption of 1.0 m³/ton of sugarcane when processed according to limits determined by the São Paulo environmental agency. Improvement of production processes may provide an annual surplus of about nine million Brazilian reais.

Keywords: Economy. Reuse of water. Sugarcane agroindustry. *Saccharum officinarum* L.

Autor correspondente:

Giampaolo Foschini Di Donato - gfdidonato@gmail.com

Recebido em: 06/06/2018

Aceito em: 27/01/2020

INTRODUÇÃO

A indústria sucroalcooleira possui uma cadeia produtiva de considerável impacto ambiental, em especial para São Paulo, que é o Estado de maior representatividade em produção e área plantada de cana-de-açúcar.

Segundo Santos, Morales e Bernardo (2017) o Estado de São Paulo sedia 176 agroindústrias sucroalcooleiras. Desde o programa “Pró-álcool” diversas usinas de açúcar foram ampliadas para a produção de etanol e muitas outras foram construídas para a produção exclusiva de álcool.

Na segunda metade da década de 1980, problemas de continuidade de abastecimento geraram descrédito do “Pró-álcool” e, devido a um longo período com pouco desenvolvimento no setor, algumas usinas foram adaptadas para a produção de açúcar.

A despeito de novos investimentos em tecnologia nos processos de produção de etanol, a partir de 2003, com a introdução da tecnologia dos motores automotivos ciclo Otto-flex, a indústria do etanol voltou a ganhar impulso (LAMONATO, 2014).

¹ Mestre em Ciências Ambientais pela Universidade de Taubaté (UNITAU), Brasil.

² Doutor em Agronomia, docente do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) da Universidade de Taubaté (UNITAU), Taubaté (SP), Brasil.

³ Doutora em Agronomia, docente do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) da Universidade de Taubaté (UNITAU), Taubaté (SP), Brasil.

Desde 1997, quando foi instituída a Lei nº 9.433, a Política Nacional dos Recursos Hídricos - PNRH (BRASIL, 1997), reconhecendo a água como um recurso natural limitado, as exigências ambientais cresceram, não somente referente à captação de água, mas também a correta disposição dos efluentes hídricos e emissões gasosas foram obrigando a indústria sucroalcooleira a se adaptar ao panorama de sustentabilidade ambiental.

Em 2008 São Paulo definiu as diretrizes técnicas para o licenciamento de empreendimentos do setor sucroalcooleiro no Estado em função da disponibilidade dos recursos hídricos. Nesse mesmo ano, as Secretarias de Estado do Meio Ambiente (SMA) e da Agricultura e Abastecimento (SAA), em conjunto com o setor sucroenergético paulista, por meio da União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA) e da Organização de Plantadores de Cana da Região Centro-Sul do Brasil (ORPLANA), estabeleceram o Protocolo Agroambiental, que reconhece e premia as boas práticas ambientais com o Certificado Etanol Verde (SÃO PAULO, 2008).

As usinas signatárias do Protocolo Agroambiental são responsáveis pela produção de 46% do etanol brasileiro e 98% do etanol paulista, sendo que na safra 2017/2018 existiam 160 usinas em operação, sendo 130 unidades agroindustriais e 21 associações certificadas com o selo Etanol Verde. A área compromissada com as boas práticas agroambientais, incluindo usinas e fornecedores de cana signatários, totalizavam 4.819.860 ha, o que corresponde a 23,5% da área agricultável do Estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2018).

O consumo efetivo de água de cada usina varia em função da complexidade de cada usina, ou seja, se há produção exclusiva de açúcar ou etanol, ou se a produção é combinada, e neste caso qual percentual de cada produto na produção total. Tais fatores não permitem uma avaliação comparativa entre usinas com perfis diferentes, devendo ser feita uma correção comparativa com base no estudo técnico de consumo teórico de água utilizado (ELIA NETO *et al.*, 2009).

156

Há quase uma década Walter *et al.* (2011), em amplo estudo sobre a sustentabilidade do etanol brasileiro, avaliaram que o processo industrial é a fase mais crítica de toda a cadeia produtiva em termos de qualidade e quantidade da água com resultados em média de 5 m³/ton de cana processada, tendo como melhor resultado alcançado o consumo de 1,8 m³/ton de cana processada.

Entretanto, outros estudos relatam consumo de água muito variável. Buarque *et al.* (2003) obtiveram consumos entre 0,7 a 12,2 m³/ton de cana processada, de acordo com maior ou menor grau de recirculação de água no processo produtivo. Elia Neto *et al.* (2009) estimaram que o consumo de água alcançava em alguns casos valores superiores a 22 m³/ton de cana processada, quando em ciclos hídricos totalmente abertos. Chavez-Rodriguez *et al.* (2013) apresentaram como referencial de consumo de água, nas etapas produtivas da indústria sucroalcooleira, 15 m³/ton de cana processada em circuitos totalmente abertos.

Na busca pela otimização e eficiência dos processos, o setor sucroalcooleiro paulista tem se aperfeiçoado com um processo de crescimento pela aquisição de usinas menores e a desativação de usinas com baixa eficiência buscando ganhos de escala e projetos de cogeração de energia. Essas modificações podem permitir a redução da necessidade de captação de água aos níveis atuais. Algumas unidades produtoras já alcançam resultados inferiores a 1,0 m³/ton de cana processada (ELIA NETO, 2013) e até mesmo nos limites inferiores designados pela Resolução SMA 88/08 (SÃO PAULO, 2008).

Com relação ao consumo de água nas usinas, proporcionada pelo Protocolo e pelo Zoneamento Agroambiental, observa-se que desde 2010 houve uma redução em 40% no consumo de água para o processamento industrial da cana-de-açúcar, alcançando na safra 2017/2018 o valor de 0,96 m³/ton de cana moída (SÃO PAULO, 2018). Para tanto, ações como fechamento de circuitos com reúso de água, o aprimoramento dos processos industriais, como maior eficiência e redução da captação, foram implementados.

A intensificação do reúso é uma das práticas adotadas que não só diminui o consumo de água como também permite a conservação das fontes hídricas e, pode reduzir, em paralelo, a carga poluente nas emissões, incutindo uma mentalidade de uso racional da água (ALMEIDA, 2011; CHAVEZ-RODRIGUEZ *et al.*, 2013).

A eficiência hídrica também está relacionada à eficiência energética. As usinas sempre tiveram geração de vapor própria para as suas necessidades energéticas a partir da queima de bagaço de cana em caldeiras, gerando, também, energia elétrica para as suas necessidades. Entretanto, era uma solução com baixa eficiência energética (CAMARGO *et al.*, 1990) com perdas de vapor no processo de geração e distribuição. Por questões de limites de resistência de materiais metalúrgicos mais econômicos, o padrão das caldeiras mais antigas, e muitas ainda em uso, são de geração de vapor entre 20 e 21 Kgf/cm². Nesse nível, inúmeras variáveis podem afetar esse rendimento, como alta umidade do bagaço (umidade próxima de 50%), condições técnicas das caldeiras, temperatura de água de alimentação, entre outras. Camargo *et al.* (1990) e Rein (2007) indicaram o padrão de 500 kg de bagaço para cada tonelada de vapor gerado.

No caso de usinas de produção exclusiva de etanol, toda a água presente na própria cana bem como a água captada para o processo; vão para o processo de destilação e saem contaminadas na forma de vinhaça. A vinhaça normalmente não passa por processo de tratamento e é utilizada como fertilizante na irrigação, mas sua aplicação é complexa, de alto custo e com riscos ambientais (MELISSA *et al.*, 2007). Por outro lado, processos de redução de volume, via concentração por evaporação, viabilizam recuperar até 80% da água presente na vinhaça, o que pode representar redução de captação de água para o processo da usina e redução dos custos de transporte da vinhaça para áreas de aplicação como fertilizante, sem prejuízo das propriedades fertilizantes e melhor controle da aplicação (CARVALHO; SILVA, 2010), mas ainda é um processo de elevado investimento que poucas usinas utilizam.

Outra possibilidade no caso da vinhaça; é trabalhar na viabilidade de reduzir a geração, o que pode ser conseguido por processos de melhoria da etapa de preparação de caldo e fermentação (OLIVEIRA *et al.*, 2012) e/ou uso de refeedores das colunas de destilação (BAUM, 2011).

Considerando todos esses aspectos da produção sucroalcooleira, o presente estudo teve como objetivo avaliar o uso dos recursos hídricos em uma usina sucroalcooleira de produção de etanol na região Noroeste do Estado de São Paulo, analisando os elementos e os indicadores de eficiência do processo produtivo, de modo a analisar e avaliar pontos para otimização da utilização dos recursos hídricos.

157

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi realizado em usina de produção de etanol na região Noroeste do Estado de São Paulo situada na Bacia Hidrográfica dos Rios Turvo e Grande, Unidade de Gestão de Recursos Hídricos 15 (UGRHI 15). Trata-se de uma região cujas principais atividades econômicas são agrícolas e industriais (SIGRH, 2017) e que apresenta degradação dos recursos hídricos superficiais, em especial por erosão associada à atividade agrícola e poluição por esgoto doméstico.

A usina produz etanol hidratado e anidro para fins combustíveis, convertendo ainda a levedura excedente do processo de fermentação do etanol para a produção de fermento alimentar animal. O ciclo hídrico da usina em estudo inclui duas fontes primordiais de água no processo: (a) a água captada em corpos hídricos próximos; e (b) a água incorporada da própria cana-de-açúcar.

2.2 AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS DA USINA

Os processos da usina foram avaliados, assim como aqueles circuitos de água bruta e água clarificada da usina. A Figura 1 apresenta o circuito de água bruta, desde a captação até os seus descartes.

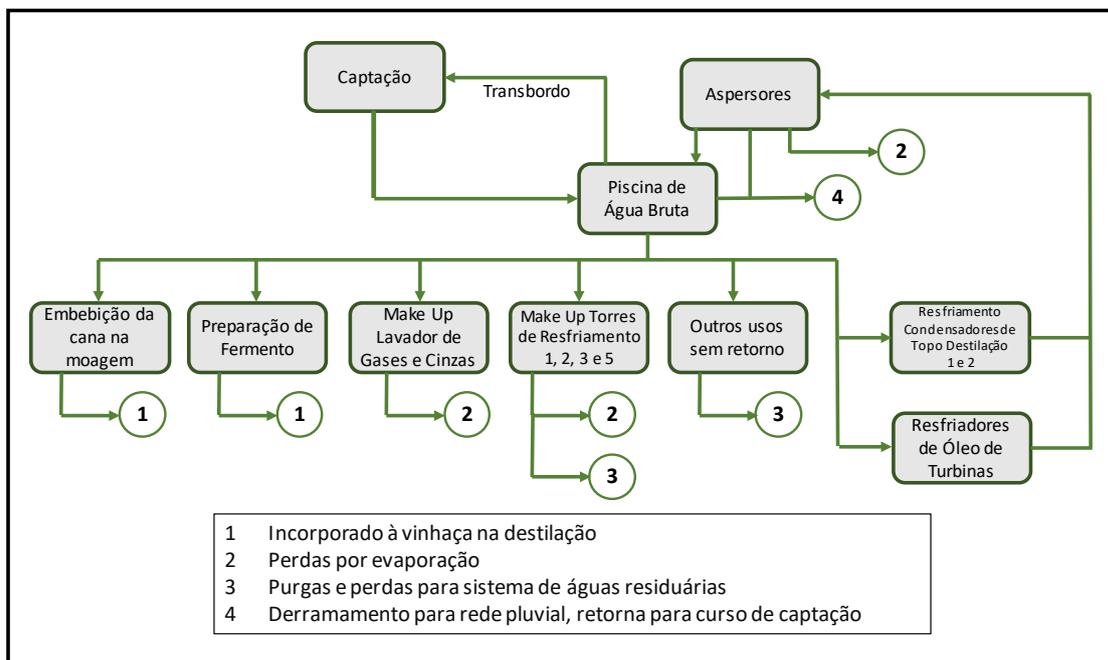


Figura 1. Circuito de Água Bruta da usina sucroalcooleira da região Noroeste do Estado de São Paulo

Uma parte da água bruta, que não está identificada na Figura 1, é também tratada, clarificada e abrandada para uso de geração de vapor nas caldeiras. Uma pequena parcela de água clarificada alimenta, ainda, a reposição do sistema de resfriamento número 4, dos condensadores de etanol anidro, cuja característica dos trocadores de calor nessa usina, selados, não permite o uso de água com impurezas.

Foi utilizado um balanço hídrico dos processos produtivos na usina seguindo as indicações de Silva *et al.* (2011) e, de forma complementar, baseadas em indicações de boas práticas para análises de reúso de água (CUNHA *et al.*, 2010).

Quando necessário, foi realizado o balanço de massa e energia para que propostas de otimização sejam tecnicamente viáveis sem prejuízo à eficiência do processo e qualidade dos produtos. Para esse balanço foram utilizados, nos variados sistemas analisados, dados disponíveis na usina provenientes de estudos realizados em 2014.

Assim, para avaliar o sistema de captação de água, foram utilizados dados do instrumento de medição (placa de orifício) da vazão de captação e recebimento na usina, dados teóricos do sistema de captação e bombeio (IMBIL, 2016), do levantamento altimétrico das tubulações do sistema de captação (*Software* QGIS versão 2.18.1) e da corrente elétrica consumida pelos motores das bombas de captação em operação, por meio de um alicate amperímetro da própria usina.

Para avaliar sistema de vapor e condensado foram utilizados os dados dos instrumentos de medição da vazão de água de alimentação e do vapor produzido nas duas caldeiras, das medições de temperatura no descarte de purgadores. Também se avaliou visualmente as descargas de purgadores, bem como os usos indevidos de vapor com vazão estimada pelo *software* de cálculo de perda de vapor em orifícios (TIV, 2017) e cálculos teóricos das oportunidades de redução de bagaço utilizado como fonte de energia, com o consumo médio de 500 Kg de bagaço por tonelada de vapor gerado em caldeiras similares às de uso na usina (HUGOT, 1986; CAMARGO *et al.*, 1990; REIN, 2007; MANDALOUFAS, 2010) e o preço médio de R\$ 50,00 por tonelada de bagaço (valor conservativo entre o mínimo 30 e o máximo 85) apontado em informe econômico da região (UDOP, 2016).

2.3 AVALIAÇÃO DO USO DE ÁGUA NÃO TRATADA

Para a avaliação do sistema de coleta e tratamento de águas residuárias se utilizou a medição na saída da estação de tratamento (calha Parshall), bem como medições pontuais de descartes para canaletas com uso de balde graduado e cronômetro e os resultados de exames laboratoriais da qualidade do efluente por parte de terceiros que fazem parte de exigências da CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo.

A flegmassa é a corrente hídrica normalmente desprezada junto com a corrente de vinhaça (FATARELLI *et al.*, 2011). Trata-se de uma corrente já destilada de água e que pode ser reutilizada em diversos pontos do processo industrial (MARQUINI *et al.*, 2007). Assim, quanto ao sistema de destilação se avaliou a produção dessa flegmassa, por meio do cálculo das proporções em função do volume de etanol produzido em período em que a usina apresentou produção estável.

Quanto ao sistema de água de refrigeração os cinco sistemas fechados de refrigeração da usina tiveram as temperaturas de saída e retorno medidas, sempre quando os sistemas de bombeamento estavam operando em capacidade total. As capacidades e perdas naturais de todos os sistemas de refrigeração foram calculadas conforme Silva (2009).

Existe ainda mais um circuito que utiliza a própria piscina de captação como fonte de refrigeração por aspersão de parte do refluxo quente e água captada contra transbordo indevido de retorno à fonte de captação de parte da massa aquecida de água da piscina. A vazão do transbordo foi avaliada pela utilização da tabela de cálculos de canal escoadouro (SPAROVEK, 2005).

Para avaliar o sistema de fermentação foram realizadas simulações de laboratório comparando o rendimento fermentativo (transformação do açúcar em etanol), como o fermento sendo preparado com água bruta (uso atual), água tratada clarificada e flegmassa, com o objetivo de confirmar que a produção de etanol pode ser incrementada com a menor contaminação da fonte de água.

O sistema de destilação foi avaliado por meio de simulações com uso do *software* de cálculo térmico HTRI *Heat Transfer Research, Inc.* Em virtude de ampliações mal projetadas no passado, atualmente se utiliza o processo conhecido pelo nome de “borbotagem”, em que o aquecimento é obtido por injeção direta de vapor e consequente perda de água para a vinhaça.

Na avaliação do sistema de embebição da cana moída se considerou as medições atuais de processo e os cálculos de balanço térmico das correntes atuais e novas correntes propostas, para avaliação de perdas e possíveis alternativas de alimentação de correntes hídricas.

Para o sistema de lavagem de gases e recuperação de fuligem foram utilizados dados comparativos com outra usina de capacidade e sistema de geração de vapor similar, para avaliar perdas naturais do sistema e respectiva necessidade de reposição de água.

A análise desses resultados permitiu caracterizar o perfil da usina e avaliar as possibilidades de otimização do processo de produção de etanol considerando as economias de água identificadas no referido processo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A captação de água e o seu consumo relativo no processo de produção de etanol foram avaliadas revelando um consumo relativo de água bem próximo da meta de 1,0 m³/ton definida pelo órgão ambiental.

Os dados obtidos neste estudo por meio de balanço hídrico confirmaram que na safra 2016 a captação média de água foi de 579 m³/hora, resultando um consumo relativo de 1,65 m³/ton de cana processada, para uma efetiva medição de moagem de 2 milhões de toneladas de cana por ano, que é relativamente próxima a meta de processamento da usina.

Para se alcançar a exigência legal de 1,0 m³/ton de cana processada (SÃO PAULO, 2008), mantendo um padrão de moagem praticado na safra 2016, é necessário reduzir a captação média para 351,6 m³/hora, algo equivalente a 39,3% de economia no padrão atual de consumo.

A análise de diversos pontos e correntes no processo produtivo da usina sucroalcooleira revelou que é possível otimizar o uso da água na planta de produção. A Tabela 1 apresenta os pontos de otimização na captação de água identificadas no balanço hídrico da usina em estudo em função de possíveis melhorias.

Tabela 1. Economias de captação de água identificadas no balanço hídrico

Economias de água captada em função de possíveis melhorias na usina	Volume (m ³ /h)
Redução das perdas adicionais na caldeira A	21,6
Fechamento das descargas de purgadores	1,6
Manutenção adequada dos purgadores	5,3
Eliminar usos indevidos de vapor	8,3
Recuperação de água de resfriamento de mancais de moenda	12,4
Recuperação da flegmassa para a embebição	37,7
Vazamentos gerais em circuitos de refrigeração	12,5
Método inadequado de limpeza de pisos	1,0
Transbordo e perdas para águas pluviais	36,0
Eliminação da borbotagem	33,0
Redução de condensado na embebição	32,0
Uso de água residuária no sistema do lavador de gases	20,5
Total	222,1

Conforme a Tabela 1, o total de redução identificado nos diferentes pontos e correntes na usina foi de 222,1 m³/hora de captação ainda, que é um pouco inferior à necessidade de redução de volume de água captado pela usina anteriormente calculada de 227,4 m³/h.

O estudo também identificou uma redução da necessidade de geração de vapor de alta pressão de 30,5 t/h, o que elevará o grau de confiabilidade do sistema de geração e conseqüentemente da usina, considerando que a maioria das reduções de moagem diária identificadas, por problemas internos, foi decorrente de falhas no sistema de geração de vapor que atua sobrecarregado e com flutuações de pressão na rede. Considerando que a moagem média da safra 2016 foi de 8422 t/dia e a capacidade máxima instalada da usina era de 10000 t/dia, para um consumo específico de água de 1,0 m³/t de cana é possível a elevação da média diária de moagem em 1,5%.

Entre os ganhos econômicos estimados com essa condição o primeiro resultaria da economia de geração de vapor e conseqüente viabilidade de venda do bagaço excedente, não queimado como fonte de energia. A redução do consumo de vapor de alta foi ponderada com o consumo específico de bagaço (500 Kg/t) de vapor gerado a preço médio de R\$ 50,00 por tonelada de bagaço e 240 dias de safra. O segundo ganho se refere à viabilidade de aumento da conversão de açúcar em etanol, com o uso de água tratada para preparação do fermento.

Os resultados de concentração alcoólica das amostras após fermentação em testes laboratoriais realizados em cinco corridas, com o fermento preparado com água de três fontes, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Concentração alcoólica (%) das amostras de três fontes distintas na usina após fermentação

Corrida	Com Água Bruta	Com Água Clarificada	Com Flegmassa
		%	
1	3,72	3,90	3,88
2	4,18	4,42	4,50
3	4,06	4,26	4,30
4	3,96	4,18	4,14
5	4,12	4,30	4,28
Média	4,01	4,21	4,22

Os efeitos negativos do uso corrente de água bruta, não tratada, nos processos de preparação de fermento na Usina (Tabela 2), são devidos à introdução de microrganismos no processo que acabam concorrendo com as leveduras no consumo do açúcar disponível no caldo (FREITAS; ROMANO, 2013). Os resultados com água clarificada ou com flegmassa evidenciam uma elevação média de 5,1% na produção de etanol.

Para efeito de avaliação econômica do ganho em se utilizar água tratada na conversão de açúcar em etanol, utilizou-se o preço médio em 2016 do etanol hidratado comercializado nas usinas do Estado de São Paulo, de R\$ 1,68/L divulgado pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA/ESALQ/USP). Nessa mesma safra, a usina produziu 159.140.426 L de etanol hidratado equivalente, gerando a viabilidade de incrementar o faturamento da usina em R\$ 13.410.763,00 conforme pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3. Ganhos econômicos anuais previstos em uma usina de produção de etanol otimizada no uso de recursos hídricos

Descrição	Valor anual (R\$)
Redução de Consumo de Bagaço	5.163.840,00
Maior produção de Etanol	13.410.763,00
Total	18.574.603,00

Todos os ganhos resultam da necessidade de realização de alguns investimentos pontuais, sejam em novos equipamentos e sistemas, seja em manutenção concentrada para recompor condições originais de equipamentos, em especial na necessidade de uso de água clarificada no sistema de preparação de fermento e também em todos os sistemas de água de refrigeração. Tal condição requer a duplicação do sistema atual de tratamento de água, evitando o uso indesejado de vapor e condensado.

O sistema atual tem capacidade de tratamento de 100 m³/h e a demanda futura será de 165,3 m³/h. Tal condição deve elevar o custo de insumos químicos para tratamento de água, compensada com o elevado dispêndio atual de produtos químicos nos sistemas de refrigeração, que atuam com água bruta, elevados vazamentos e contaminações. Como os gastos atuais não estavam estratificados por sistema, não foi possível avaliar essa variação, mas o gasto atual em produtos químicos (aproximadamente R\$ 3 milhões/ano) é bem inferior aos ganhos apontados, condição que não prejudica o balanço econômico avaliado mesmo que haja alguma pequena elevação de consumo total.

Na Tabela 4 é apresentado o total de gastos de investimentos e manutenção pontual, necessários para o alcance da redução de consumo. Como pode ser observado, o gasto total é amortizado em menos de um ano safra, mostrando a viabilidade e sustentabilidade das ações propostas.

Tabela 4. Gastos planejados com investimentos e manutenção da unidade sucroalcooleira

Descrição Investimentos e Manutenções	Valor (x 1000 R\$)
Instalar sistema de coleta de purgadores, destinando descarga para rede de vapor de escape ou retorno de condensado.	200
Instalar novo sistema integrado com válvula redutora e dessuperaquecedora para controle das condições operacionais da rede de vapor de escape.	350
Instalar sistema de lavagem contínua das correntes transportadoras de cana com água bruta (substituindo uso de vapor de alta pressão) em circuito dedicado fechado.	120
Instalar sistema de coleta de água de refrigeração de mancais de moenda, separador de placas para óleos e graxas e bomba de recalque para estação de tratamento de água.	120
Instalar no sistema de coleta na drenagem já existente, estação de bombeio da água de refrigeração de mancais de turbinas para sistema de embebição da moeda.	160
Instalar ponto de coleta e bombeio de água residuária para o sistema de lavagem de gases (tubulação já existente).	80
Instalar tubulação para bombeamento da flegmassa até a moagem para embebição. Bombas já existentes.	100
Instalar novo sistema de água de refrigeração para suprir demandas atuais da circulação na bacia de captação, aproveitando todo o circuito de tubulações existentes.	1500
Instalar novo sistema de tratamento de água, clarificação, sem necessidade de capacidade adicional de abrandamento de água para caldeira. Inclui dois tanques pulmões de 50 m ³ e 1000 m ³ .	1100
Instalar novo vaporizador para aparelho 2 da destilação, substituindo o atual, que deve ser relocado e adicionado à capacidade de vaporização atual de fundo do aparelho 1.	1500
Revisão detalhada da cadeira A, restaurando condições operacionais, sanando vazamentos internos e outras perdas, como em válvulas de segurança.	1500
Reparos gerais de isolamento térmico em tubulações de vapor.	400
Reparos gerais de vazamentos em tubulações de água e vapor.	800
Revisão geral de recheios e distribuidores de água nos sistemas de refrigeração 1, 2, 3 e 5, melhorando a eficiência térmica dos equipamentos.	1500
Reparos de vazamentos na piscina de captação.	300
Total >>>>	9730

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo realizado comprovou ser possível alcançar o limite de consumo máximo em 1,0 m³ de água captada por tonelada de cana processada conforme estabelecido pela Resolução SMA-088/08, com pequenos ajustes de processo economicamente sustentáveis, considerando que a usina está situada em região adequada com limitações ambientais.

Foi possível alcançar uma economia de 222,1 m³/hora contra um consumo atual avaliado de 579,0 m³/hora, representando 38,4% de redução. As melhorias propostas, em especial no sistema de geração e distribuição de vapor, gerariam impacto de maior confiabilidade ao processo e permitir à usina processar uma média diária de cana mais próxima de sua capacidade nominal, garantindo um consumo específico de água ainda menor.

Tais soluções ainda levam a outros ganhos ambientais indiretos como:

- Redução do volume total de efluente atualmente agregado à vinhaça em 111,7 m³/hora, gerando maior facilidade e qualidade de distribuição, assim como menor consumo de combustível e custo para o transporte de distribuição.
- Redução de 17,9 t/h de bagaço de cana queimado nas caldeiras gerando menor emissão atmosférica direta, assim como provável melhor queima do combustível restante pelas caldeiras que passarão a operar com folga em relação à condição atual, próximo do limite operacional.

- c) Eliminação de não conformidade ambiental decorrente do transbordo da piscina de captação e aspersão.
- d) Eliminação da não conformidade ambiental decorrente de vazamentos na piscina de captação e aspersão que é perdida para a rede de águas pluviais.

As melhorias de implantação proposta para o alcance dessa redução de consumo totalizam um investimento pontual de R\$ 9.730.000,00, seja em melhorias com novos equipamentos e mudanças de processo, como em manutenção para recuperação de alguns sistemas. Entretanto, os ganhos de processo, com maior rendimento de conversão do açúcar da cana em etanol e economia energética, com menor quantidade de combustível utilizado nas caldeiras, totalizaram um ganho anual de R\$ 18.574.603,00, valor que pode amortizar os investimentos necessários somente em parte de um ano-safra.

No médio e longo prazo, os ganhos com economia de bagaço e na maior conversão de etanol garantirão resultados do mesmo valor de ganho anual, e sem novas necessidades de investimento para manter esse novo padrão de consumo de captação e cumprindo os requisitos legais atuais.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. G. Aspectos legais para a água de reuso. **Revista Vértices**, v. 13, n. 2, p. 31-43, 2011. Campos de Goytacazes. 2011. Disponível em: <http://essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/vertices/article/view/1809-2667.20110012/701>. Acesso em: 03 nov. 2015.

BAUM, D. **Reuso de água na indústria química**: estudo de caso de uma unidade produtiva de nitrocelulose, 2011. 130f. Tese (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade de São Paulo. 2011. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-09032012-145822/en.php>. Acesso em: 23 set. 2015.

BRASIL. Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras Providências. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília. 9 jan. 1997.

BUARQUE, D. C.; PEDROSA, V. A.; CARVALHO, G. S.; FREIRE, C. C. Critérios de demandas hídricas para a outorga de uso da água: setor sucro-alcooleiro. *In*: SIMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRICOS, 15., Curitiba, 2003. **Anais** [...]. Disponível em: <http://www.ctec.ufal.br/professor/vap/criteriosoutorga.pdf>. Acesso em: 23 set. 2015.

CAMARGO, C. A.; USHIMA, A. H.; RIBEIRO, A. M. M.; SOUZA, M. E. P.; SANTOS, N. F. **Manual de recomendações**: conservação de energia na indústria do açúcar e do álcool. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1990.

CARVALHO, C. C.; SILVA, C. L.; Redução da quantidade de vinhaça através da evaporação. **Fórum Ambiental de Alta Paulista**, v. 6, 2010. Disponível em: http://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum_ambiental/article/viewFile/58/61. Acesso em: 22 out. 2015.

CHAVEZ-RODRIGUEZ, M. F.; MOSQUEIRA-SALAZAR, K. J.; ENSINAS, A.V.; NEBRA, S. A. Water reuse and recycling according to stream qualities in sugar-ethanol plants. **Energy Sustain. Dev.**, v. 17, p. 546-554, 2013.

CUNHA, A. H. N.; MILHARDES, A. L.; FERREIRA, R. B.; FRANÇA, J. B. A.; GRASSI, M. T. Reuso da água no Brasil. *In*: VIII SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 8., JORNADA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO, 5. **Anais** [...]. Universidade Federal de Goiás, 2010. Disponível em: http://www.prp2.ueg.br/sic2010/apresentacao/trabalhos/pdf/agrarias/seminario/reuso_de_agua_no_brasil.pdf. Acesso em: 30 set. 2015.

ELIA NETO, A.; SHINTAKU, A.; PIO, A. A. B.; CONDE, A. J.; FRANCESCO, F.; DONZELLI, J. L. **Manual de conservação e reuso de água na agroindústria sucroenergética**. Brasília: ANA; FIESP; ÚNICA; CTC - Centro de Tecnologia Canavieira, 2009. Disponível em: www.fiesp.com.br/arquivo-download/?id=1616. Acesso em: 06 nov. 2015.

ELIA NETO, A. Gestão dos recursos hídricos na indústria canaveira. In: FÓRUM NACIONAL SUCROENERGÉTICO, 2013. Fórum [...]. Disponível em: www.unica.com.br/download.php?idSecao=17&id=22413381. Acesso em: 24 set. 2015.

FATARELLI, D. P.; SILVA, A. C.; SILVA, A. C.; MODESTO JUNIOR, O. Gerenciamento de Recursos Hídricos na Indústria Canaveira no Setor de Fermentação e Destilação. **Universitári@ - Revista Científica do Unisalesiano**, v. 2, n. 5, p. 659-668, 2011. Disponível em: <http://www.salesianolins.br/universitaria/artigos/no5/artigo73.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2016.

FREITAS, M. D.; ROMANO, F. P. Tipos de contaminações bacterianas presentes no processo de fermentação alcoólica. **Bioenergia em Revista: Diálogos**, v. 3, n. 2, p. 29-37, 2013.

HUGOT, E. Handbook of cane sugar engineering. 3. ed. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1986; IMBIL, Catálogo técnico de bombas ITA. 2016. Disponível em: http://www.imbil.com.br/Imbil/Portugues/Upload/Cat%C3%A1logos/ITAP_web.pdf. Acesso em: 12 nov. 2016.

LAMONATO, D. T. Pró-álcool: de sua criação aos dias atuais. **Jusbrasil**, 2014. Disponível em: <https://danilotlamonato.jusbrasil.com.br/artigos/120002732/pro-alcool-de-sua-criacao-aos-dias-atuais>. Acesso em: 15 jul. 2017.

MANDALOUFAS, M. A. **A utilização do bagaço de cana como fonte de energia, conforme diretrizes do mecanismo de desenvolvimento limpo**. 2010. 127f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade de Taubaté. 2010. Disponível em: http://www.btdt.unitau.br/tesdesimplificado/tde_arquivos/5/TDE-2012-09-25T145612Z-247/Publico/Melissa%20Mandaloufas.pdf. Acesso em: 12 mar. 2017.

164

MARQUINI, M. F.; MARIANI, D. C.; MEIRELLES, A. J. A.; SANTOS, O. A. A.; JORGE, L. M. M. Simulação e análise de um sistema industrial de colunas de destilação de etanol. **Acta Scientiarum: Technology**, v. 29, n. 1, p. 23-28, 2007. Disponível em: <http://www.periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/81/55>. Acesso em: 22 jun. 2016.

MELISSA, A. S. S.; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 1, p. 108-114, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v11n1/v11n1a14.pdf>. Acesso em: 27 out. 2015.

MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I. Água da indústria: uso racional e reuso. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

OLIVEIRA, L. M.; VALDÉS SERRA, J. C.; MAGALHÃES, K. B. Estudo comparativo das diferentes tecnologias utilizadas para produção de etanol. **Revista Eletrônica do Curso de Geografia**, n. 10, p. 1-23, 2012. Disponível em: <http://www.revistas.ufg.br/index.php/geoambiente/article/view/26058/15029>. Acesso em: 06 nov. 2015.

REIN, P. **Cane sugar engineering**. Berlim: Bartens, 2007. 768p.

SANTOS, F. F.; MORALES, A. G.; BERNARDO, C. H. C. Revista organizacional de uma agroindústria Sucroalcooleira: uma análise de conteúdo da temática ambiental. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 10, n. 3, p. 891-914, 2017.

SÃO PAULO (Estado). **Resolução SMA-088/08 - Diretrizes técnicas para o licenciamento de empreendimentos do setor sucroalcooleiro no Estado de São Paulo**. Dezembro/2008. Disponível em: www.ambiente.sp.gov.br/legislacao/etanol/resolucao-sma-88-2008. Acesso em: 20 set. 2019.

SÃO PAULO (Estado). **Etanol verde: Resultados Safra 2017-2018**. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/etanolverde>. Acesso em: 02 ago. 2019.

SÃO PAULO (Estado). **Protocolo Agroambiental do Setor Sucroenergético**. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/protocolo-agroambiental-do-setor-sucroenergetico-263-da-area-agricultavel-de-sao-paulo-esta-comprometida-com-boas-praticas>. Acesso em: 02 abr. 2018.

SIGRH, Sistema integrado de gerenciamento de recursos hídricos do Estado de São Paulo. São Paulo, 2017. Disponível em: www.sigrh.sp.gov.br/main. Acesso em: 15 jun. 2017.

SILVA, J. O. M. **Princípios básicos de tratamento de água de resfriamento**. Cursos CRQ-IV Conselho Regional de Química, São Paulo. 2009. Disponível em: http://www.crq4.org.br/sms/files/file/resfr_apostila_site.pdf. Acesso em: 13 abr. 2017.

SILVA, F. C.; CESAR, M. A. A.; MORAES, J.; VILELA, M.; MENDES, C. Diagnóstico hídrico em destilarias de álcool em São Paulo. **Bioenergia em Revista: Diálogos**, v. 1, n. 1, p. 93-117, 2011. Disponível em: <http://www.fatecpiracicaba.edu.br/revista/index.php/bioenergiaemrevista/article/view/18/11>. Acesso em: 23 set. 2015.

SPAROVEK, G. **Dimensionamento de sistemas de drenagem**. Piracicaba: ESALQ, 2005. Disponível em: www.esalq.usp.br/gerd/SolosIV/DIMV23P_v260905.xls. Acesso em: 16 jun. 2017.

TLV. **Cálculo de perda de vapor em orifícios**. 2017. Disponível em: <http://www.tlv.com/global/BR/steam-theory/cost-of-steam-trap-losses.html>. Acesso em: 26 abr. 2017.

UDOP - União dos Produtores de Bioenergia. **Energia da cana-de-açúcar no Brasil**. 2016. Disponível em: <http://www.udop.com.br>. Acesso em: 9 mai. 2018.

WALTER, A.; DOLZAN, P.; QUILODRAN, O.; OLIVEIRA, J. G.; SILVA, C.; PIACENTE, F.; SEGERSTEDT, A. Sustainability assessment of bio-ethanol production in Brazil considering land use change, GHG emissions and socio-economic aspects. **Energy Policy**, v. 39, p. 5703-5716, 2011.