

ECOINOVAÇÃO EM UMA AGROINDÚSTRIA SUCROENERGÉTICA: UM ESTUDO DE CASO DO PROJETO DE ÁGUAS RESIDUAIS ZERO

BRUNA SOUSA FERREIRA

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO (UNESP)
bruna.sousaferreira@gmail.com

DAVID FERREIRA LOPES SANTOS

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO (UNESP)
david.lopez@fcav.unesp.br

ANDRÉ GUSTAVO DE BRITO THOMAZ

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO (UNESP)
andre.gustavo21@terra.com.br

MARCELO GIROTTO REBELATO

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO (UNESP)
mgiroto@fcav.unesp.br

Introdução

O aumento da competitividade global, a crescente demanda por eficiência operacional, as regulações socioambientais, a pressão dos stakeholders e a rápida transformação tecnológica desafiam cada vez mais as empresas a inovar com foco ambiental. Se por um lado o presente cenário é desafiador para as empresas, por outro, a inovação sustentável pode se tornar uma alternativa para estratégias de diferenciação e oportunidades de negócios, em congruência com o alinhamento das expectativas da sociedade.

Contexto Investigado

A pesquisa teve foco em uma indústria sucroenergética, situada na região Noroeste do estado de Minas Gerais. O objetivo do estudo é analisar o potencial de projetos deecoinovação aplicados em uma usina sucroenergética com vistas ao gerenciamento adequado do processo de captação, reúso e descarte de água, visando diminuição de custos operacionais e melhoria dos aspectos ambientais.

Diagnóstico da Situação-Problema

Foram identificados os setores da produção que apresentam grande volume no uso de água e a situação atual em que se encontram. A estratégia da empresa é identificar no sistema atual as perdas (de água e de eficiência operacional), a geração de água residual e os setores que apresentam baixo aproveitamento do sistema hídrico. Foram pontuados um total de 12 itens que deveriam ser alvos inicialmente do programa de geração deecoinovações para eliminação da água residual.

Intervenção Proposta

A estratégia deecoinovação da empresa é voltada para o investimento em tecnologias limpas, por meio da P+L. Neste caso, com o reúso das águas residuais e consequente redução na captação de água, a empresa vislumbra a possibilidade de ganhos ambientais e econômicos. Nesse estágio, foram propostas as melhorias em cada setor, verificando quais possíveis melhorias para o sistema atual, por meio da minimização das perdas e determinação da melhor utilização da água residual gerada.

Resultados Obtidos

Quanto à eficiência operacional e redução de custos, a empresa almeja com a implantação a redução em gastos com recursos hídricos de 20%, equivalente com o que deixou de captar no meio ambiente. O que representaria uma economia de aproximadamente 7,4 milhões de reais ao ano, referente aos gastos com a captação de água bruta, bem como os custos para tratamento destas para entrada no ciclo produtivo e tratamento pós-consumo pela indústria.

Contribuição Tecnológica-Social

Foi possível evidenciar melhorias nos processos de produção, no sistema de gestão (que foi necessário para controle e monitoramento do programa) e também em alguns equipamentos e instalações. Pretende-se aperfeiçoar cada vez mais esse projeto, buscando expandir aecoinovação em outros processos organizacionais da empresa. Com esse estudo buscou-se avançar as discussões deecoinovação em usina sucroenergéticas, visto que é um setor representativo para economia brasileira.

ECOINOVAÇÃO EM UMA AGROINDÚSTRIA SUCROENERGÉTICA: UM ESTUDO DE CASO DO PROJETO DE ÁGUAS RESIDUAIS ZERO

1. INTRODUÇÃO

A inovação apresenta-se como um dos principais recursos para contribuir com a sustentabilidade das empresas, a partir de alterações tecnológicas, de produtos e gestão que podem entregar uma dinâmica distinta à atuação das organizações com vistas à redução do impacto social e ambiental. Segundo Santos et al. (2015), não há consenso da maneira como denominar a inovação voltada para melhoria ambiental em atividades empresariais, como adotado em variados trabalhos técnicos e acadêmicos e com extensa aplicação, será utilizado nesse trabalho os termosecoinovação e inovação sustentável como sinônimos.

Kemp e Pearson (2007, p. 07) definemecoinovação como “a produção, assimilação ou exploração de um produto, processo de produção, serviço ou método de gestão ou de negócio que é novo para a organização (desenvolvendo ou adotando-a) e que resulta, ao longo do seu ciclo de vida, em reduções de riscos ambientais”.

Os setores produtores de energia e combustível são cruciais para a melhoria da sustentabilidade mundial, devido o impacto ambiental e produção de Gases de Efeito Estufa (GEE) causadas por suas atividades. Por esse motivo agroindústria canavieira está em fase de expansão frente à demanda mundial por um combustível mais limpo e de fonte renovável (SANTOS et al., 2015).

O Brasil é o principal produtor de cana-de-açúcar no mundo, com uma quota de 39,4%. A cana-de-açúcar atualmente cobre 8,8 milhões de hectares no Brasil, ou 3,2% das terras aráveis do país (NEVES; TROMBIN; CONSOLI, 2010). A indústria de cana-de-açúcar brasileira que produz etanol, energia através de biomassa e açúcar movimentou US\$ 107,72 bilhões ao longo da cadeia e é responsável, sozinha, por US\$ 43,36 bilhões no PIB brasileiro (NEVES e TROMBIN, 2014).

A agroindústria canavieira é uma atividade que apresenta elevado potencial de poluição quanto aos resíduos gerados da produção do etanol e açúcar, com grande relevância da utilização dos recursos hídricos, pois as plantas industriais utilizam grandes vazões de água em todo o processo produtivo, em especial, na lavagem da cana *in natura*, gerando um volume significativo de águas residuais (INGARAMO et al., 2009; SAHU, CHAUDHARI, 2015).

Não obstante, a legislação ambiental brasileira torna-se cada vez mais rígida e abrangente, com isso as questões ambientais assumem um papel cada vez mais relevante no desempenho empresarial. Em adição, a sociedade de uma forma geral tem exigido dos setores econômicos processos ambientalmente mais limpos (SANTOS et al., 2015).

Com o avanço tecnológico e uma gestão ambiental adequada, os impactos ambientais podem ser totalmente minimizados. Os resíduos gerados do processamento de cana-de-açúcar geralmente são materiais orgânicos que tem um grande potencial para reutilização. Com isso, o volume de água doce requerida por esta indústria pode ser significativamente reduzido por meio da recuperação das águas residuais presente no processo produtivo cana-de-açúcar. Diante do exposto, a questão que motivou este relato foi: quais inovações ambientais (tecnológicas e gerenciais) podem ser utilizadas em uma usina sucroenergética para reduzir ao nível zero a quantidade de águas residuais?

Neste sentido, o objetivo do estudo é analisar o potencial de projetos deecoinovação aplicados em uma usina sucroenergética com vistas ao gerenciamento adequado do processo de captação, reúso e descarte de água.

2. CONTEXTO INVESTIGADO

A pesquisa teve foco em uma indústria sucroenergética, situada na região Noroeste do estado de Minas Gerais, a usina está estrategicamente posicionada em relação aos mercados consumidores locais e vias de exportação, em função da proximidade com o sistema de dutos até o litoral de São Paulo.

A região apresenta relevo totalmente plano, com diversidade de solos, ótima disponibilidade de recursos hídricos, e características climáticas ideais para o cultivo da cana-de-açúcar. O alto índice de insolação durante todo o ano permite maior produtividade; o período sem chuva durante o inverno favorece a maturação da cana e a topografia regular contribui para a completa mecanização agrícola.

A empresa destaca na sua visão o interesse em ser referência em eficiência de processos e no desenvolvimento de inovações que assegurem a melhoria contínua e a sustentabilidade. Essa diretriz estratégica tem contribuído para um posicionamento de destaque junto a região, fato evidenciado pela consecução de prêmios junto ao setor.

A usina possui um plano estratégico alinhado com o seu modelo de negócio que tem como premissa a criação de valor por meio de produtos autossustentáveis. Nesta direção, objetivos e metas são propostas dentro dos processos operacionais que devem ser orientados à rentabilidade do investimento, redução de custos, eficiência operacional, produtividade agrícola e atendimento aos requisitos ambientais e sociais exigidos externamente e estabelecidos internamente.

A estrutura tecnológica industrial desta usina é equivalente aos principais *players* do mercado, pois integra os três principais produtos derivados da cana-de-açúcar: etanol hidratado, açúcar e cogeração de energia elétrica.

A energia elétrica é gerada a partir da queima do bagaço da cana e se constitui como a principal inovação radical do setor desde o etanol hidratado (SANTOS et al., 2015). Essa inovação permitiu, a geração de energia elétrica oriunda de fonte renovável e ainda contribuiu para eliminação do principal resíduo, em volume, do processo: o bagaço da cana. Além disso, ressalta-se que a usina já adota inovações ambientais conhecidas no setor como fertilização associada à irrigação das áreas cultivadas com a aspersão de águas residuais e aplicação da vinhaça que também é um subproduto do processo produtivo da produção de açúcar e etanol (REBELATO; MADALENO; RODRIGUES, 2014).

Na safra de 2014/2015 foram processadas cerca de 2,5 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, produzindo 155 milhões m³ de etanol hidratado, 1,5 milhões de sacas de açúcar VHP (*Very High Polarization*) e 275.000 *mega-watts* (MWh) de energia elétrica e almeja aumentar para a safra ano de 2015/2016 esses indicadores em pelo menos 10%.

Em tempo, todo o plantio de cana-de-açúcar da usina é feito com a aspersão de águas residuárias e ‘fertilização’ (fertilização irrigada) com a vinhaça gerada pelo setor produtivo, levando a uma aplicação promissora do ponto de vista ambiental, pela destinação de resíduos poluentes e técnico e econômico com aumento da produtividade e diminuição de custos, além de ser benéfico ao solo.

A usina possui um plano estratégico alinhado com o seu modelo de negócio que tem como premissa a criação de valor por meio de produtos autossustentáveis. Nesta direção, objetivos e metas são propostas dentro dos processos operacionais que devem ser orientados à rentabilidade do investimento, redução de custos, eficiência operacional, produtividade agrícola e atendimento aos requisitos ambientais e sociais exigidos externamente e estabelecidos internamente.

3. DIAGNOSTICO DA SITUAÇÃO INVESTIGADA

Seguindo as orientações do protocolo proposto por Biancolino et al. (2012) este relato técnico foi elaborado com propósitos de descrever uma experiência profissional, utilizando-se do rigor científico e metodológico. Pretende-se compartilhar neste estudo a experiência de um trabalho de intervenção, por meio da proposição de um portfólio de projetos de inovação tecnológica, orientado ao processo produtivo e com escopo ambiental.

Em razão da amplitude do impacto ambiental que pode ser gerado por usina sucroenergética delimitou-se, neste trabalho de intervenção, aqueles com diretamente associados aos recursos hídricos. Essa decisão justifica-se nos seguintes pontos: i) em razão da estiagem recente na região sudeste do Brasil, a autossuficiência em recursos hídricos assumiu uma posição de destaque nas estratégias das indústrias com valores ambientais; e ii) no contato inicial com a empresa, este tema foi o proeminente. Na expectativa de alcançar o objetivo deste estudo, Roscoe, Cousins e Lamming (2016) assinalam que a implantação de ecoinovação nos processos, principalmente industriais, pode reduzir o impacto ambiental das etapas produtivas por meio de tecnologias de produção mais limpa.

Desde o contato inicial com a usina até a análise dos investimentos realizados em inovações ambientais na usina estudada, verificou-se que a principal motivação concentra-se de redução dos custos de produção, o que reforça o caráter de inovação, pois as ecoinovações não devem apresentar, apenas, importância ambiental, mas também um impacto positivo no desempenho econômico ou financeiro da empresa (JACOMOSSI et al., 2016),

Em segundo estágio, as inovações ambientais se revelam como adequações de instalações e processos com vistas ao cumprimento das exigências legais do Brasil, em se tratando em águas residuais, para atender a Política Nacional dos Recursos Hídricos, Lei nº 9.433 de 1997.

Este apontamento se mostra necessário, em função de uma perspectiva teórica proposta por Rennings (2000) onde os fatores de impulso da tecnologia e exigências do mercado por si só não parecem ser significativos para adoção ou investimento em ecoinovação. Segundo este autor haveria necessidade de uma regulamentação efetiva.

Nesta direção, a Figura 1, mostra os determinantes da ecoinovação como uma convergência dos fatores puxados pelo mercado e órgãos reguladores e empurrados pelo avanço tecnológico e pelo desenvolvimento organizacional (HORBACH, RAMMER e RENNINGS, 2012).

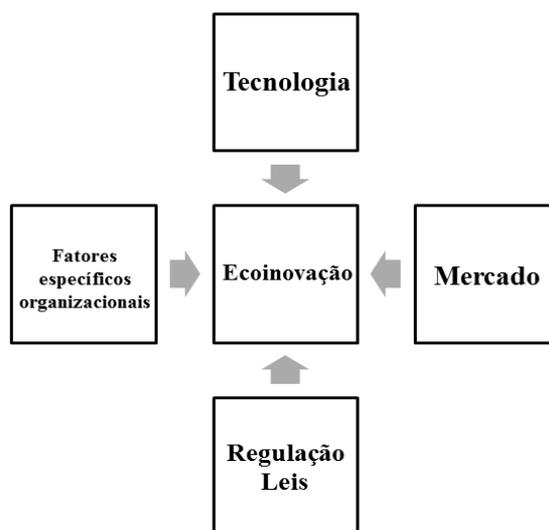


Figura 1: Determinantes da ecoinovação
Fonte: Adaptado de Horbach; Rammer; Rennings (2012).

Em busca de processos menos impactantes para o ecossistema, o setor de qualidade, que é concomitante com a gestão ambiental da usina estudada vem adotando processos de produção mais limpa (P+L) em toda sua cadeia produtiva, sendo uma das etapas evolutivas daecoinovação. A P+L conceitua-se na aplicação contínua de uma estratégia econômica, ambiental e tecnológica integrada aos processos e produtos, a fim de aumentar a eficiência no uso de matérias primas, água e energia, através da não geração, minimização ou reciclagem de resíduos gerados em um processo produtivo. Insere o uso mais eficiente dos recursos naturais e, como resultado, reduz a geração de resíduos e poluição, bem como os riscos à saúde humana (CNTL, 2013).

Com isso, o projeto de intervenção, objeto deste relato, foi denominado “Águas Residuais Zero” e classificados como projetos de ecoinovação, tendo em vista que, procuram apresentar inovações em processos produtivos dentro do escopo ambiental associado ao melhor desempenho financeiro (WILSON, 2015).

Sendo assim, a dimensão de maior destaque no projeto de ecoinovação é denominada como ecoeficiência. Essa dimensão é proposta por Barbieri et al. (2010) como a área de interseção entre os objetivos organizacionais: econômicos e ambientais.

3.1 Procedimentos Metodológicos do Relato

Em função do contexto abordado e do objetivo proposto neste trabalho de intervenção, pode-se classificar metodologicamente este relato em:

- a) Natureza: Aplicada;
- b) Finalidade: Descritiva;
- c) Abordagem: Qualitativa;
- d) Procedimento: Estudo de Caso; e
- e) Técnicas de intervenção: entrevistas, observação participante, análise de documentos e elaboração de diagnóstico.

Ressalta-se que, a escolha da usina foi intencional, pois esta atendeu ao perfil já assinalado e demonstrou interesse pelo trabalho, além da disponibilidade para obtenção dos dados.

A coleta de informações e dados foi realizada em fontes secundárias por documentos mantidos pela empresa e fontes primárias, através das visitas *in loco*, quando foi possível entrevistar funcionários e observar de forma participativa o processo produtivo.

De acordo com Yin (2010), o estudo de caso consiste em uma investigação empírica, uma metodologia que abrange planejamento, técnicas de coleta de dados e análise dos mesmos. Ainda de acordo com o autor, o estudo de caso poderá se utilizar de seis fontes potenciais de informação, dentre estas se podem citar: documentos, registros, entrevistas, observação direta, observação dos participantes e artefatos físicos. No presente estudo, as fontes de informação utilizadas foram:

- a) Relatórios da Administração, com a intenção de caracterizar a empresa estudada;
- b) Informações coletadas no site da empresa;
- c) Relatórios do projeto de águas residuais zero;
- d) Relatórios Técnicos de balanços hídricos, como análise da empresa, com levantamento da quantidade de águas residuais no processo de produção de açúcar e etanol;
- e) Relatórios Técnicos de Balanço de Massa e Energia, para análise da efetividade da empresa;
- f) Fluxograma de produção e balanço hídrico;
- g) Relatório técnico da condição das torres de resfriamento; e
- h) Outros documentos pertinentes ao projeto estudado.

As visitas na empresa (*in loco*) ocorreram nos dias 03/03/2016 e 04/04/2016 por dois dos autores deste relato. Nestas visitas, com duração total de 16 horas, houve, também, a presença de dois consultores externos especialistas no tema deste estudo, o que permitiu a triangulação no levantamento de dados entre os gestores da empresa, os documentos apresentados e os consultores externos. O Diretor Industrial da usina foi o responsável por orientar a visita, que no seu transcorrer, envolveu a observação de processos, registro fotográficos e interlocução com operadores e supervisores de atividades.

Durante a visita foram coletados dados sobre os processos industriais que apresentam grande consumo de água, foram verificadas as fontes de captação de água e o atual sistema de reúso da água. Em reunião foram discutidos o escopo dos projetos deecoinovação, a importância do programa de reúso da água e a necessidade de avanço tecnológico no parque industrial.

Em adição, os resultados deste trabalho foram discutidos com o terceiro autor deste relato como forma de aumentar a imparcialidade na análise e discussão dos resultados.

A partir dos dados coletados, empregou-se a análise qualitativa por meio da técnica de análise de conteúdo proposta por Bardin (1991). Para isso, foram percorridas as etapas de pré-análise, exploração do material, tratamento dos resultados, inferência e interpretação.

A análise dos dados foi realizada de forma descritivo-qualitativa, que segundo Cooper e Schidler (2011) possibilitam captar a essência dos processos dinâmicos vivenciados por grupos sociais, possibilitando compreender com maior profundidade o comportamento do objeto de estudo.

Após a construção do relato, os resultados foram apresentados em workshop com diferentes profissionais que contribuíram com críticas e sugestões; com efeito, uma nova revisão foi elaborada e submetida à apreciação do gestor da empresa e consultores que, por fim, também contribuíram com a versão final deste relato.

Como se trata de um relato técnico, cuja metodologia é baseada em uma abordagem qualitativa com o método do estudo de caso, algumas limitações na interpretação e, especialmente, na replicação deste trabalho devem ser atentados: i) os resultados são únicos para o contexto investigado, toda extrapolação deve considerar as novas especificidades tecnológicas, culturais e de gestão; ii) houve um esforço em entregar confiabilidade na interpretação, com a estratégia de triangulação de informações, interpretação dos dados com um dos autores externos à visita e discussão com grupo de especialistas; porém, há sempre a possibilidade de novas interpretações e perspectivas de projetos deecoinovação, por isso, tem-se a ciência, que não foi possível esgotar todas as possibilidades sobre o objetivo; iii) o relato foi validado junto aos participantes, contudo, é possível que existam outras informações no cotidiano da empresa que não foram explorados no período da pesquisa, em que pese, todo o esforço em percorrer todo o processo produtivo.

3.2 A Situação Investigada

3.2.1 Delimitação da Situação Inicial

Para identificação do ciclo produtivo de maneira geral, a Figura 2, consiste em um fluxograma do balanço de massa genérico de uma usina de açúcar e álcool onde se visualiza os locais de utilização de água, bem como a geração de águas residuárias.

A Figura 2 demonstra que, para cada 1.000 ton de cana *in natura* há necessidade média de 16.673 m³ de água para ser empregada em diferentes etapas do processo. Não obstante, o processo produtivo gera 17.125 m³ de água residuais considerando, a capacidade de moagem da empresa estuda em 2,4 milhões de ton na última safra, evidencia-se a

importância ambiental e financeira de um sistema de circuito fechado que permita o reúso da água residual do processo e, ainda, a correta destinação do excedente.

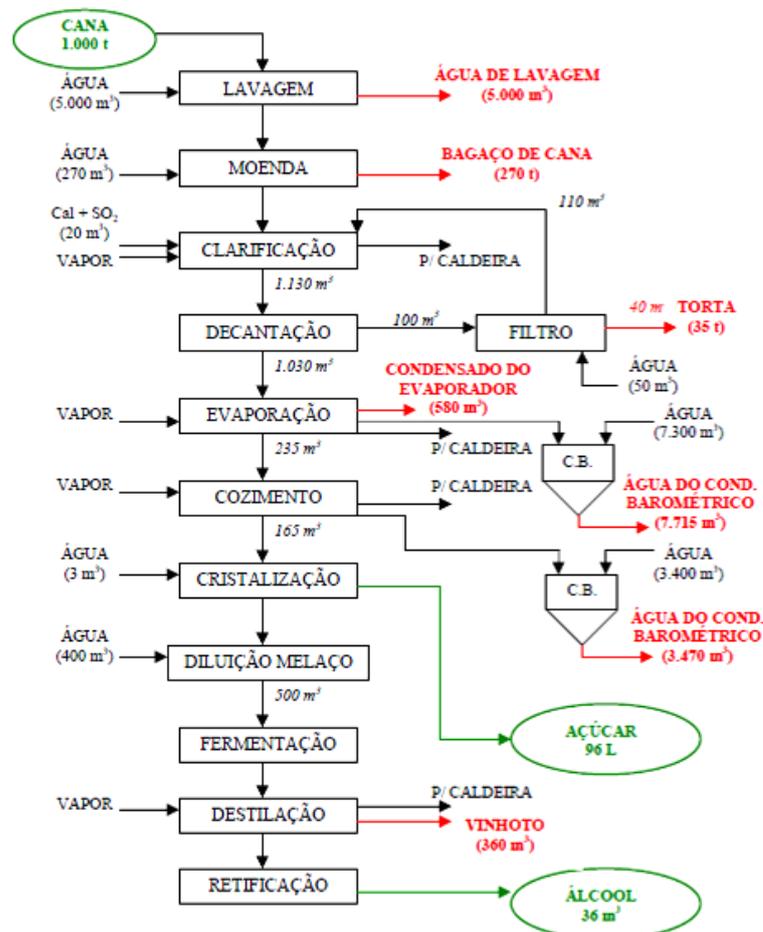


Figura 2: Fluxograma do balanço de massa genérico de uma usina de açúcar e álcool.
Fonte: CETESB, 2002.

Segundo Ingaramo et al. (2009), a água necessária para atender às necessidades de processo produtivo sucroalcooleiro pode ser obtida a partir de duas fontes:

a) Água a partir da própria cana, o qual é recuperado em diferentes operações dentro do processo (por ex. a evaporação, cristalização, refinaria). A quantidade de água gerada pode ser suficiente para sustentar o processo de fabricação de açúcar; e

b) Água de poços ou rios que são consumidas principalmente em condensadores barométricos, para a remoção de poeira na chaminé e purificadores, refrigeração das turbinas e máquinas.

Verificou-se que, a indústria estudada apresenta um sistema gerenciamento de águas residuais na condição de mínima de captação, que varia de acordo com o *mix* de produção, isto é, quanto mais açucareira (quanto mais açúcar for produzido), mais água tem-se a disposição e menor será a sua captação.

Através daecoinovação a indústria busca obter redução do consumo e redução na captação de água bruta, eliminação da possibilidade de despejo de águas residuais em locais inapropriados, redução da produção de águas residuais tanto no processo quanto nas paradas repentinas e durante períodos de chuva e redução nos efluentes gerados no processo de produção.

Considera-se a implantação do processo de água residual zero em 5 etapas, conforme Figura 3, sendo elas:

Etapa 1: Levantamento de campo para verificação das condições operacionais da indústria, verificação dos processos que consomem mais água, verificação de existência de algum sistema de tratamento implementado, verificação das fontes de captação de água, análise documental e de fluxogramas de processos.

Etapa 2: Quantificação, racionalização, reúso interno e redução ao mínimo as águas residuais.

Etapa 3: Elaboração do projeto básico para validação da vazão mínima das águas residuais, tratamento (decantação) e reúso.

Etapa 4: Verificação das possibilidades de reúso de água, identificação das tecnologias que deverão ser utilizadas, análise do retorno (ambiental, econômico, imagem da empresa) que o projeto trará, adequado à legislação.

Etapa 5: Implantação do projeto e acompanhamento para verificação dos objetivos propostos.



Figura 3: Etapas para implantação do programa de água residuais
Fonte: Relatório Interno da Empresa.

Neste relato técnico o trabalho considera as alternativas previstas no projeto básico (Etapa 3) e a Análise da Viabilidade Operacional (Etapa 4), sem descartar as condições industriais existentes e a análise de dados; todavia, em função da limitação de espaço, complexidade de informações técnicas e o próprio escopo do relato, objetivou-se concentrar atenção nasecoinovações voltadas para a eliminação das águas residuais.

Deste modo, foi calculado para mensuração do balanço hídrico, com a capacidade de produção atual da usina com uma moagem de 15 mil toneladas de cana por dia.

Os balanços foram elaborados em 3 condições de produtividade possíveis em que a cana (matéria-prima) pode ser processada durante a safra. Essas condições envolvem o indicador Açúcar Redutor Total (ART) que é um percentual da cana que representa a quantidade de açúcar presente na matéria-prima. As situações presentes no estudo envolvem o %ART da cana com 13%, 15,25% e 16%. Na situação ART em 13% a indústria deverá retirar mais água da cana durante o processo de produção do açúcar acarretando em uma maior geração de águas residuais, enquanto na situação de 16% será retirada uma quantidade menor de água da cana, e, com efeito, maior demanda de captação de água.

4. ANÁLISE DA SITUAÇÃO-PROBLEMA

A partir da elaboração dos balanços de massa, energia e hídrico tem-se as seguintes premissas referentes a capacidade de produção atual da usina:

1) A situação 1 apresenta ART de 13% da cana, gerando 11.593 sacos de açúcar e 750 m³ de álcool hidratado por dia, sendo um *mix* de produção de 36% açúcar e 64% etanol.

2) A situação 2 apresenta ART de 15,25% da cana, gerando 11.626 sacos de açúcar e 950 m³ de álcool hidratado por dia, sendo um *mix* de produção de 30% açúcar e 70% etanol.

3) A situação 3 apresenta ART de 16% da cana, gerando 12.106 sacos de açúcar e 1000 m³ de álcool hidratado por dia, sendo um *mix* de produção de 30% açúcar e 70% etanol.

Nestes cenários, conforme demonstrado na Tabela 1 têm-se a seguinte situação de captação de água e águas residuais:

Tabela 1: Quantidade de captação de água e água residual nas três situações

	Situação 1	Situação 2	Situação 3
Art % Cana	13	15,25	16
Captação (m ³ /h)	533	577	582
Captação (m ³ /TC)	0,85	0,92	0,93
Águas residuais (m ³ /h)	160	107	109

Fonte: Elaborado pelos autores.

4.1 Diagnóstico da Situação Atual

Nesta etapa foram identificados os setores da produção que apresentam grande volume no uso de água e a situação atual em que se encontram. A estratégia da empresa é identificar no sistema atual as perdas (de água e de eficiência operacional), a geração de água residual e os setores que apresentam baixo aproveitamento do sistema hídrico.

Quadro 1: Diagnóstico da situação atual

ETAPA ALVO DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DO USO DA ÁGUA
Água residual da refinaria	Toda água é descartada para a lavoura como águas residuais.
Sistema do tratamento de água dos lavadores de gás das caldeiras	Conforme informações conseguidas junto ao corpo técnico da usina e verificadas <i>in loco</i> , o atual sistema tem sérios problemas fazendo do mesmo um gerador de águas residuais, quando deveria ser um consumidor pela evaporação através das chaminés. Como consequência o lavador de gás também não operará a contento elevando o desgaste nos exaustores e tubulações.
Água utilizada para lavagem de cana, limpeza embaixo da mesa de alimentação de cana e limpeza do esteirão metálico	Teoricamente a água utilizada para esta finalidade está em circuito fechado, mas como verificado as caixas de decantação estavam cheias de sedimentos já a algum tempo, inclusive com caixa nascendo vegetação. A bomba de recirculação estava desativada a pelo menos um mês. Durante a visita a água bruta estava sendo utilizada para limpeza do esteirão a uma vazão de 130 m ³ /h, que depois de utilizada era enviada a lavoura como água residual.
Sistema de resfriamento e utilização de condensado	Todo o condensado de V1 e amoniacal (V2, V3, etc) é regenerado com caldo resfriado em torre e depois pode ser enviado a embebição ou para estação de tratamento de água da destilaria.
Bombas de vácuo	Muita água utilizada no selo das bombas de vácuo é descartada para a lavoura.
Sistema de água de lavagem de tela do filtro prensa	Atualmente 20 m ³ /h de água utilizada na lavoura de tela do filtro prensa é incorporada no processo pela caixa de dosagem, com isto 20t de vapor são necessários para sua evaporação, além do aumento da área do conjunto de evaporação
Água residual da lavagem da cana-de-açúcar	Á água residual industrial se mistura com água de lavagem de gases e lavagem de cana comprometendo sua qualidade. O sistema atual não tem sistema de segurança e em caso de anomalia se deposita em local não adequado.

Sistema de resfriamento da fábrica de açúcar	O <i>spray</i> de resfriamento trabalha em seu nível máximo de operação, transbordando com qualquer acréscimo de água, como estava ocorrendo no dia da visita. Como opera cheio, seu volume morto é de aproximadamente 10.000 m ³ e de difícil tratamento. Este <i>spray</i> opera com água resfriada a 38°C fazendo com que cozedores operem a 80°C, degradando açúcares causando perdas enormes no processo
Recuperação de água e produto do piso da fábrica de açúcar	Toda água ou produto que cai no piso da fábrica de açúcar é incorporado a canaleta de água residual e enviada a lavoura.
Água de resfriamento de óleo e mancais do setor da caldeira	A água tratada utilizada para o resfriamento, cerca de 40 m ³ /h, é toda descartada para o setor de tratamento de água de fuligem e posterior descarte a lavoura.
Vazamentos	Durante as visitas encontrou inúmeros vazamentos sendo alguns de elevada vazão na tubulação de água da captação, evidenciando problemas no sistema de qualidade e, com efeito, na manutenção da planta.
Água residual da destilaria	A água utilizada na limpeza das dornas e centrífugas são enviadas a volante, não gerando efluente. Para limpeza do resfriador de mosto é utilizado flegmaça que depois de utilizado é enviado a lavoura como água residual.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Foi pontuado um total de 12 itens que deveriam ser alvos inicialmente do programa de geração deecoinovações para eliminação da água residual.

4.2 Proposta de Intervenção e Melhoria

A estratégia de ecoinovação da empresa é voltada para o investimento em tecnologias limpas, através da P+L. Neste caso, com o reúso das águas residuais e consequente redução na captação de água, a empresa vislumbra a possibilidade de ganhos ambientais, sociais e econômicos. Nesse estágio, foram propostas as melhorias em cada setor identificado anteriormente, verificando onde é possível melhorar o sistema atual, como citado no Quadro 2 por meio da minimização das perdas e determinação da melhor utilização da água residual gerada.

Quadro 2: Diagnóstico da intervenção e resultados do projeto

ETAPA ALVO DO PROCESSO	ECOINOVAÇÃO	DESCRIÇÃO DA ECOINOVAÇÃO
Água Residual da refinaria	Ecoinovação tecnológica de processo	Utilizar água da regeneração das resinas como reposição do sistema de lavagem de águas das caldeiras e a água de limpeza dos filtros de areia enviar para as torres de resfriamento de condensado e reutilizar como água bruta
Sistema do tratamento de água dos lavadores de gás das caldeiras	Ecoinovação tecnológica de gestão	Deve ser feito estudo detalhado do atual sistema, instalações e acessórios para identificar falhas e realizar as mudanças necessárias para a operação normal do conjunto. Desativar as caixas de alvenaria (caixas de decantação) que tem custo elevado para limpeza, além de serem geradoras de água residual quando esvaziadas para limpeza, geram aproximadamente 1.300 m ³ de água.
Água utilizada para lavagem de cana, limpeza embaixo da mesa de alimentação de cana e limpeza do esteirão metálico	Ecoinovação tecnológica de processo	Tanto a lavagem de cana como a limpeza embaixo da mesa alimentadora com água estão em desuso já a algum tempo, devendo, portanto, serem desativadas. Para limpeza da esteira deve-se utilizar bicos de alta pressão cujo consumo cai para 40 m ³ /h que depois da limpeza do esteirão pode ser reutilizado na embebição como é feita em várias unidades industriais

Sistema de resfriamento e utilização de condensado	Ecoinovação tecnológica de gestão	Manter sistema atual verificando a real capacidade das torres
Bombas de vácuo	Ecoinovação tecnológica de produto e processo	Montar sistema de recuperação e enviar esta água para as torres de condensado a ser resfriado para posterior reutilização, devendo ser aumentada a capacidade das torres.
Sistema de água de lavagem de tela do filtro prensa	Ecoinovação tecnológica de processo	Instalação de um sistema de recirculação.
Água residual da lavagem da cana-de-açúcar	Ecoinovação tecnológica de processo	Como já mencionado deve-se desativar sistema de lavagem de cana, com isto ficam à disposição 4 caixas de 1.500 m ³ cada, que ficariam assim distribuídas: - 1 (uma) caixa seria o pulmão de alimentação da bomba de recalque a lavoura; e - 3 (três) caixas como pulmão de segurança que seriam esgotadas pelas bombas existentes.
Sistema de resfriamento da fábrica de açúcar	Ecoinovação tecnológica de processo	Substituir o spray por torres de resfriamento, para resolver o problema de resfriamento e volume de água ou pelo menos fazer com que o spray trabalhe seco, o que não melhora a temperatura, mas pelo menos diminui o volume de água e a possibilidade de a todo o momento enviar água a lavoura
Recuperação de água e produto do piso da fábrica de açúcar	Ecoinovação tecnológica de processo	Fazer sistema de canetas e pisos novos, instalar tanque e bomba de recuperação como no layout.
Água de resfriamento de óleo e mancais do setor da caldeira	Ecoinovação tecnológica de produto e processo	Como a água é de boa qualidade, esta deve ter uso mais nobre, como reposição de torres de resfriamento, no caso a da turbina de condensação que está próxima, portanto um sistema de captação deve ser montado
Vazamentos	Ecoinovação tecnológica de gestão	Elaborar um programa de manutenção e programas de conscientização para eliminar prontamente quaisquer vazamentos, pois o volume observado era significativo.
Água residuais da destilaria	Ecoinovação tecnológica de produto e processo	Na destilaria a única água residuária é flegmaça, que assim como o condensado do Ecovin tem acidez fixa, fazendo com que o mesmo seja corrosivo. Dessa forma o flegmaça deve ser enviado a lavoura junto com a vinhaça.

Fonte: Elaborado pelos autores.

4.2.1 Considerações Adicionais

Para a melhoria da implantação do Programa de Águas Residuais Zero, são necessárias várias ações, implantações e adaptações são necessárias, sendo que além do que já foi proposto, é sugerido:

- 1) Instalação de novas bombas no Tanque 2 de Água Bruta;
- 2) Adaptação de tanque existente para utilização como Tanque 2 de Água Bruta;
- 3) A atual rede de água bruta deve ter válvulas, separando a rede de modo a não permitir que água de reúso seja direcionada ao tratamento de água;
- 4) O Tanque 2 de Água Bruta será o responsável por alimentar a rede de água bruta com a instalação de novas bombas;
- 5) Adaptar decantador de caldo existente para operação no tratamento de águas residuais;
- 6) Substituição e realocação das tubulações de águas residuárias que serão destinadas ao decantador;
- 7) Instalar bomba para captar água de descarte das torres de resfriamento dos geradores Turbo Gerador 1, Turbo Gerador 2 e Turbo Gerador 3 e recalcar ao decantador.

4.3 Resultados Previstos

Após elaboração dos balanços de massa, energia e hídrico, e realização da segunda visita *in loco*, constatou-se os resultados na Tabela 2.

Tabela 2: Captação de água e águas residuais após da implantação do projeto

	Situação 1	Situação 2	Situação 3
Captação (m ³ /h)	13	15,25	16
Captação (m ³ /TC)	407	478	483
Águas residuárias (m ³ /h)	0,61	0,76	0,77
Águas residuárias (m ³ /h)	0	0	0

Fonte: Elaborado pelos autores.

Pode-se observar com a implantação do programa de águas residuais zero, teve um reaproveitamento das águas do processo, com uma redução de até 150 m³/h ou 28% na captação que fica com 379 m³/h (0,61 m³ TC) referente ao ART 13% cana, que foi o cenário proposto com maior produção de açúcar. É importante lembrar que quanto mais açucareiro estiver o processo menor será a captação.

Assim como, na situação 2 houve uma redução de 17% da captação de água bruta no processo. Em relação a geração de águas residuais houve uma redução de 107 m³/h para 0 m³/h. Já na situação 3 houve uma redução de 0,93 m³/TC para 0,77 m³/TC. Em relação a geração de águas residuais houve uma redução de 109 m³/h para 0 m³/h.

A proposta do programa de águas residuais zero conseguiu atender as expectativas, pois em todas as situações que a cana foi processada, houve redução na captação de água e não houve geração de águas residuais.

Quanto à eficiência operacional e redução de custos, a empresa almeja com a implantação a redução em gastos com recursos hídricos de 20%, equivalente com o que deixou de captar no meio ambiente. O que representaria uma economia de aproximadamente 7,4 milhões de reais ao ano, referente aos gastos com a captação de água bruta, bem como os custos para tratamento destas para entrada no ciclo produtivo e tratamento pós-consumo pela indústria. Ratificando a viabilidade do projeto de águas residuais zero, sem contar na redução de gastos com insumos agrícolas do processo produtivo da cana-de-açúcar, pelo aumento da utilização da vinhaça para fertilização irrigada.

Apesar do estudo detalhado e abrangente, foram identificados grandes processos consumidores de água em que não foi possível melhorar a eficiência da captação de água devido às condições e localização das instalações, como consta na Tabela 3.

Tabela 3: Processos não mensurados para captação de água

Processo	m ³ /h
Torre de resfriamento do TG 3	171
Torre de resfriamento da fábrica	82
Torre de resfriamento da destilaria	109
Torre de resfriamento do TG 1 / TG 1	14
Lavador de gás	54
Tratamento de Fermento	47
Total	477 m³/h ou 0,76 m³/TC

Fonte: Elaborado pelos autores.

Mesmo com os resultados demonstrados na Tabela 3, os processos que não foram possíveis a melhoria da eficiência na economia de captação de água, apresenta menor consumo de água que a situação 3 após a implementação do projeto. Todavia, com a adoção

de novas alternativas para esses processos e com a melhoria contínua ambiental, a empresa deverá melhorar esse resultado.

Com a elaboração do Programa de Águas Residuais Zero, a indústria teve que realizar os investimentos conforme Tabela 4 para a implantação do programa:

Tabela 4: Investimentos no Projeto Águas Residuais Zero

Equipamento	Previsão de Investimento (R\$)
Decantador de 100 m ³	250.000,00
Tanque de 10 m ³	30.000,00
Material de interligação	200.000,00
Civil, elétrica e instrumentação	150.000,00
Montagem mecânica	250.000,00
Projetos e licenças	150.000,00
Contingências	150.000,00
Total	1.180.000,00

Fonte: Elaborado pelos autores.

5. CONTRIBUIÇÃO TECNOLÓGICA SOCIAL

A água é um insumo essencial para as operações no setor industrial e uma variável importante na busca pelo aumento da eficiência das empresas. Este ganho é muito importante porque a maior parte da água é retirada pela indústria da cana-de-açúcar é realizada em fluxos de primeira ordem e em pequenos rios, e estes já estão sob intensa pressão devido a fortes cargas de esgoto doméstico não tratados, além do aumento de fontes difusas de poluição na agricultura (MARTINELLI et al., 2013). Consoante a esse cenário a indústria estudada está investindo emecoinovação, por meio do projeto de redução das águas residuais, na qual apresentou benefícios em três aspectos:

a) Benefícios ambientais: redução do impacto ambiental causado pelo lançamento de efluentes industriais em cursos d'água, aumento da disponibilidade de água para processos industriais com usos mais exigentes, reduzindo conseqüentemente a captação de água possibilitando uma situação ecológica mais equilibrada.

b) Benefícios econômicos: otimização do uso da água garantindo melhor desempenho dos processos envolvidos, apresenta uma redução nos custos de produção, aumento da competitividade, conformidade em relação à legislação ambiental o que favorece a inserção dos produtos em mercados internacionais e redução nos fatores de cobrança pelo uso da água.

c) Benefícios sociais: pelo fato do grande consumo de água na indústria, esse reaproveitamento aumenta a disponibilidade de água na região em que se encontra a indústria, redução do impacto ambiental na região que está instalada, reduzindo riscos ecológicos e na saúde, bem como a ampliação de negócios para empresas fornecedoras de serviços e equipamentos, melhora da imagem da indústria junto à sociedade.

Nesse sentido, o objetivo do trabalho foi atendido na medida em que a proposta deecoinovações implantada pela usina trouxe benefícios. Foi possível evidenciar melhorias nos processos de produção, no sistema de gestão (que foi necessário para controle e monitoramento do programa) e também em alguns equipamentos e instalações. Pretende-se aperfeiçoar cada vez mais esse projeto, buscando expandir aecoinovação em outros processos organizacionais da empresa. Com esse estudo buscou-se avançar as discussões deecoinovação em usina sucroenergéticas, visto que é um setor representativo para economia brasileira.

O estudo contribui com a academia, pois mostra que é possível a ecoeficiência nos processos sucroenergéticos, diminuindo a utilização da água, que é um recurso natural

escasso. Além disso, conforme a Figura 1, o estudo buscou relacionar o sistema operacional da usina, com a ecoinovação, na qual pode verificar que com o projeto implantado, é possível desenvolver processos com ecoeficiência, P+L, controle da poluição e resíduos no meio ambiente, bem como a busca da sinergia industrial com reaproveitamento da água e a menor captação de água no meio ambiente.

Dentre as mudanças, o processo mais significativo para redução das águas residuais foi a mudança do processo da lavagem da cana-de-açúcar, consistindo em um dos processos que mais consumidores de recursos hídricos, bem como gerador de maior efluente.

Não obstante, seriam necessárias alterações nesse processo supracitado para eliminação total do uso da água. Atualmente algumas usinas vêm adotando de tecnologias como a limpeza da cana a seco ou adequação do processo de extração do caldo de cana sem que esta seja lavada, para assim otimizar a quantidade de gastos com água, obtendo ganhos econômicos e ambientais (RODRIGUES; GARCEZ, 2015).

Evidencia-se que a ecoinovação é uma alternativa para a solidificação da sustentabilidade dentro das organizações, pois ela busca inovação os processos, produtos e gerenciais. Além disso, contribui significativamente para a eficiência operacional e redução dos custos de produção, assim como melhoria da imagem da empresa perante seus *stakeholders*.

Como sugestões para trabalhos futuros, pretende-se analisar do desempenho ambiental gerado pelas águas residuais no processo produtivo e, além disso, mensurar a capacidade de criação de valor econômico das ecoinovações frente o investimento realizado.

REFERÊNCIAS

BARBIERI, J. C.; VASCONCELOS, I. F. G.D.; ANDREASSI, T.; VASCONCELOS, F. C.D. Inovação e sustentabilidade: novos modelos e proposições. **Revista de Administração de Empresas**, v. 50, n. 2, 146-154, 2010.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 1991.

BIANCOLINO, C. A.; KNISS, C.T.; MACCARI, E. A.; RABEQUINI Jr, R. Protocolo para elaboração de relatos de produção técnica. **Revista de Gestão e Projetos-GeP**, v. 3, n. 2, p. 294-307, 2012.

Centro Nacional de Tecnologias Limpas (CNTL). **Implementação de Programas de Produção Mais Limpa**. Porto Alegre: Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI-RS UNIDO/INEP, 2003. Disponível em: <http://srvprod.sistemafiergs.org.br/portal/page/portal/sfiergs_senai_uos/senairs_uo697/proximos_cursos/implementa%E7%E3o%20PmaisL.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2016.

CETESB. **A Produção Mais Limpa no Setor Sucroalcooleiro**: Informações Gerais. Novembro/2002. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Adubacao_organica_producao_mais_limpa/D-37HFh1RpEg.pdf>. Acesso: 03 maio, 2016.

COOPER, D. R.; SCHINDLER, P. S. **Métodos de pesquisa em administração**. 10. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

HORBACH, J.; RAMMER, C.; RENNINGS, K. Determinants of eco-innovations by type of environmental impact — The role of regulatory push/pull, technology push and market pull.

Ecological Economics. v. 78, p. 112–122, 2012. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2012.04.005.

INGARAMO, A.; HELUANE, H.; COLOMBO, M.; CESCO, M. Water and wastewater eco-efficiency indicators for the sugar cane industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, n. 4, p.487–495, 2009. DOI: 10.1016/j.jclepro.2008.08.018.

JACOMOSSI, R.; DEMAJOROVIC, J.; BERNARDES, R.; SANTIAGO, A. L. Fatores determinantes daecoinovação: um estudo de caso a partir de uma indústria gráfica brasileira. **Gestão & Regionalidade**, v. 32, n. 94, p. 101-117, 2016. DOI: 10.13037/gr.vol32n94.3134.

KEMP, R; PEARSON, P. **Final report MEI project about measuring eco innovation**. 2007. 120f. Relatório de Pesquisa. DG Research, European Commission. Brussels: EIO, 2007. Disponível em: <<https://www.oecd.org/env/consumption-innovation/43960830.pdf>>. Acesso em 20 abr. 2016.

MARTINELLI, L. A.; FILOSO, S.; ARANHA, C. B.; FERRAZ, S. F. B.; ANDRADADE, T.M.B.; RAVAGNANI, E. C.; COLETTA, D. L.; CAMARGO, P. B. Water Use in Sugar and Ethanol Industry in the State of São Paulo (Southeast Brazil). **Journal of Sustainable Bioenergy Systems**, v. 3, 135-142, 2013. DOI: 10.4236/jsbs.2013.32019.

MINERVINO, L. M. P.; ASSUNÇÃO, F.N. A. O uso sustentável da água na Bacia do Rio Paracatu: Considerações sobre a agricultura irrigada. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO CENTRO-OESTE, 3, 2004, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Acquacon, 2004, p. 1-12.

NEVES, M. F.; TROMBIN, V. G.; CONSOLI, M. A. Mapping and Quantification of Sugar Cane Chain in Brazil. **International Food and Agribusiness Management Review**. v.13, 3. ed, 2010, p. 37-54.

NEVES, M.F.; TROMBIN, V.G. (Coord.) **A dimensão do Setor Sucroenergético**. Mapeamento e Quantificação da Safra 2013/2014. Ribeirão Preto: Markestrat, Fundace, FEA–RP/USP, 2014. Disponível em: <http://www.brasilagro.com.br/imagens/pdf/Mapeamento_Quantificacao_Setor_Sucroenergetico_Safra_2013-14.pdf> Acesso em: 10 jul. 2015.

REBELATO, M. G.; MADALENO, L. L.; RODRIGUES, A. M. Avaliação do desempenho ambiental dos processos industriais de usinas sucroenergéticas: um estudo na bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu. **Revista de Administração da UNIMEP**, v. 12, n. 3. p. 122-151, 2014.

RENNINGS, K. Redefining innovation: eco-innovation research and the contribution from ecologicaleconomics. **Ecological Economics**, v. 32, p. 319-332, 2000. DOI: 10.1016/S0921-8009(99)00112-3.

RODRIGUES, N.; GARCEZ, B. Estudo mostra como usinas de cana podem reduzir consumo de água. **Embrapa Informática Agropecuária**. 2015. Disponível em:<<https://www.embrapa.br/informatica-agropecuaria/busca-de-noticias/-/noticia/2482285/estudo-mostra-como-usinas-de-cana-podem-reduzir-consumo-de-agua>>. Acesso 13 jul. 2016.

ROSCOE, S.; COUSINS, P. D.; LAMMING, R. C. Developing eco-innovations: a three-stage typology of supply networks. **Journal of Cleaner Production**. v. 112, n. 3, p. 1948–1959, 2016. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.06.125.

SAHU, O. P.; CHAUDHARI, P. K. The Characteristics, Effects, and Treatment of Wastewater in Sugarcane Industry. **Water Quality, Exposure and Health**, v. 7, p. 435–444, 2015. DOI: 10.1007/s12403-015-0158-6.

SANTOS, D. F. L.; BASSO, L. F. C.; KIMURA, H.; SOBREIRO, V. A. Eco-Innovation in the Brazilian Sugar-Ethanol Industry: a case study. **Brazilian Journal of Science and Technology**, v. 2, n.1, p. 1-15, 2015. DOI 10.1186/s40552-014-0006-4.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

WILSON, J. P. The triple bottom line: Undertaking an economic, social, and environmental retail sustainability strategy. **International Journal of Retail & Distribution Management**, v. 43. p. 432 – 447, 2015. DOI: 10.1108/IJRDM-11-2013-0210.