

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

WESLEI BRITO BARROQUELA

**USO DA ÁGUA NA INDÚSTRIA SUCROENERGÉTICA: ESTUDO DE CASO NO
NOROESTE PAULISTA**

Ilha Solteira
2022

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

WESLEI BRITO BARROQUELA

**USO DA ÁGUA NA INDÚSTRIA SUCROENERGÉTICA: ESTUDO DE CASO NO
NOROESTE PAULISTA**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de concentração: Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais.

Orientador

Prof. Dr. Jefferson Nascimento de Oliveira

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

B277u Barroquela, Weslei Brito.
Uso da água na indústria sucroenergética: estudo de caso no noroeste paulista / Weslei Brito Barroquela. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2022
87 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, 2022

Orientador: Jefferson Nascimento de Oliveira
Inclui bibliografia

1. Consumo de água. 2. Setor sucroenergético. 3. Tecnologias industriais.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Uso da Água na Indústria Sucroenergética: Estudo de Caso no Noroeste Paulista

AUTOR: WESLEI BRITO BARROQUELA

ORIENTADOR: JEFFERSON NASCIMENTO DE OLIVEIRA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em ENGENHARIA CIVIL, área: Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. JEFFERSON NASCIMENTO DE OLIVEIRA (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Profª. Drª. LILIANE LAZZARI ALBERTIN (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Prof. Dr. CRISTIANO POLETO (Participação Virtual)
Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH / UFRGS

Ilha Solteira, 05 de agosto de 2022

DEDICATÓRIA

Ao meu filho Davi que me dá forças e me faz lutar todos os dias.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar a vida e por sempre estar ao meu lado.

Ao Professor Jefferson Nascimento de Oliveira, ao qual serei eternamente grato pelo aceite da minha orientação. Agradeço, também, todo o conhecimento recebido, que me possibilitou crescer pessoalmente e profissionalmente, e por ter acreditado em mim e ter me incentivado para chegar até o fim.

À minha família que me incentivou, em especial à minha esposa Isabela, que foi paciente nos momentos de afastamento para a conclusão do presente trabalho, e ao meu filho Davi, que foi por ele que cheguei até o final.

Ao apoio do meu grande amigo Marcio Souza da Silva, muito obrigado pelas explicações e pela paciência.

Aos professores e amigos do Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais pelo tempo que ficamos juntos, pelos conhecimentos trocados e pela evolução que tivemos juntos.

À empresa Vale do Paraná S/A e aos colaboradores da área industrial pela abertura e todo conhecimento transmitido no momento de realização da pesquisa.

“O insucesso é uma oportunidade para recomeçar com mais inteligência” – Henry Ford

RESUMO

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar em escala mundial e possui grandes áreas de terras e clima favorável para o desenvolvimento da cultura. A matéria prima (cana-de-açúcar) utilizada no processo produtivo industrial gera etanol anidro e hidratado, açúcar e energia elétrica, importantes para a economia nacional. Com a elevada produtividade do setor sucroenergético brasileiro, é notável a importância da gestão dos recursos naturais em sua cadeia de produção, principalmente relacionada ao uso dos recursos hídricos, que deve ser tratado pelas companhias de forma racional e eficiente. Nesse contexto, o presente trabalho buscou identificar, na última década, o consumo de água na empresa Vale do Paraná S/A Álcool e Açúcar, localizada no noroeste paulista, além de elucidar as tecnologias implantadas na área industrial que contribuíram para a redução do consumo. A metodologia adotada consistiu no levantamento de dados e informações de pesquisas bibliográficas e visitas de campo, na realização de entrevistas com os supervisores da empresa e na utilização de informações de boletins técnicos. A planta industrial em estudo apresentou uma redução de 34,88% no consumo de água nos últimos 10 anos (2012: 0,86 m³ de água por tonelada de cana-de-açúcar; 2021: 0,56 m³ de água por tonelada de cana-de-açúcar). Ressalta-se que os dados registrados para o ano 2017 não apresentaram número confiável, pois o sistema estava em fase de teste. As principais tecnologias que contribuíram para tal redução foram: limpeza de cana-de-açúcar a seco, utilização de circuitos fechados, recuperação de condensados, reuso da água e implantação do sistema de medição de água.

Palavras-chave: consumo de água; setor sucroenergético; tecnologias industriais.

ABSTRACT

Brazil is the largest producer of sugarcane on a world scale and has large areas of land and a favorable climate for the development of the crop. The raw material (sugarcane) used in the industrial production process generates anhydrous and hydrated ethanol, sugar and electricity, which are important for the national economy. With the high productivity of the Brazilian sugar-energy sector, the importance of managing natural resources in its production chain is remarkable, mainly related to the use of water resources, which must be treated by companies in a rational and efficient way. In this context, the present work sought to identify, in the last decade, the consumption of water in the company Vale do Paraná S/A Álcool e Açúcar, located in the northwest of São Paulo, in addition to elucidating the technologies implemented in the industrial area that contributed to the reduction of consumption. The adopted methodology consisted of collecting data and information from bibliographic research and field visits, conducting interviews with the company's supervisors and using information from technical bulletins. The industrial plant under study showed a 34.88% reduction in water consumption in the last 10 years (2012: 0.86 m³ of water per ton of sugarcane; 2021: 0.56 m³ of water per ton of sugar cane). It is noteworthy that the data recorded for the year 2017 did not present a reliable number, as the system was in the test phase. The main technologies that contributed to this reduction were dry cleaning of sugarcane, use of closed circuits, recovery of condensate, reuse of water and implementation of a water metering system.

Keywords: water consumption; sugar-energy sector; industrial technologies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Número de usinas sucroenergéticas em operação no Brasil	17
Figura 2	- Quantidade de cana-de-açúcar processada nas indústrias sucroenergéticas nas safras de 2010/2011 a 2019/2020 no Brasil	18
Figura 3	- Evolução da colheita mecanizada no Estado de São Paulo	20
Figura 4	- Milhares de toneladas de cana colhidos entre 1961 e 2014 para os quatros maiores produtores do mundo	23
Figura 5	- Fluxograma de produção de etanol e açúcar	25
Figura 6	- Esquema simplificado do fluxo de massa e energia do processo industrial	26
Figura 7	- Localização da UGRHI 18	27
Figura 8	- Divisão das Sub-Bacias da UGRHI 18	28
Figura 9	- Mapa zoneamento agroambiental do setor sucroalcooleiro e limites de metros cúbicos de água a ser captada por tonelada de cana processada nas indústrias sucroenergéticas localizadas no Estado de São Paulo	29
Figura 10	- Esquema de circuitos abertos em usinas antigas	33
Figura 11	- Consumo de água por tonelada de cana no processo industrial das usinas signatárias do Protocolo Agroambiental Paulista nas safras 2009/10 a 2016/17	35
Figura 12	- Localização Vale do Paraná S/A Álcool e Açúcar no mapa do Estado de São Paulo	39
Figura 13	- Localização do ponto de captação de água da unidade sucroenergética localizada no Rio Paraná, e trajeto da tubulação e condução da água até o armazenamento no tanque localizado no parque industrial	41
Figura 14	- Pontos de captação de águas subterrâneas localizadas dentro do parque industrial da companhia	43
Figura 15	- Mapa do zoneamento agroambiental do Estado de São Paulo e localização do parque industrial da Vale do Paraná S/A	46
Figura 16	- Fluxograma do caminho e distribuição da água utilizada no processo industrial e de consumo humano do empreendimento ..	47
Figura 17	- Sistema de acionamento digital de bombas para os sistemas de abastecimento de água no processo industrial	49
Figura 18	- Balanço hídrico Vale do Paraná S/A Álcool e Açúcar	51
Figura 19	- Balanço hídrico- porcentagem do uso da água por setor no processo industrial	54
Figura 20	- Lavagem de cana para processamento em usinas sucroenergéticas	55
Figura 21	- Esquema de limpeza de cana à seco em usinas sucroenergéticas	55
Figura 22	- Projeto de limpeza de cana a seco na Vale do Paraná	57
Figura 23	- Carregamento de impurezas minerais oriundas do sistema de limpeza à seco da Vale do Paraná	58
Figura 24	- Esquema de circuitos fechados na Vale do Paraná	59
Figura 25	- Torres de resfriamento de água para destilaria da Vale do Paraná S/A	59

Figura 26	- Esquema lavador de gases de caldeira com circuito fechado na Vale do Paraná	60
Figura 27	- Esquema de lavador de gases em circuito fechado	61
Figura 28	- Antigas caixas de decantação da água de lavagem de cana, atualmente utilizadas para decantação dos efluentes do sistema de lavagem de gases da caldeira	61
Figura 29	- Circuitos fechados que mais recirculam água no processo industrial na Vale do Paraná	62
Figura 30	- Porcentagem de efluentes gerados no processo industrial	63
Figura 31	- Medidor automático de vazão instalado na saída da coluna de destilação	64
Figura 32	- Torres de resfriamento de vinhaça	64
Figura 33	- Tanque reservatório de vinhaça dentro do parque industrial	65
Figura 34	- Reservatório impermeabilizado na área agrícola com descarregamento de vinhaça transportado de caminhão	66
Figura 35	- Aplicação de vinhaça na cultura de cana-de-açúcar com sistema de irrigação autopropelido na Fazenda Brasil no município de Suzanópolis SP	66
Figura 36	- Localização dos pontos de monitoramento das águas superficiais e destaque em vermelho da localização da planta industrial	68
Figura 37	- Localização destacada em vermelho das fazendas que ocorrem monitoramento de pontos de amostragem de águas subterrâneas para verificar possíveis contaminações pela aplicação de vinhaça em solo agrícola	71
Figura 38	- Resultado do consumo de água em metros cúbicos por tonelada de cana processada na última década	75
Figura 39	- Cronologia das tecnologias implantadas na Vale do Paraná S/A Álcool e Açúcar entre as safras de 2008/2009 e 2021/2022, assim como o consumo de água em m ³ por tonelada de cana-de-açúcar e a(s) fonte(s) de captação	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Proporção de L de vinhaça produzida em relação ao volume de 1 L de etanol	22
Tabela 2	- Uso médio de água no processamento de uma tonelada de cana-de-açúcar	34
Tabela 3	- Resumo dos efluentes do processo industrial e características químicas	37
Tabela 4	- Dados da outorga de captação superficial da unidade sucroenergética em estudo	42
Tabela 5	- Outorgas subterrâneas na unidade.....	43
Tabela 6	- Resumo do balanço hídrico da Vale do Paraná S/A	53
Tabela 7	- Circuitos fechados de recirculação de água na indústria de acordo com o balanço hídrico da unidade	62
Tabela 8	- Vazão e destino dos efluentes produzidos na planta industrial	63
Tabela 9	- Coordenadas dos pontos de água superficial amostrados	67
Tabela 10	- Coordenadas dos Poços de Monitoramento da Fazenda Bonito ..	69
Tabela 11	- Coordenadas dos Poços de Monitoramento da Fazenda Vitória ..	69
Tabela 12	- Pagamento pelo uso dos recursos hídricos na unidade nos anos de 2021, 2022 e 2023	74

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivo geral	15
2.2	Objetivos específicos	15
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1	Setor sucroenergético brasileiro	16
3.2	Cana-de-açúcar	19
3.3	Produção industrial da cana-de-açúcar	23
3.4	Bacia hidrográfica do São José dos Dourados	26
3.5	Uso da água na indústria sucroenergética	28
3.6	Efluentes industriais	36
4	MATERIAL E MÉTODOS	39
4.1.	Caracterização da área de estudo	39
4.1.1	Captação de água superficial	40
4.1.2	Captação de água subterrânea	42
4.1.3	Limites para captação de água para unidade industrial	44
4.1.4	Medição e distribuição da água no processo industrial	47
4.2	Obtenção e pesquisa de dados	50
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
5.1	Balanço hídrico	50
5.2	Limpeza de cana	54
5.3	Resfriamento e circuitos de água	58
5.4	Efluentes industriais	62
5.5	Monitoramento da qualidade das águas superficiais no entorno da usina	67
5.6	Monitoramento da qualidade das águas subterrâneas no entorno da usina	68
5.7	Reflexos sustentáveis da redução do uso de água na indústria	72
5.8	Consumo hídrico na unidade estudada	75
6	CONCLUSÃO	78
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79

1 INTRODUÇÃO

A atividade canavieira está presente no Brasil desde a sua formação histórica. No início de sua colonização, o açúcar foi fator importante para a ocupação do território. Os colonizadores portugueses atraíram povoadores para a zona costeira brasileira para a produção de tal produto, visando a sua exportação para o continente Europeu. Os engenhos canavieiros eram instalados em regiões com disponibilidade de água doce para otimizar os processos agrícolas e industriais (por exemplo, nas margens de rios, córregos e riachos). Os portugueses também utilizavam a água na geração de energia para movimentar as engrenagens das moendas para extração do caldo de cana-de-açúcar (PEREIRA, 2009).

Apesar de sua importância para o desenvolvimento econômico do país, como no crescimento regional e na geração de rendas por meio de empregos e melhores condições de trabalhos, historicamente a agroindústria sucroenergética sempre teve a sua imagem ligada a danos ambientais. Além disso, as suas atividades eram, nas últimas décadas, consideradas, por alguns outros empreendimentos, ambientalmente e socialmente insustentáveis. No passado, os recursos hídricos eram utilizados com abundância pelo setor e a disposição final dos efluentes gerados eram realizadas sem o devido controle. Na década de 1990, a agroindústria sucroenergética começou a se preocupar com a sustentabilidade de seus processos produtivos em meio ao mercado competitivo que surgia, mudando, estrategicamente, a sua produção para um modelo mais organizado. Atualmente, os principais sinais positivos apontados pelo mercado sucroenergético são: a gestão de seus processos, a incorporação tecnológica em larga escala e as estratégias de preservação ambiental (PIACENTE, 2005). Ademais, entende-se que o cenário insustentável de uso da água mudou em razão da implementação de outorgas e cobrança pelo uso da água. A visão de desenvolvimento sustentável e a cobrança social e política vêm forçando as indústrias a buscarem o desenvolvimento de seus processos (SANTOS, 2009).

Espacialmente, as usinas sucroenergéticas estão uniformemente distribuídas nos interiores da maioria dos estados brasileiros. Essa distribuição traz impactos econômicos e sociais positivos quando comparada, por exemplo, com a produção de petróleo, na qual a localização das indústrias petrolíferas leva ao desenvolvimento econômico e social centralizado, uma vez que se limita a cidades das regiões costeiras. Outro fator importante sobre as usinas sucroenergéticas é a modernização

das áreas agrícolas com a colheita da cana-de-açúcar em forma verde, eliminando do campo as queimadas e condições insalubres de trabalhos (MORAES; OLIVEIRA; CHAVEZ, 2015).

Com a grande disponibilidade do setor na produção de biocombustíveis, há uma preocupação mundial com a expansão da cultura da cana-de-açúcar, visto que a falta de gestão no processo pode levar a degradação dos recursos naturais. Para que a produção da cana-de-açúcar se torne sustentável, o setor precisa aprimorar em sua cadeia produtiva as técnicas de conservação do uso do solo, a eliminação de queimadas, a segurança alimentar e a redução do consumo hídrico (BORDONAL et al., 2018). A água utilizada no processo industrial deve ser usada de forma racional e eficiente, pois a falta de gestão pode levar à contaminação do solo e do próprio recurso. Para tanto, é necessário que as empresas adotem técnicas de otimização quanto ao seu uso (FREITAS; FREITAS; SILVA, 2019).

Atualmente, o setor sucroenergético brasileiro é considerado o mais moderno e competitivo do mundo. O país é um dos grandes produtores mundiais de açúcar e etanol (GOES; MARRA; SILVA, 2008), ocupando o primeiro lugar na produção de cana-de-açúcar em razão da extensa área disponível para o cultivo da cultura e clima favorável para o seu desenvolvimento. No Brasil, aproximadamente 7,8 milhões de hectares são ocupados pelo plantio de cana-de-açúcar, o que representa 0,9% do território nacional. No mais, a cana-de-açúcar é considerada uma fonte limpa e renovável de energia quando comparada com os combustíveis fósseis. Essa característica eleva a venda dos produtos derivados da cultura no mercado internacional (SILVA; MORAES; MOLIN, 2011).

Apesar do Brasil possuir grande disponibilidade hídrica, tanto de águas superficiais quanto de águas subterrâneas, os gestores industriais devem buscar índices cada vez mais restritivos (isto é, com o intuito de preservar os recursos hídricos e provocar o menor impacto ambiental negativo possível decorrente do processo industrial), adequando a produção agroindustrial com técnicas cada vez mais eficientes (RODRIGUEZ, 2010). Segundo a Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP) (FIESP, 2009), por décadas as usinas utilizaram circuitos abertos para o resfriamento das caldeiras. Em tal sistema, a água é captada nos mananciais, utilizada no resfriamento e descartada em cursos de água (poluição térmica). Outro fator relevante relacionado ao elevado consumo de água em tais indústrias trata-se da técnica de lavagem da cana-de-açúcar destinada à retirada de resíduos sólidos

carreados durante a operação de corte da cana-de-açúcar (GONÇALES-FILHO; BARROS; CAMPOS, 2015). No entanto, de acordo com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) (ANA, 2019), o cenário de consumo supracitado tem mudado. Nos últimos 40 anos, o setor sucroenergético brasileiro reduziu o consumo de água no processo industrial em 90-95%. A redução deve-se, sobretudo, ao reuso da água e a modernização das plantas produtoras, resultando na redução de aproximadamente 20 m³ de água por tonelada de cana-de-açúcar processada. Apesar de melhorias como as apresentadas, o setor sucroenergético nacional ainda busca a redução do consumo hídrico e da geração de efluentes. A alternativa comumente empregada pelo setor para obtenção de uma fonte de dados dos processos e planejamento do uso e reuso dos recursos hídricos nas unidades é o balanço hídrico dos circuitos das águas e efluentes do processo industrial (ÚNICA, 2013).

Ademais, a lavagem de cana-de-açúcar das plantas industriais deve ser substituída, quando possível, pela limpeza de cana-de-açúcar a seco, que visa a retirada de impurezas minerais e vegetais com ar para obtenção de um caldo com qualidade para o processo industrial. Além disso, a limpeza a seco proporciona a economia de água, reduz o volume de resíduos sólidos gerado, aumenta a vida útil dos equipamentos, diminui a geração de efluentes, aumenta a capacidade de moagem e gera ganhos econômicos (MARCONDES; BUENO, 2019). Outra tecnologia que se destaca no setor é o circuito fechado. Nele, os efluentes gerados no processo produtivo passam por uma torre de resfriamento para a remoção da carga térmica e voltam para o processo para reuso com baixo índice de perdas (FIESP, 2009).

Entende-se que faltam informações na literatura sobre a evolução dos sistemas de utilização de água na indústria sucroenergética brasileira e, ainda, como a adoção de novas tecnologias contribuíram para a redução do consumo hídrico no processo industrial. Diante desse cenário, a área de estudo pode trazer informações que possivelmente contribuirão para o desenvolvimento e a gestão integrada do uso da água no setor sucroenergético.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral do presente trabalho foi apresentar o consumo de água ao longo do tempo de uma usina sucroenergética do noroeste paulista, assim como identificar as tecnologias implantadas na área industrial que contribuíram para a redução do consumo de água.

2.2 Objetivos específicos

- Quantificar o uso da água nos últimos 10 anos em uma planta industrial sucroenergética do noroeste paulista;
- Caracterizar as tecnologias utilizadas em cada etapa do processo industrial na empresa em estudo, assim como a sua evolução com o passar dos anos.

3 REVISÃO DE LITERATURA

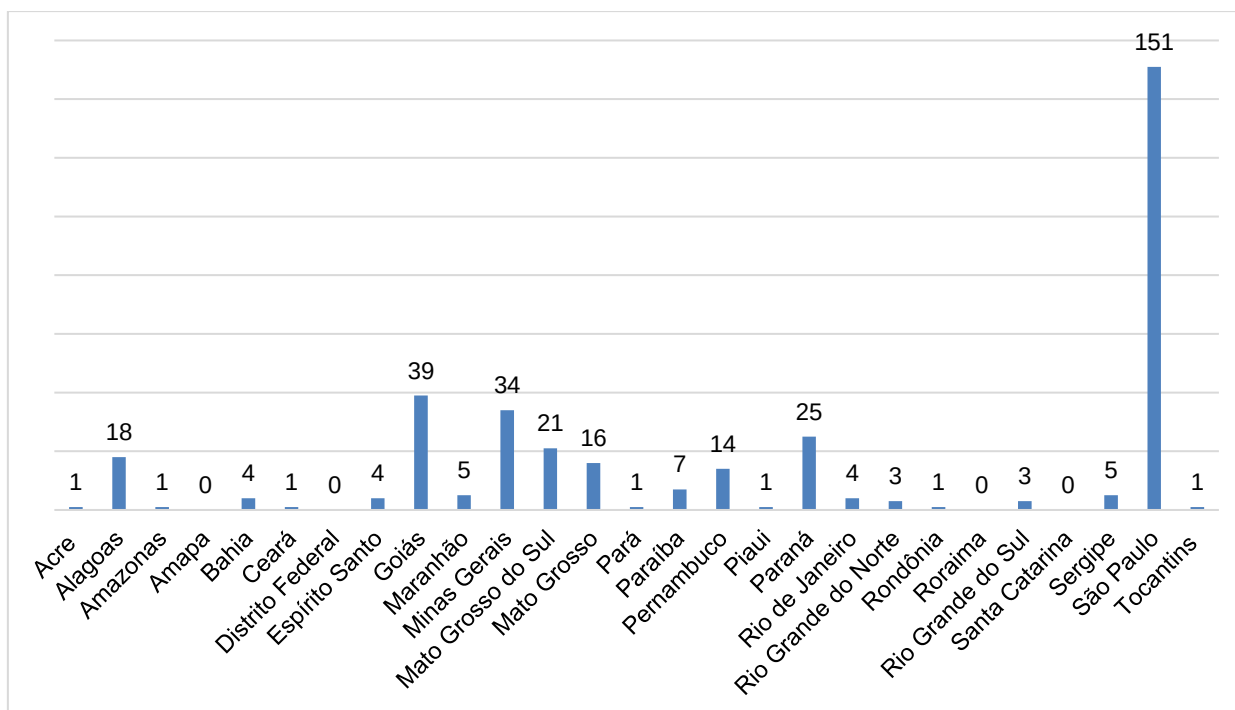
3.1 Setor sucroenergético brasileiro

O setor sucroenergético ganhou maior destaque a partir de sua ampliação na década de 1970, com o Programa Proálcool incentivado pelo governo brasileiro após crise de petróleo entre os anos de 1973 e 1979 (SILVA et al., 2019). O setor se sobressai pela grande escala de produção de açúcar, etanol e energia.

A produção energética de fontes alternativas aos combustíveis fósseis adquiriu maior relevância em razão da pressão do mercado internacional, sobretudo em decorrência das metas de redução das emissões dos gases que causam o efeito estufa. Muitos países estabelecem metas de substituição do uso de combustíveis fósseis pela utilização de biocombustíveis. Por outro lado, há também a preocupação com o uso de grandes extensões de terra para produção e pela geração de desmatamentos de florestas para ocupação com culturas agrícolas (SPAROVEK et al., 2009). Nesse sentido, a cultura da cana-de-açúcar é uma das principais alternativas para suprir a demanda energética de forma sustentável, pois seu cultivo tem alta produtividade quando comparada com outras culturas agrícolas (IBGE, 2019; SABONARO et al., 2017).

A cana-de-açúcar é a terceira maior cultura do país, ocupando mais de 9,5 milhões de hectares de plantio. A sua frente estão apenas as culturas da soja, com aproximadamente 36 milhões de hectares, e do milho, com cerca de 13 milhões de hectares. A produção nacional de cana-de-açúcar foi fortemente estabelecida no Estado de São Paulo por combinar fatores de desenvolvimento econômico, tecnológico e disponibilidade de terras para o plantio da cultura, e também elevado desenvolvimento científico. Esse conjunto de sistemas, ao desenvolvimento da agroindústria, tornou o Estado de São Paulo o maior produtor brasileiro de açúcar e etanol (FURTADO et al., 2011). Segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) (ANP, 2020), no Brasil há 360 unidades sucroenergéticas em operação, destacando-se o estado de São Paulo com 151 unidades instaladas (Figura 1).

Figura 1 - Número de usinas sucroenergéticas em operação no Brasil



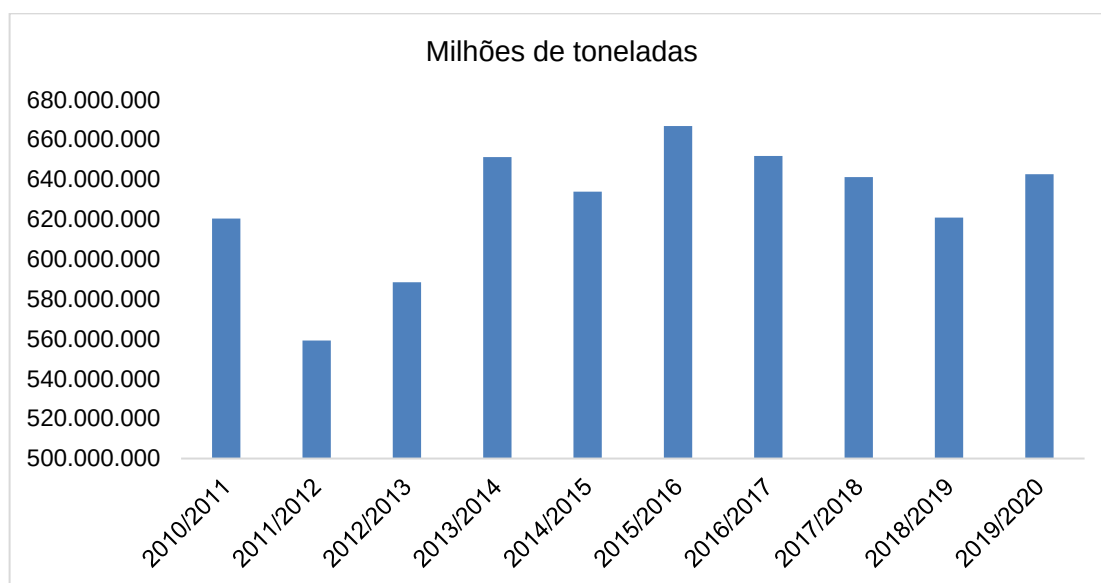
Fonte: ANP (2020).

No Brasil, 70% das indústrias sucroenergéticas são plantas mistas, com processos de produções que geram mais de um produto. Estima-se que 50% do caldo da cana-de-açúcar é inserido no processo industrial para produção de etanol e os outros 50% são utilizados para a produção de açúcar. Outro produto de grande importância econômica e ambiental é a geração de energia elétrica, obtida por meio da queima do bagaço da cana-de-açúcar (CAVALETT et al., 2012). A cogeração de energia obtida com o bagaço é uma fonte de energia renovável com grande rentabilidade. A energia gerada, além de sustentar as plantas industriais, utilizam seus excedentes de produção para comercialização e aumentam a lucratividade do setor (KARP et al., 2021).

Apesar da importância do setor, nos últimos anos, a política governamental e fatores climáticos levaram a um retrocesso na sua cadeia produtiva. Segundo a Associação Brasileira da Indústria da Cana-de-Açúcar, entre 2010 a 2020 não houve um desenvolvimento significativo na quantidade de cana processada no país (Figura 2). Neste período, o setor sucroenergético foi impactado por crises econômicas que interferiram em seu crescimento e fizeram com que o setor não apresentasse significativo desenvolvimento econômico. Em 2008, o setor passou pela crise global, com aumento dos custos de produção e a política de controle de preços realizada pela

Petrobras. Dessa forma, houve perda de capital e essa crise fragilizou as usinas sucroenergéticas. Entre 2009 e 2012, o preço do açúcar estava em alta no mercado internacional e as exportações contribuíram com a redução da produção do etanol, tornando-o menos competitivo. Nos anos de 2013 a 2018, os investimentos na área agrícola foram elevados, em decorrência da liberação de recursos de R\$ 4 bilhões do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) (2013 a 2014) para renovação de canaviais. Contudo, fortes estiagens ocorridas no mesmo período prejudicaram os campos, que tiveram queda na produtividade. Outro fator de destaque foi a volta da cobrança de impostos nos produtos industrializados, que levaram as usinas ao endividamento. Na última década, o setor sucroenergético foi marcado pelas fusões e aquisições de usinas. Muitas empresas foram adquiridas por grupos estrangeiros e grandes grupos nacionais. Outras usinas decretaram falência ou entraram em processo de recuperação judicial (MENDONZA, 2019).

Figura 2 – Quantidade de cana-de-açúcar processada nas indústrias sucroenergéticas nas safras de 2010/2011 a 2019/2020 no Brasil



Fonte: União da Indústria de Cana-de-Açúcar e Bioenergia - UNICA (2020).

No ano de 2019, houve um incentivo para o setor, com a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), instituída pela Lei 13.576/2017. O objetivo da política foi ampliar a participação dos biocombustíveis na matriz energética de transporte brasileira, incentivando o uso de biocombustíveis. A política estabelece a venda de Créditos de descarbonização (CBIOS) no mercado brasileiro, baseada na

sustentabilidade econômica, ambiental e social. A Resolução da Agência Nacional do Petróleo (ANP) nº 758, de 23 de novembro de 2018, regulamentou o processo de certificação das unidades produtoras e o credenciamento de firmas inspetoras. Os produtores de biocombustíveis que aderiram ao programa contrataram para o processo de certificação as firmas inspetoras cadastradas na ANP para a validação da Nota de Eficiência Energético-Ambiental. Quanto ao certificado, os produtores de biocombustíveis podem vender os CBIOs no mercado nacional, nos termos da Resolução ANP nº 802, de 5 de dezembro de 2019.

3.2 Cana-de-açúcar

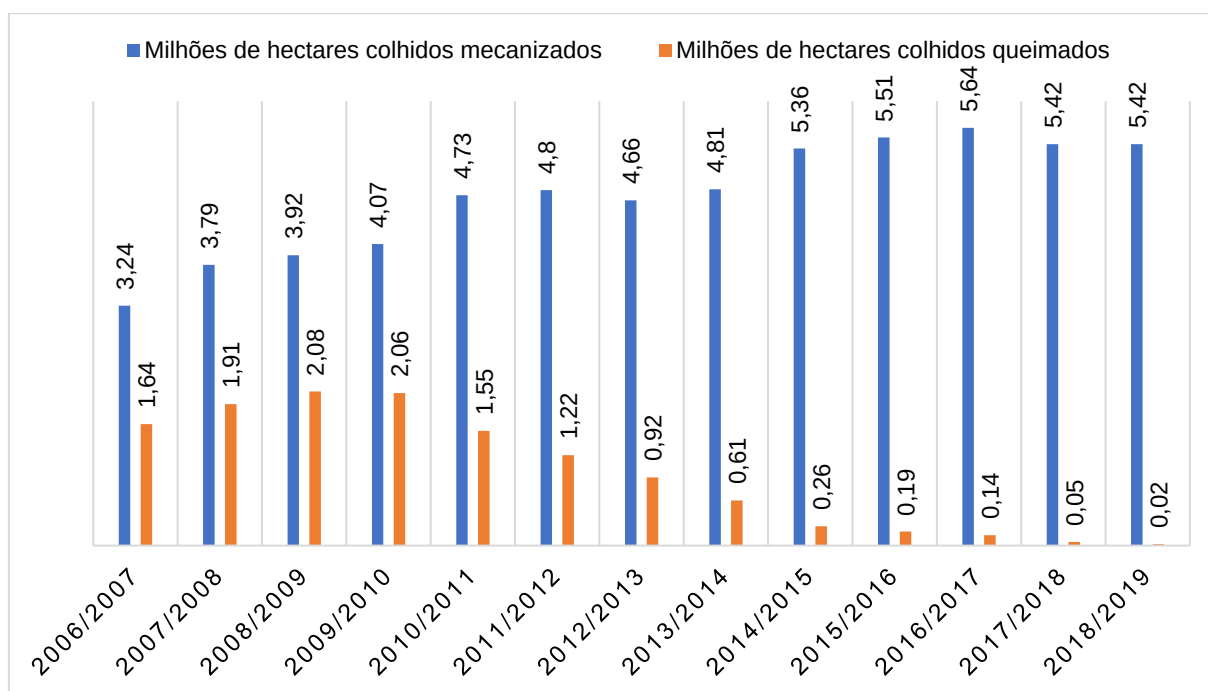
A cultura da cana-de-açúcar se adaptou bem ao clima brasileiro, com estações quentes e úmidas, altas temperaturas e elevada incidência de luz solar, ideais para o desenvolvimento da cultura. Além disso, a estação seca e fria também estimula a maturação da planta. A cultura é relativamente pouco exigente quanto à quantidade de água. Para a conclusão do ciclo da cultura, em 12 meses, é necessário cerca de 1.204 mm de água, que corresponde a uma produtividade média de 100 a 200 toneladas por hectare (DIAS et al., 1999).

O Estado de São Paulo se destaca no ramo, com a predominância da cultura da cana-de-açúcar em todo seu território. Entre os anos de 2000 e 2015, houve um crescimento de 125% da área agrícola, resultando em um acréscimo de 3,1 milhões de hectares cultivados e um aumento de 243,38 milhões de toneladas processadas nas indústrias canavieiras (CALDARELLI et al., 2018).

A utilização de queimadas para facilitar o processo de colheita da cana-de-açúcar era uma prática comum. No ano de 2006, por exemplo, as usinas utilizaram o processo de queimadas em 60% dos campos paulistas, pois a colheita era realizada de forma manual. Esse processo facilitava o corte e o rendimento dos trabalhadores no campo. Outro fator que induzia a permanência das queimadas como prática consolidada era o alto custo dos maquinários para a colheita crua. No Estado de São Paulo esse custo representava entre 30% e 66% da renda bruta do agronegócio canavieiro. As adaptações em campos com alta declividade, adaptação de variedades de cana e o desenvolvimento tecnológico, também eram fatores que dificultavam a colheita mecanizada dos canaviais (BACCARIN, 2019).

Em 2007, a União da Indústria de Cana-de-Açúcar e Bioenergia (ÚNICA) implantou, junto com o Governo do Estado de São Paulo, o Protocolo Agroambiental Etanol Mais Verde. O protocolo previa diversas metas ambientais, tal como a eliminação gradativa das queimadas. No mesmo ano, 90% das usinas realizaram adesão ao programa. As questões relacionadas ao mercado de trabalho, legislação ambiental e legislação trabalhista também impulsionaram o reforço da mecanização canavieira no estado. Várias mudanças ocorreram para a adequação à colheita mecanizada, gerando ganhos econômicos, ambientais e sociais, como se pode observar na Figuras 3 (BACCARIN, 2019).

Figura 3 – Evolução da colheita mecanizada no Estado de São Paulo



Fonte: Adaptado de Protocolo Agroambiental Etanol Mais Verde (2019).

Com a eliminação das queimadas, a mecanização e o tráfego intenso nas lavouras agravam a compactação do solo. Neste processo, ocorrem modificações na estrutura do solo, favorecendo a redução dos poros, o que interfere na infiltração de água necessária para a cultura. Essa mudança leva à queda na produtividade da lavoura. A estratégia de tráfego controlado e reduzido é uma prática de gestão que as usinas devem implementar para minimizar esta problemática, pois preserva a qualidade física do solo. Além disso, o plantio direto também é outra forma de gestão sustentável a ser implantada nos canaviais (SOUZA et al., 2014). O setor canavieiro

deve adotar medidas de conservação na área agrícola como prevenção e conservação do solo e água para a eliminação dos processos erosivos nos campos de cultivo. Com a redução da prática de queimadas durante o processo de colheita, houve uma disposição de cobertura de palha nos solos. A existência desta camada beneficia a cultura com aumento de produtividade, pois evita a perda de água, aumenta a eficiência da adubação, contribui com a ciclagem de nutrientes e diminui a competição com plantas invasoras (CARNEIRO, 2020).

Além das queimas, o uso de adubos nitrogenados (NO_2) para ampliar a produtividade das lavouras de cana-de-açúcar também contribui com a poluição do ar. O uso de fertilizantes deve ser controlado, sobretudo em monoculturas como a da cana-de-açúcar, pois pode causar impactos negativos à qualidade do solo. O plantio de leguminosas no momento da reforma da cultura é a técnica mais empregada para a melhoria da qualidade do solo e aumento da produtividade dos canaviais (TENELLI, 2016).

No processo de produção, as usinas geram grandes volumes de bioresíduos. A vinhaça é um resíduo gerado no processo de produção de etanol. É comumente utilizada na fertirrigação, pois possui alto teor de potássio. O uso da vinhaça como fertilizante gera economias na produção da cana-de-açúcar, pois diminui a quantidade fertilizantes sintéticos. Outro resíduo gerado no processo industrial da cana é a torta de filtro. Esse resíduo é derivado da filtração do caldo da cana-de-açúcar e contém alto teor de matéria orgânica e fósforo oriundo do bagaço e lodo. Ambos os resíduos são incorporados ao solo, pois possuem nutrientes essenciais para as plantas, e apresentam baixo custo quando comparados com os fertilizantes sintéticos, cumprindo a função de melhorar a disponibilidade de nutrientes e o aumentar a produtividade agrícola (CAMPITELLI et al., 2017).

Segundo Vasconcelos e Carpio (2017), para a produção de 1 L de etanol são produzidos de 10 a 15 L de vinhaça (Tabela 1). Esta grande geração de efluentes líquidos tem a tendência de aumentar conforme a expansão das agroindústrias. O lançamento irregular desses resíduos pode trazer graves consequências ao meio ambiente, como eutrofização de corpos de água, contaminação do lençol freático, contaminação da água e do solo. Desta forma, a preocupação com a mitigação desses impactos assume grande relevância, bem como a sua adequação à legislação ambiental, visando também a melhoria da imagem institucional do setor, o que possibilita a abertura de novos mercados consumidores atraentes para as usinas.

Assim, o interesse econômico se funde ao de preservação ambiental, possibilitando a produção de açúcar, álcool e energia de forma sustentável (VASCONCELOS; CARPIO, 2017).

Tabela 1 - Proporção de L de vinhaça produzida em relação ao volume de 1 L de etanol

Proporção Vinhaça/ Etanol	Referências
7 a 10 a	Rocha et al. (2012)
10 a 15 b	Rocha et al. (2012)
10 a 18 b	Rosseto (1987)
10 a 14	Granato (2002) Lamo (1991)
12 a 15	Mutton (2010)
13	Salomon (2007)
12	Van Haandel; Catunday (1994)
12,04 c	Cruz (2013)
(a) para usinas modernas	
(b) para usinas antigas	
(c) média de produção de usinas integrantes do Protocolo Agroambiental de São Paulo	

Fonte: Santos (2020).

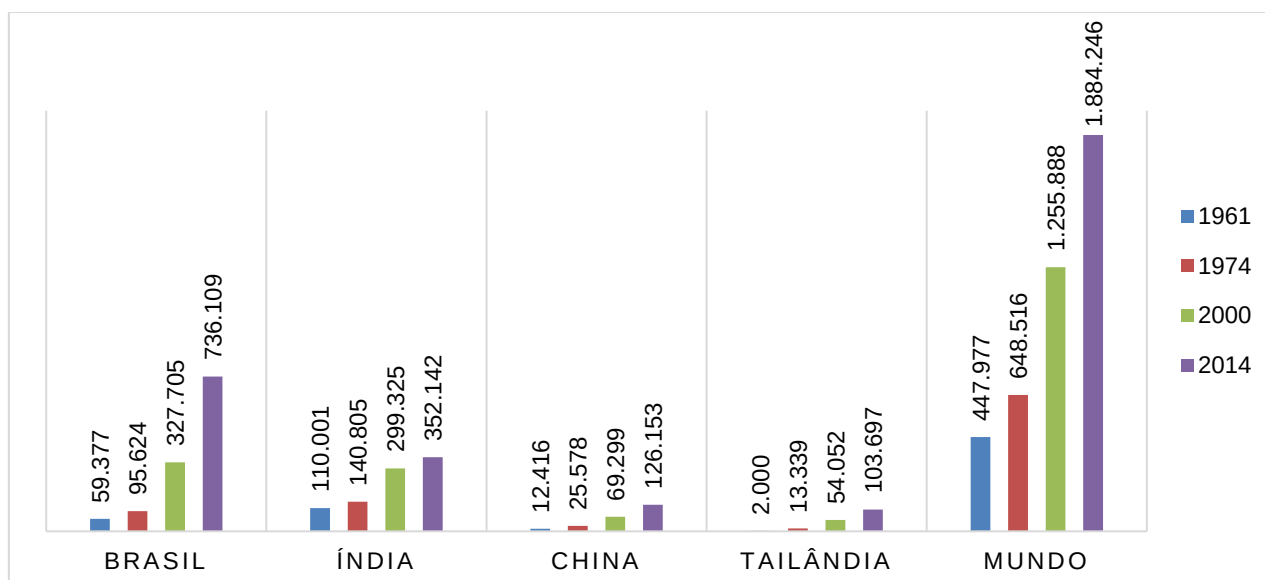
Em decorrência da necessidade de disciplinar o armazenamento, transporte e aplicação dos efluentes e vinhaça no solo no Estado de São Paulo, foi regulamentada a Norma Técnica P4.231, alterada pela Decisão de Diretoria Nº 045/2015/C, de 12 de fevereiro de 2015. Nesta norma são descritos todos os aspectos para aplicação dos efluentes a serem lançados no solo. O plano deve ser apresentado à Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) até o dia 02 de abril de cada ano, para fins de acompanhamento e fiscalização do órgão (CETESB, 2015).

Outro resíduo encontrado em grande quantidade nas plantas produtoras é o bagaço da cana-de-açúcar. O bagaço é gerado após a extração do caldo. Nas plantas de cogeração, este resíduo é transformado em energia elétrica. O sistema de cogeração de energia reduz os impactos ambientais se comparado às usinas hidrelétricas, além de produzir energia com baixo custo na estação seca. Estas vantagens contribuíram para que a biomassa se tornasse a terceira maior fonte geradora de energia elétrica brasileira (VASCONCELOS; CARPIO, 2017).

3.3 Produção Industrial da cana-de-açúcar

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (Figura 4). Sua produção apresenta elevada eficiência devido às inovações do sistema tecnológico desenvolvido e utilizado na produção agroindustrial (FURTADO et al., 2011). A produção brasileira de cana-de-açúcar se destaca pela modernização em seus processos produtivos e por utilizar tecnologias de ponta. O setor se modernizou principalmente a partir da inclusão do etanol como uma das principais fontes de energias renováveis no cenário mundial. A geração de energia também se destaca nas plantas industriais como fator de fortalecimento do setor, como uma das mais importantes fontes de energia elétrica. O aumento de produtividade dos produtos industriais está ligado no destaque do trabalho de melhoramento genético que aceleram os altos índices de produtividade das lavouras brasileiras (GOES; MARRA; SILVA, 2008).

Figura 4- Milhares de toneladas de cana-de-açúcar colhidos entre 1961 e 2014 para os quatro maiores produtores do mundo



Fonte: Adaptado de Matos et al. (2020)

O Brasil possui os custos de produção mais baixos do mundo para a cultura da cana-de-açúcar. Esse fator está ligado ao amplo desenvolvimento tecnológico, fatores climáticos e baixos custos de mão-de-obra. Atualmente, o setor não possui incentivos do governo para o seu desenvolvimento e não há subsídios e incentivos para o seu desenvolvimento, como ocorreu no Programa Proálcool, por exemplo (XAVIER, 2007).

O Etanol produzido da cultura da cana, promove redução de 40 a 62% nos gases de efeito estufa comparado com os combustíveis fósseis. A sua produção é realizada por meio de processos químicos ou microbiológicos, sendo o uso de leveduras para o processo microbiológico de fermentação o método mais utilizado na produção brasileira. No final do processo de destilação do vinho, são gerados grandes volumes de vinhaça rica em potássio, que é utilizada nas lavouras de cana-de-açúcar como fertilizante. Com o alto volume gerado, é necessária uma gestão eficiente na aplicação em áreas de produção, que usualmente segue um plano de aplicação nos solos agrícolas. Esse plano considera fatores de gestão para mitigar o impacto ambiental e aproveitar os resíduos da produção agroindustrial nas lavouras (LOPES et al., 2016).

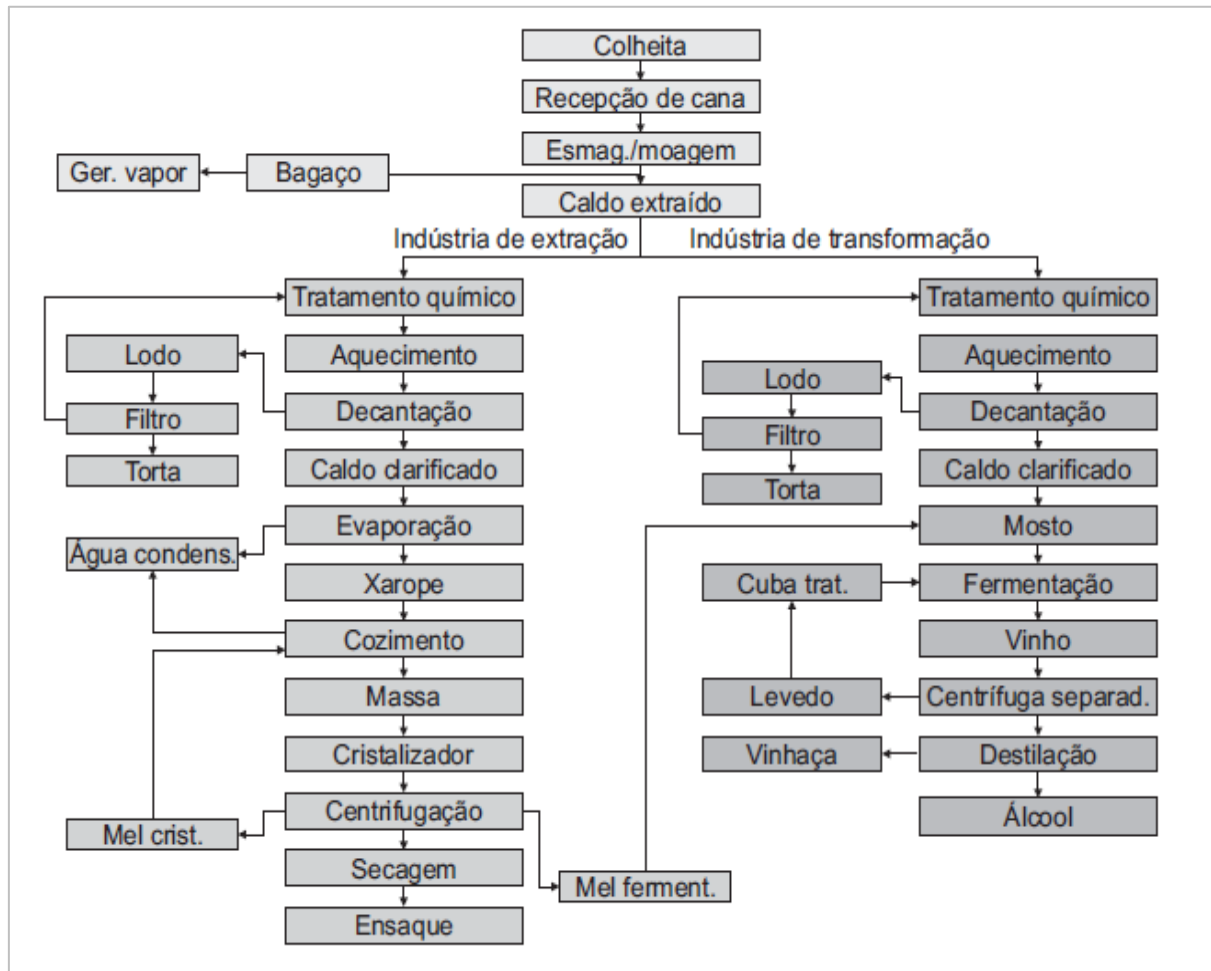
A produção do açúcar é realizada por meio da extração do caldo da cana-de-açúcar com o esmagamento da matéria-prima, branqueamento, decantação, evaporação, flotagem e cristalização. No mercado são encontrados diversos tipos de açúcar como o demerara, mascavo, cristal, refinado e VHP (*Very High Polarization*). A produção do açúcar é impactada por fatores ambientais que interferem na qualidade da matéria-prima e, posteriormente, na qualidade do produto. No processo de comercialização interna, o açúcar produzido nas plantas é direcionado ao consumo humano e para a indústria de alimentos. Já no mercado de exportação, o açúcar VHP é empregado como recurso para o processo de refinação (DAL-BEM; KOIKE; PASSARINI, 2003).

As unidades sucroenergéticas que produzem etanol são classificadas como indústria de transformação, pois utilizam a fermentação microbiológica na produção. Por sua vez, a produção de açúcar é classificada como empresa de extração, pois no processo produtivo retiram o açúcar já encontrado na planta produzido de forma natural (CARMO; RABI; CANEPPELE, 2020).

A geração de energia elétrica também é um dos principais produtos economicamente de grande importância do setor sucroenergético. O processo de produção ocorre por meio do esmagamento da cana-de-açúcar, gerando a matéria-prima rica em fibra que é utilizada como matriz para produção de energia elétrica. O bagaço, juntamente com o palhiço proveniente da colheita mecanizada, são enviados para a queima e aquecimento das caldeiras das unidades onde há geração sequenciada de energia térmica e energia elétrica (CARMO; RABI; CANEPPELE,

2020). O fluxograma apresentado na Figura 5 descreve um exemplo da produção de etanol e açúcar dentro da planta agroindustrial.

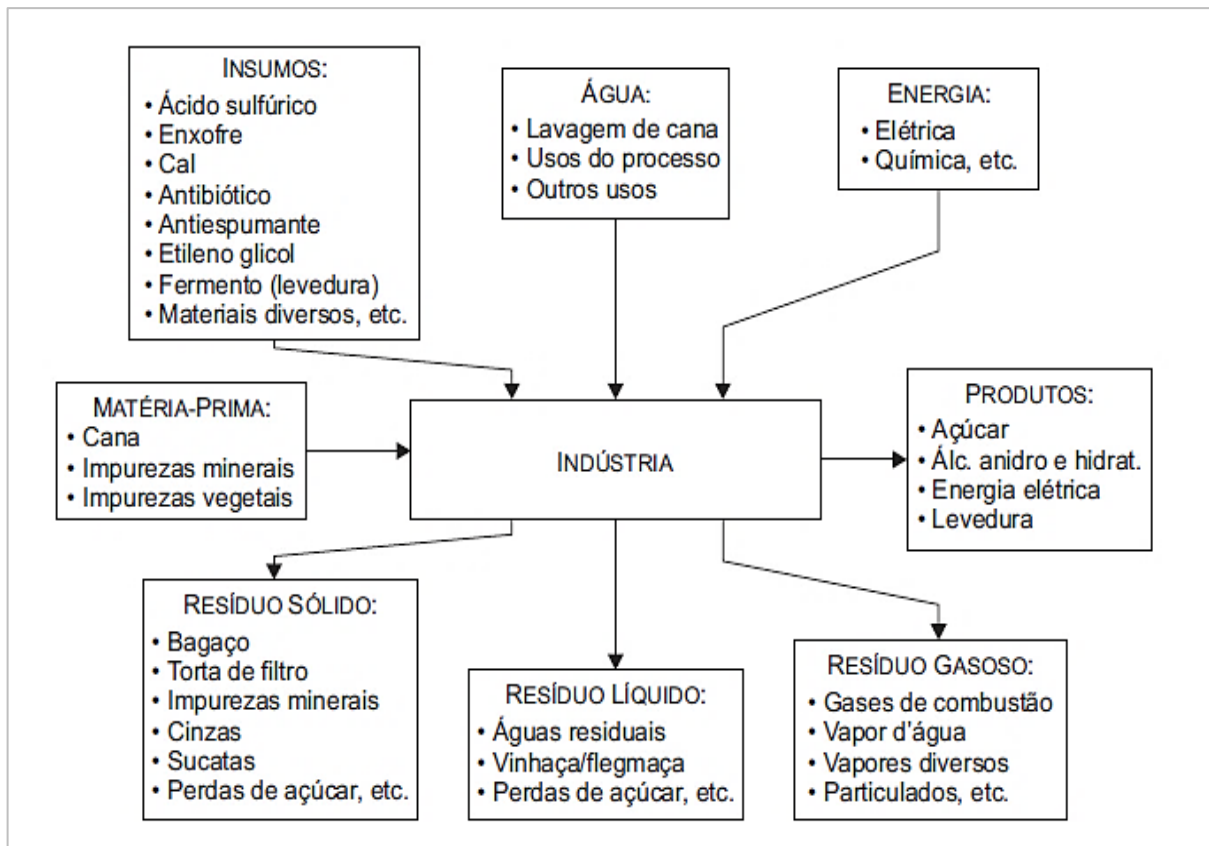
Figura 5 - Fluxograma de produção de etanol e açúcar



Fonte: Dal-Bem, Koike e Passarini (2003).

O aumento da quantidade de resíduos gerados nos processos produtivos acompanhou a expansão das plantas industriais sucroenergéticas, destacando a vinhaça, as águas de lavagem da cana-de-açúcar, o bagaço, a torta de filtro e as cinzas de caldeiras (Figura 6). Dos resíduos com potencial poluidor do processo industrial, destaca-se a vinhaça e as águas residuárias. Esses efluentes apresentam perigo de contaminação, pois uma vez dispostos em grande quantidade e com alto teor de matéria orgânica, podem ocasionar prejuízos e contaminação dos mananciais subterrâneos e superficiais (SCHNEIDER et al., 2012).

Figura 6 - Esquema simplificado do fluxo de massa e energia de processo industrial

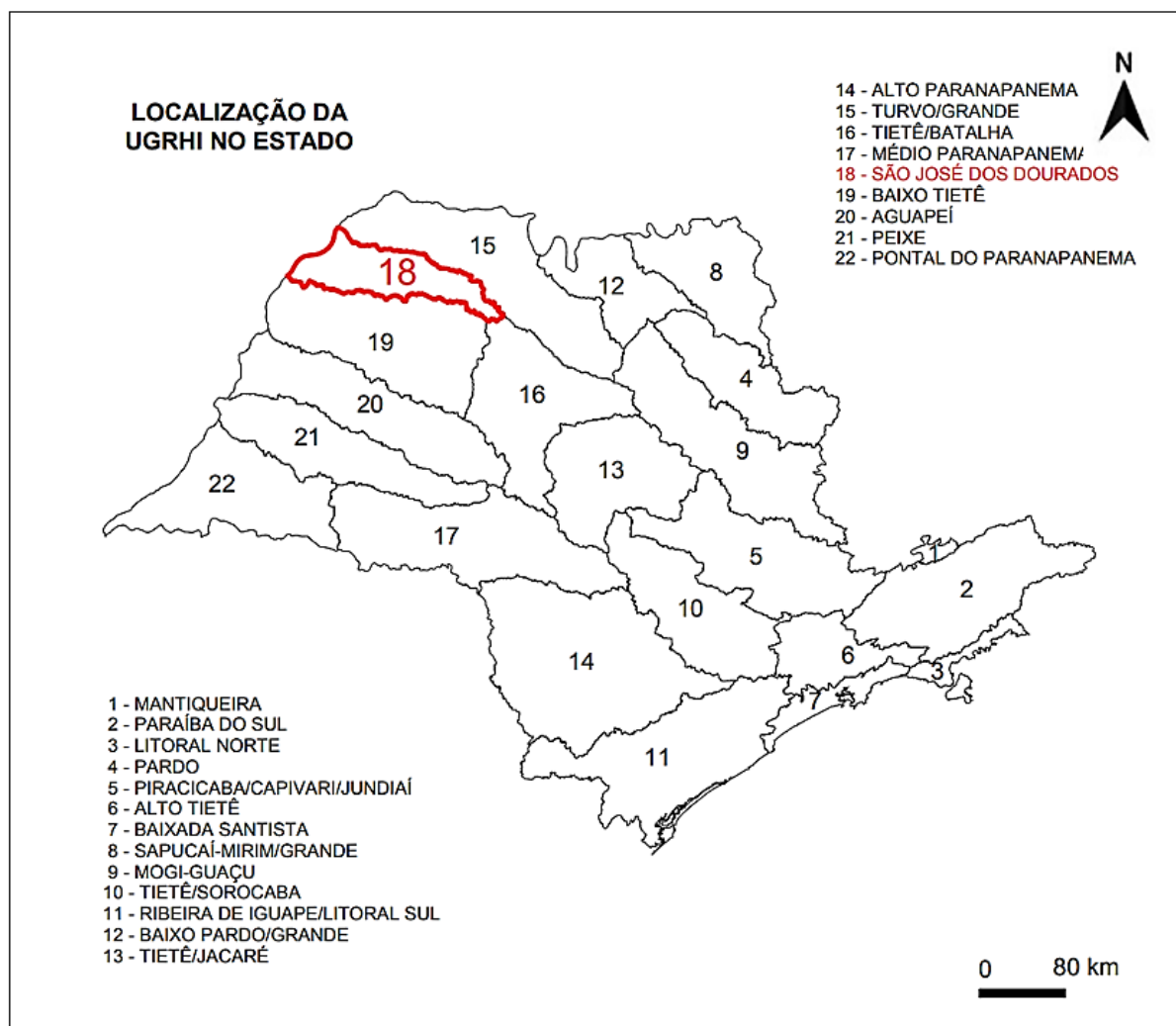


Fonte: Dal-Bem, Koike e Passarini (2003).

3.4 Bacia Hidrográfica do São José dos Dourados

A região de interesse da presente pesquisa está inserida na bacia hidrográfica do Rio São José dos Dourados, denominada Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) 18 (Figura 7). Este trecho do rio São José dos Dourados está sob influência do represamento de Ilha Solteira, em área administrada pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). A bacia do São José dos Dourados está compreendida na região hidrográfica do rio Paraná e faz limite a norte com a UGRHI 15 (Turvo/Grande), a nordeste com a UGRHI 16 (Tietê/Batalha) e a sudeste com a UGRHI 19 (Baixo Tietê) (RIBEIRO et al., 2017).

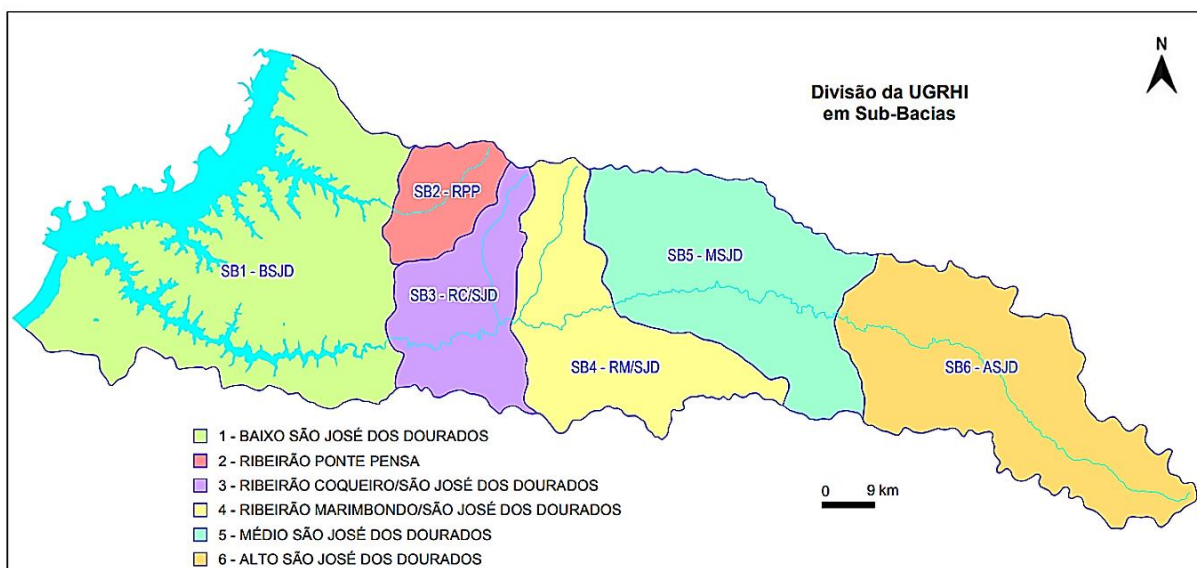
Figura 7 – Localização da UGRHI 18



Fonte: Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT (2008).

A bacia hidrográfica do Rio São José dos Dourados é composta por seis sub-bacias, em que estão inseridos 25 municípios, com aproximadamente 223.063 mil habitantes em uma área de 6.805,20 km². As principais atividades desenvolvidas na bacia são agrícolas diversificadas e pecuária extensiva. Há, na bacia, vegetação nativa remanescente de 449 km², o que representa 6,5% da área da UGRHI (IPT, 2008) (Figura 8). A área possui cobertura vegetal muito baixa e regiões com grandes ocorrências de processos erosivos. A bacia está localizada em uma das regiões de maior evapotranspiração e secas prolongadas (8 meses por ano). Devido às estiagens e visando a produtividade agrícola, a região possui alta demanda de irrigação. Destaca-se a ocorrência de retiradas de água para a irrigação por usuários que não possuem outorgas de direito e uso da água (RIBEIRO et al., 2017).

Figura 8 - Divisão das Sub-Bacias da UGRHI 18

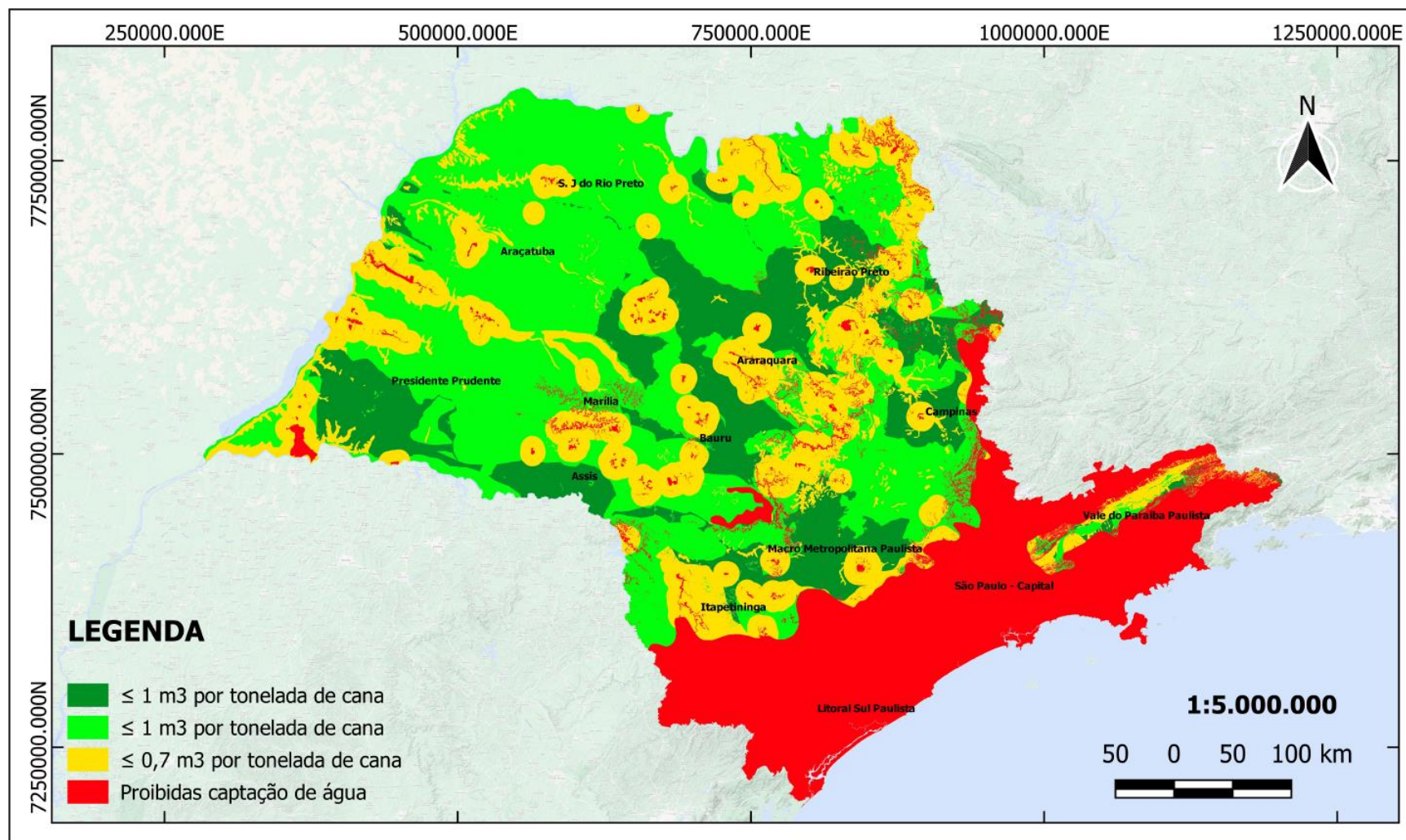


Fonte: IPT (2008).

3.5 Uso e reuso da água na indústria sucroenergética

Com a preocupação da expansão do setor sucroenergético no Estado de São Paulo, foi estabelecida a Resolução SMA 88, de 19 de dezembro de 2008, que define as diretrizes e técnicas para o licenciamento de empreendimentos. O objetivo é classificar as regiões de instalações e indicar condicionantes e exigências em processos de licenciamento ambiental. A legislação prevê a instalação dos empreendimentos de acordo com a localização em função das características do território, realizando a organização do uso e ocupação do solo do setor sucroenergético. A legislação também classifica o licenciamento de novos empreendimentos e ampliações de acordo com a localização: áreas adequadas, áreas adequadas com limitação ambiental, áreas adequadas com restrições ambientais e áreas inadequadas para o plantio da cultura da cana-de-açúcar (Figura 9).

Figura 9 – Mapa de zoneamento agroambiental do setor sucroalcooleiro e limites de m³ cúbicos de água a ser captada por tonelada de cana processada nas indústrias sucroenergéticas localizadas no Estado de São Paulo



Fonte: Adaptado de Rodriguez (2010).

O artigo 2º da referida legislação define que nas áreas classificadas como adequadas é necessária a apresentação, ao órgão ambiental competente, de um plano de manejo adequado de defensivos agrícolas; adoção de plano de prevenção de queimadas acidentais; adoção de ações de fomento florestal; implementação de ações de recuperação com espécies nativas nas Áreas de Preservação Permanente (APPs); utilização de limite máximo de 1 m³ de água por tonelada de cana-de-açúcar moída para os novos empreendimentos; e apresentação de Plano de Minimização de consumo de água, com cronograma de adequação para atingir limite máximo de 1 m³ de água por tonelada de cana-de-açúcar moída para ampliações de empreendimentos existentes.

Por sua vez, o artigo 3º determina que para as áreas classificadas como adequadas com limitações ambientais, é necessário o atendimento do Artigo 2º e acrescida a adoção de equipamentos de controle de poluição atmosféricos nas chaminés das caldeiras movida a bagaço; a demonstração da preservação dos remanescentes de vegetação dos biomas Mata Atlântica e Cerrado na unidade industrial e nas áreas de cana-de-açúcar; e o limite de captação de água é de até 1 m³ por tonelada de cana-de-açúcar.

No artigo 4º são apresentadas as exigências para as áreas classificadas como adequadas com restrições ambientais. Além das exigências constantes no artigo 3º, são acrescentados a elaboração de Estudo de Impacto Ambiental e respectivo Relatório de Impacto Ambiental (EIA-RIMA); a adoção de tecnologia objetivando a redução da geração de vinhaça; captação limite máxima de 0,7 m³ de água por tonelada de cana-de-açúcar moída para novos empreendimentos; e a apresentação de plano de minimização de consumo de água, com cronograma de adequação para atingir consumo de 0,7 m³ por tonelada de cana-de-açúcar moída para ampliações de empreendimentos existentes.

O artigo 5º da referida legislação define que é necessária também a formação de corredores ecológicos para unir florestas nativas ou recompostas, árvores isoladas e várzeas com APPs; a elaboração de plano de colheita para minimizar impactos sobre a fauna; e a elaboração de planos de redução de impactos ambientais da atividade sucroenergética sobre a biota o meio ambiente.

Em áreas de alta vulnerabilidade, conforme o Artigo 6º, a aplicação de vinhaça fica condicionada a apresentação de estudos com a caracterização hidrogeológica, com o objetivo de determinar a vulnerabilidade do aquífero local. Deve-se também

apresentar um plano de manejo, elaborado de acordo com a Norma Técnica CETESB P4.231, fixando a taxa de aplicação, periodicidade de aplicação e programa de monitoramento de solo e águas subterrâneas.

Nas áreas classificadas como inadequadas, conforme determina o Artigo 7º, não serão aceitos pedidos de licenciamento ambiental, protocolados após a publicação da Resolução SMA - 67, de 18 de setembro de 2008, para instalação ou ampliação de empreendimentos existentes do setor sucroalcooleiro. Para a renovação da licença de operação (LO) dos empreendimentos existentes nas áreas classificadas como inadequadas, será exigido a elaboração de um plano de adequação conforme estabelecido para as áreas classificadas como adequadas com restrições ambientais.

Para as usinas que possuem o Protocolo Agroambiental, o prazo para implementação do plano de adequação foi fixado em até 15 anos, com limite de prazo em 26 de março de 2024. Para as usinas que não aderiram ao Protocolo Agroambiental, os prazos de implementação do plano de adequação deverão ser implementados de acordo com as regras de renovação vigentes estabelecidas pelo órgão ambiental. As usinas que tenham cumprido as condicionantes e as recomendações da LO e das renovações e que estejam em conformidade com o Protocolo Agroambiental poderão ter o prazo de renovação ampliado em um terço em relação ao prazo máximo estabelecido no Decreto Estadual nº 8.468 de 1976 e suas alterações.

A produção industrial da cana-de-açúcar decorre em alta disputa do uso dos recursos hídricos, portanto, a gestão dessa atividade é essencial no controle de poluentes e economia de água nas indústrias sucroenergéticas (FITO et al., 2022).

Para contribuição nessa cadeia de produção, o reuso dos recursos hídricos é importante no processo de economia. O reuso pode ser classificado como potável e não potável e deve ser empregado conforme a exigência de qualidade da água requerida pelo uso desejado. Na indústria sucroenergética, o reuso pode ocorrer por meio do uso direto. Este tipo de reuso ocorre quando o efluente possui aspectos convenientes e volta para processo produtivo. Pode ser feito sem nenhum tipo de tratamento no efluente ou a aplicação de tratamentos específicos, objetivando evitar incrustações e corrosões nos equipamentos industriais (RIBEIRO, 2011).

Nas indústrias, os reusos são múltiplos, sobretudo no resfriamento de equipamentos, facilitando a operação, aumentando a eficiência e a economia de recursos financeiros (FUKASAWA, 2021). Dentre os principais instrumentos que

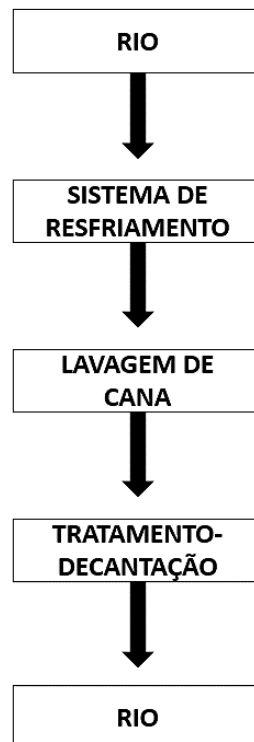
objetivam a redução hídrica no setor sucroenergético pode-se destacar a limpeza de cana a seco e a aplicação do reuso em circuito fechado, ambos fatores que contribuem para redução da captação e na geração de efluentes (LEONE, 2018).

Grande parte das indústrias precisam controlar a temperatura de máquinas e equipamentos do processo industrial para melhorar o desempenho na produção. Com este objetivo, as usinas utilizam água para o resfriamento. Um dos principais mecanismos utilizados é o resfriamento realizado por trocas de calor onde a água fria resfria o líquido quente e continuamente é necessário a reposição de água fria para continuar o ciclo. Os sistemas utilizados no resfriamento podem ser classificados em sistemas abertos, fechados e semiabertos.

No sistema de resfriamento aberto, a água é utilizada para o resfriamento e não volta para reuso. Logo após a troca de calor, a água é descartada com temperatura elevada. Este sistema se caracteriza pelas empresas que são grandes usuárias dos recursos hídricos. No sistema semiaberto, a água é utilizada para troca de calor e após o uso é realizado resfriamento através de lagoas, torres ou sprays. O sistema retira o calor e há posterior perda de água pela evaporação. Com a perda, é necessário realizar reposição para compensação da água evaporada. O sistema fechado é caracterizado pelo resfriamento da água por um trocador de calor de forma que não há evaporação no momento do resfriamento e nem perdas de água. Neste circuito a necessidade de reposição de água é mínimo e a água permanece em constante recirculação. O sistema mais usual nas usinas de cana-de-açúcar era o de circuito aberto (Figura 10). Neste processo a água era captada, passava pelos processos industriais e esporadicamente passavam por decantação antes de serem despejadas no rio (TORQUATO, 2019).

Devido à cobrança e ao déficit hídrico severo dos últimos anos, o setor sucroenergético implantou melhorias nos parques industriais, com a utilização de circuito fechado das águas. Essa técnica possibilitou o reaproveitamento e reuso das águas, possibilitando a redução da captação nas fontes. As técnicas adotadas pelo setor chegam a um percentual de 95% de reuso da água nas plantas industriais, observando uma eficácia com o sistema e um retorno do investimento financeiro. Essas ações contribuem para preservação dos recursos hídricos e diminuem o conflito de usos nas bacias hidrográficas que sofrem por oscilações volumétricas e falta de precipitações (ANA, 2009).

Figura 10 – Esquema de circuitos abertos em usinas antigas



Fonte: O autor (2022).

Outro recurso importante utilizado nas companhias sucroenergéticas como fonte de redução do consumo hídrico é o balanço das águas e efluentes do processo industrial. O uso da ferramenta permite estimar os usos e reuso da água nos processos com objetivo de apontar os investimentos necessários para redução da captação hídrica. O balanço hídrico é utilizado para indicar as tecnologias que devem ser utilizadas para redução do consumo, ou até mesmo pode atuar na mudança de cultura dos funcionários da empresa (ANA, 2009).

Para implantação do balanço hídrico é necessário compreender os processos industriais, levantar os circuitos de águas e efluentes e criar um formato de fluxograma. Esta ferramenta facilita a construção de uma fonte de dados e o planejamento dos usos e reuso dos recursos hídricos.

A demanda hídrica está presente em toda cadeia produtiva industrial, o consumo de água nas empresas está ligado no tipo de produto produzido e as tecnologias implantadas. A preocupação com o uso da água está se destacando no mercado competitivo nacional, principalmente os usuários que mais consomem água (SOUZA, 2020).

Os estudos de Souza (2020) indicaram que as indústrias, agricultura e uso doméstico são os maiores usuários das águas subterrâneas: 26% da captação de águas no mundo decorre de aquíferos. A captação das águas subterrâneas é mais conveniente do que as águas superficiais, pois a percolação possibilita uma boa filtração hídrica e uma melhor qualidade da água, o que promove uma redução de despesas com o tratamento para as empresas. A intervenção nos recursos hídricos superficiais é intensa. As principais contribuições para a degradação destes recursos advêm de despejos industriais, da urbanização e do lançamento de efluentes domésticos. Com o aumento da poluição, é importante o estabelecimento de monitoramento da qualidade e quantidade da água para se obter uma gestão efetiva para a conservação deste importante recurso (NASCIMENTO; NAIME, 2009).

As águas utilizadas nos processos industriais do setor sucroenergético são oriundas principalmente de fontes superficiais, mas também há captação, em menor escala, em fontes subterrâneas. A preocupação com a poluição das fontes hídricas deve ser tratada de maneira eficiente nas empresas, pois a atividade agroindustrial do setor é muito extensa, podendo causar poluição das fontes hídricas com poluentes orgânicos e inorgânicos (MOREIRA, 2007).

A produção mais limpa implantada nas indústrias incentiva a implantação de tecnologias que visam a economia de água e energia. O uso da água no setor industrial é representado pela captação direta nos corpos hídricos e o uso tende a ser diversificado e intenso em regiões mais desenvolvidas. O uso da água intensivo do setor sucroenergético chega a 22 m³ por tonelada de cana processada (Tabela 2) (ANA, 2009).

Tabela 2 - Uso médio de água no processamento de uma tonelada de cana-de-açúcar

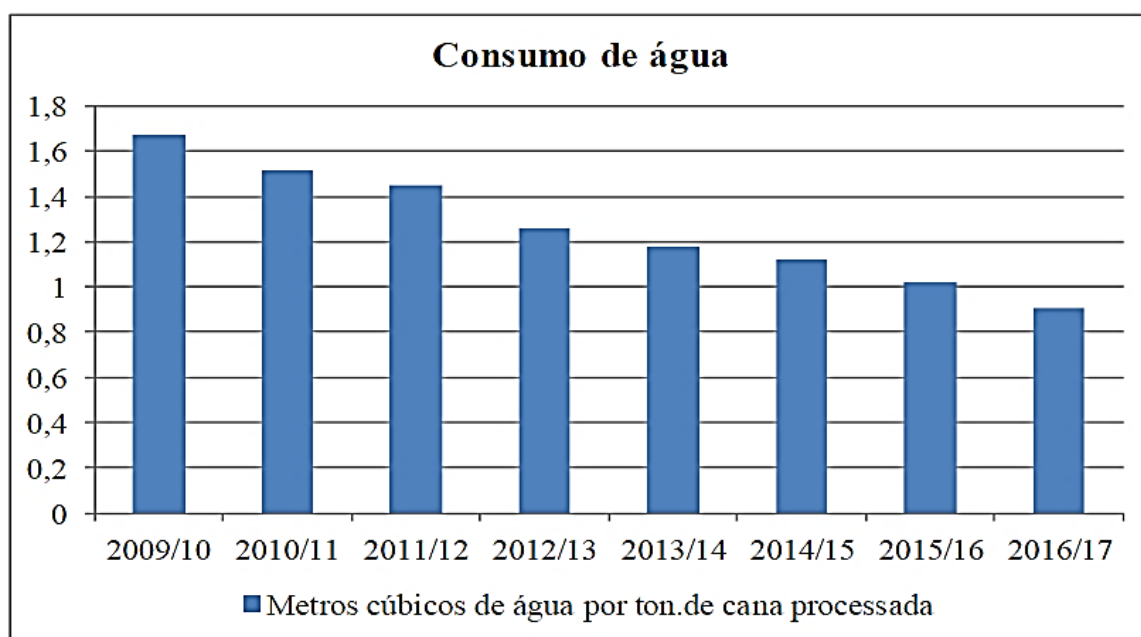
Setor/ Processo	Consumo (m ³ /t)	%
Alimentação, preparo e extração (lavagem de cana, embebição, resfriamentos, etc.)	2,61	11,80
Tratamento de caldo	0,57	2,60
Fábrica de açúcar	8,36	37,80
Fermentação	4,36	19,70
Destilaria	3,86	17,40
Geração de energia	2,26	10,20
Outros (consumo humano, limpeza, etc.)	0,08	0,40
Total	22,12	100

Fonte: Pacheco e Hoff (2013).

Para Bonassa et al. (2015), a etapa que mais utiliza água no setor sucroenergético é a etapa da lavagem da cana-de-açúcar. Nesta etapa, a água é usada para a retirada de sólidos e matéria orgânica carregada da lavoura para garantir a qualidade no processo de produção. Utiliza-se como forma de mitigação deste alto uso, o reuso da água de lavagem dentro da indústria, pois diminui a possibilidade de contaminação dos corpos hídricos e proporciona redução do consumo. Outro fator importante para economia da água de lavagem de cana está ligado na colheita agrícola da cultura, onde se faz necessária uma gestão para evitar o transporte de solo para o processo industrial.

Os estudos de Torquato (2019) demonstraram que, no Estado de São Paulo, houve redução na captação de água pelo setor sucroenergético. De acordo com as usinas signatárias do protocolo ambiental, as unidades paulistas alcançaram na safra de 2015/16 o consumo de 1 m³ de água por tonelada de cana-de-açúcar processada em razão, sobretudo, da adoção de novas tecnologias inseridas nos processos industriais (Figura 11).

Figura 11 – Consumo de água por tonelada de cana-de-açúcar no processo industrial das usinas signatárias do Protocolo Agroambiental paulista nas safras de 2009/2010 a 2016/2017



Fonte: Torquato (2019).

Para Donato (2021), o consumo de água é muito instável, pois depende do circuito de águas de cada unidade e muda de acordo com o direcionamento da produção de açúcar ou etanol. Estudos apontam consumos de água entre 0,7 a 12,2 m³ por tonelada de cana-de-açúcar processada, dependendo da recirculação de água no processo de produção. Outros estudos estimam que o consumo de água pode chegar a valores de 15 m³ ou até superiores a 22 m³ por tonelada de cana-de-açúcar processada quando os circuitos de águas são totalmente abertos. Apesar da elevada demanda, o setor possui, também, uma alta taxa de reuso (PACHECO; HOFF, 2013).

3.6 Efluentes industriais

As usinas sucroenergéticas lançam nos cursos de água aproximadamente metade da água utilizada nos seus processos de produção em forma de águas residuárias. Atualmente, cerca de 1,5 a 2 m³ de água são utilizados para processar 1 tonelada de cana-de-açúcar e resultam no descarte de 1 m³ de efluentes (SAHU et al., 2018). De acordo com o levantamento do Centro Tecnológico Canavieiro de 1997, uma usina que processa aproximadamente 1 milhão de tonelada de cana-de-açúcar por ano e produz açúcar e álcool tem potencial de carga orgânica poluidora na safra equivalente, em média, a uma cidade com cerca de 1,5 milhões de habitantes (CRUZ et al., 2016). As águas residuárias geradas nas indústrias sucroenergéticas são constituídas pelos efluentes do processo industrial (sistema de lavagem da cana-de-açúcar, lavagem de pisos, circuitos de resfriamento, purgas do sistema de lavador de gases da chaminé e sobra de águas condensadas). O sistema de tratamento mais comum é composto por decantação, flotação, resfriamento, separação de água e óleo e tratamento dos esgotos sanitários em estação compactas. A disposição final geralmente é realizada no solo em forma de irrigação juntamente com a vinhaça.

A gestão adequada de tais efluentes é um importante fator para evitar impactos ambientais no momento do lançamento e consequentemente contribuir com a preservação da qualidade dos recursos hídricos (CRUZ et al., 2016). Segundo Ferreira et al. (2018), os efluentes gerados possuem uma gama diferenciada de poluentes (Tabela 3), pois são produzidos em várias etapas dos processos de produção. Portanto, o descarte ineficaz pode ocasionar danos ao meio ambiente e obriga a necessidade de inovações tecnológicas para melhoraria nos processos industriais. De acordo com Kolhe et al. (2008), as características dos efluentes

individuais e combinados variam de usina para usina e temporalmente. No geral, os efluentes individuais apresentam elevadas concentrações de demanda bioquímica de oxigênio (DQO) e sólidos em suspensão, além de alto teor de óleos e graxas.

Tabela 3 - Resumo dos efluentes do processo industrial e características químicas

Efluente		Vazão Específica	pH	T (°C)	RS (mL/L)	DQO (mg/L)	DBO _{5,20} (mg/L)	OG (mg/L)
Lavagem de cana		2 a 5 (m³/t cana)	5 a 6	amb.	5 a 10	280 a 700	180 a 500	0
Resfriamento de equipamentos (moendas, turbinas e turbo geradores)		0,715 (m³/t cana)	7	<30	<0,5	0	0	-
Colunas barométricas e multijatos (fábrica de açúcar)		70 a 100 (L/kg açúcar)	6 a 7	45	<0,2	20 a 80	10 a 40	0
Resfriamento Destilaria	Caldo p/ mosto	30 (L/L etanol)	7	<45	0	0	0	0
	Dornas	60 a 80 (L/L etanol)	7	<35	0	0	0	0
	Condensadores	80 a 120 (L/L etanol)	7	50 a 60	0	0	0	0
	Total	200 (L/L etanol)	7	50	0	0	0	0
Lavagem de gases da caldeira		2 (L/kg vapor)	8	80	50 a 100	200 a 300	100 a 150	-
Condensados	Vapor escape	40 a 50 (L/kg açúcar)	7	80	0	0	0	0
	Vapor vegetal	50 a 60 (L/kg açúcar)	5 a 6	60 a 80	0	600 a 1.500	300 a 800	0
Limpeza de pisos e equipamentos		50 (L/t cana)	5 a 6	amb.	<0,5	1.000 a 3.000	800 a 1.500	>20
Esgoto doméstico		70 (L/func.dia)	6 a 7	amb.	5-20	600	300	-
Vinhaça e flegmaça		12 a 18 (L/L etanol)	4 a 4,5	80	3-5	25.000 a 40.000	15.000 a 20.000	8

Legenda: PH= Potencial hidrogeniônico; T= Temperatura; RS= Resíduos sedimentáveis; DQO= Demanda Química de oxigênio; DBO= Demanda bioquímica de oxigênio; OG= Óleos e graxas.

Fonte: Ribeiro (2011).

Em relação aos impactos potenciais do lançamento de efluentes industriais nos cursos de água, entende-se que a demanda imediata de oxigênio por esses efluentes causa o rápido esgotamento do oxigênio dissolvido nos ambientes aquáticos receptores, podendo resultar em condições anaeróbicas, na liberação de odores desagradáveis e na produção de sulfeto de hidrogênio. Todos esses efeitos podem

tornar a água imprópria para peixes e outras formas de vida aquática. Além disso, os sólidos dissolvidos e suspensos se deterioram lentamente, resultando também em odores desagradáveis. No mais, o excesso de óleos e graxas podem prejudicar a aeração (KOLHE et al., 2008).

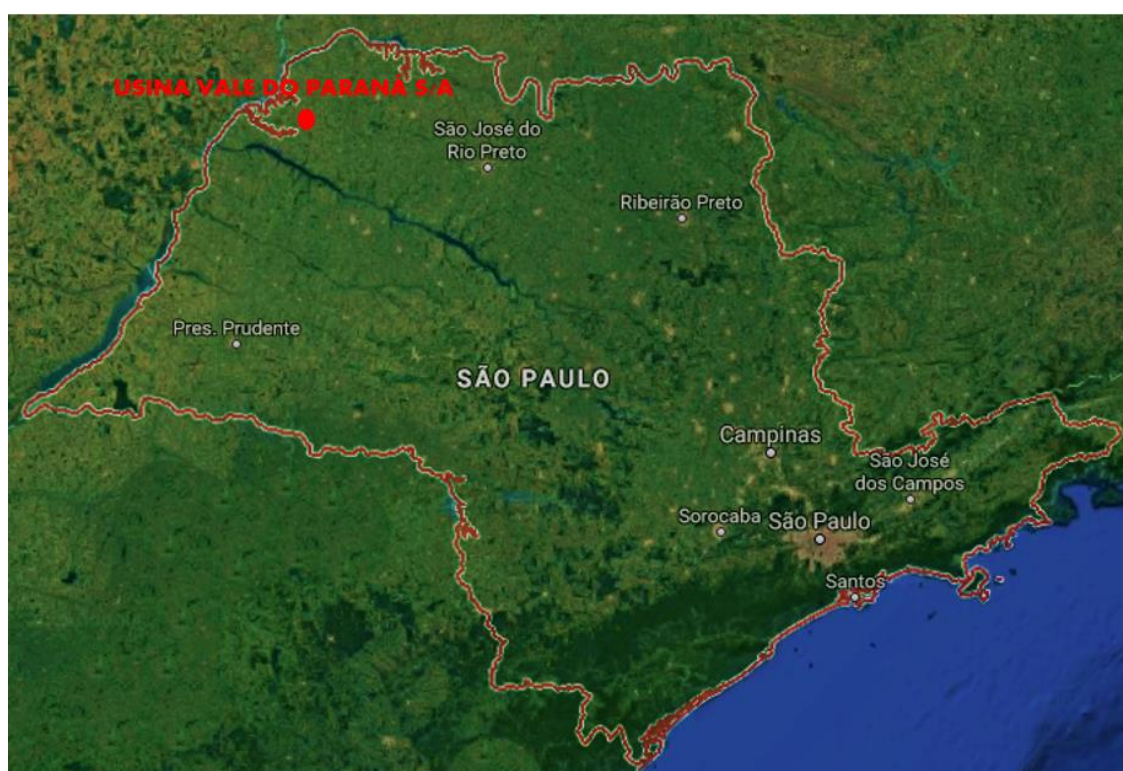
Para amparo legal dos lançamentos dos efluentes, as resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 357/2005 e 430/2011, classificam os corpos de água e estabelecem as condições e padrões de lançamento dos efluentes em águas superficiais e subterrâneas, respectivamente. As legislações constituem um importante mecanismo para conservação da qualidade das águas, pois estimulam as usinas nos controles preventivos e na adoção de técnicas que visam o tratamento e redução dos efluentes (CETESB, 2005; CONAMA, 2011).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Caracterização da área de estudo

O presente trabalho foi desenvolvido nas dependências da usina Vale do Paraná S/A Álcool e Açúcar, localizada no município de Suzanópolis (SP) (latitude 20°23'21.49" S e longitude 51° 1'56.21" W; altitude: 380 m) (Figura 12).

Figura 12 – Localização da usina Vale do Paraná S/A Álcool e Açúcar no Estado de São Paulo



Fonte: Elaborada pelo autor com imagem do Google Earth (2022).

A empresa produz açúcar, etanol e energia elétrica a partir da queima do bagaço da cana-de-açúcar e possui plantio com a cultura em área correspondente a 27.000 hectares, abrangendo os municípios de Pereira Barreto, Suzanópolis, Sud Mennucci, Santa Fé do Sul, Santana da Ponte Pensa, Três Fronteiras, Rubineia, Nova Canaã Paulista, Marinópolis, Ilha Solteira e Aparecida D'Oeste. As áreas de cultivos são em formato de arrendamento. Apenas como área própria, há o terreno do parque industrial e uma propriedade de vegetação nativa adquirida para averbação da área de reserva legal. A empresa garante o consumo interno e, em 2021, iniciou a

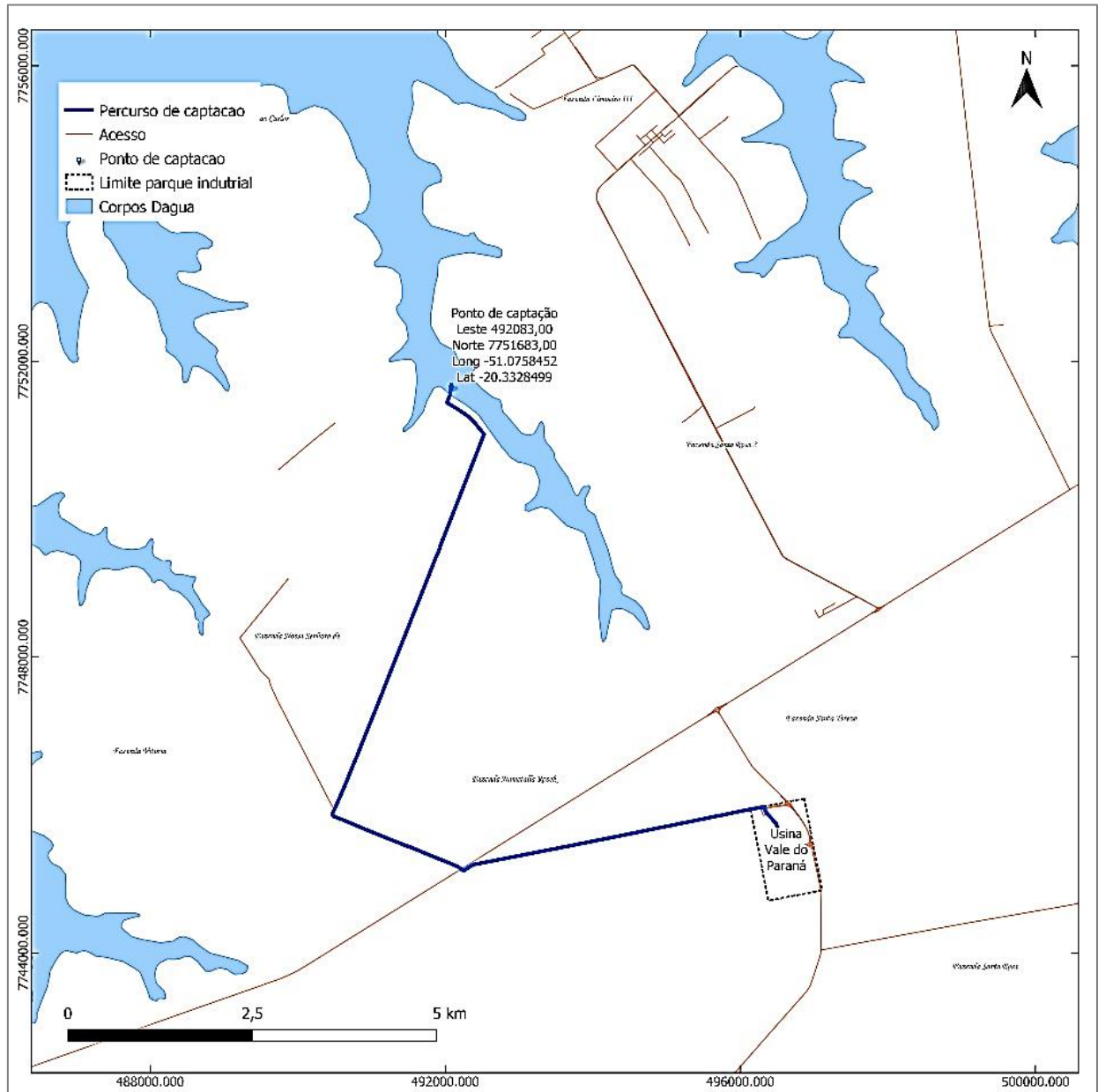
comercialização do excedente de energia no Sistema Interligado Nacional (SIN). A usina possui a certificação Etanol Verde, idealizada pelo governo do Estado de São Paulo. Atualmente, a colheita da cana-de-açúcar é 100% mecanizada e não utiliza a técnica de queimadas. Em 2019, a companhia obteve a certificação RenovaBio, que objetiva a ampliação da participação dos biocombustíveis na matriz energética de transporte brasileira. Em 2020, deu início, ainda, à comercialização de créditos de carbono.

A Vale do Paraná S/A Álcool e Açúcar possui LO emitida pela CETESB para uma moagem de até 2.400.000 toneladas de cana-de-açúcar por ano. Na referida licença, há exigências técnicas de monitoramento ambiental em toda a cadeia de processos industriais e agrícola. O objetivo das exigências é o acompanhamento das atividades da usina para redução e mitigação de impactos ambientais durante sua operação.

4.1.1. Captação de água superficial

Como fonte principal de água para o abastecimento industrial, a Vale do Paraná S/A Álcool e Açúcar executa a captação de água superficial nas margens do Reservatório UHE Ilha Solteira, na bacia hidrográfica do Rio São José dos Dourados, denominada UGRHI 18. O sistema é composto por uma captação flutuante, juntamente com um conjunto de bombas posicionado dentro do rio, e, na margem do curso de água, há uma casa de força e tubulações necessárias para a condução da água à unidade industrial. Basicamente, o sistema de bombas flutuantes é responsável pela sucção da água superficial do rio Paraná e recalque da água bruta por meio de uma tubulação (comprimento: 17 km), tendo como destino final um reservatório dentro da indústria. Posteriormente, a água reservada é tratada e, na sequência, enviada para o processo industrial. Um esquema geral do processo de captação é apresentado na Figura 13.

Figura 13 – Localização do ponto de captação de água da unidade sucroenergética no rio Paraná e trajeto da tubulação e condução da água até o armazenamento no tanque localizado no parque industrial



Fonte: Vale do Paraná (2022).

Para o processo de captação, a unidade obteve outorga de uso da água com autorização de captação de $1.000 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ emitida pela ANA, com validade até 10 de julho de 2024 (Tabela 4).

Tabela 4 – Dados da outorga de captação superficial da unidade sucroenergética em estudo

Captação	Dominialidade	Tipo de Corpo Hídrico	Município	Nº Resolução	Vazão outorgada
UHE Ilha Solteira	Federal	Espelho D'Água	Ilha Solteira	893/2014	1.000 m³/h

Fonte: ANA (2014).

Em relação à permanência das bombas flutuantes dentro do rio Paraná, conforme estabelece a Norma de Autoridade Marítima 11, a empresa conseguiu, na Marinha do Brasil, um parecer favorável para a realização de obras sobre as margens das Águas Jurisdicionais Brasileiras, no que concerne ao ordenamento do espaço aquaviário e à segurança da navegação. Para a passagem da tubulação, a construção da casa de força e a instalação de bombas em APP, seguindo a Lei 12.651/2012, a unidade solicitou à CETESB uma autorização para permanência das estruturas supracitadas. O pedido foi atendido. Quanto à ocupação da borda do reservatório, a unidade firmou junto à *China Three Gorges Corporation* (CTG) Brasil um contrato de cessão de uso em bordas de reservatórios. No procedimento foram apresentados documentos necessários para a permanência da estrutura do sistema de captação de água. Por fim, para o armazenamento da água captada na planta industrial, uma LO para a construção e operação de um reservatório de água foi emitida pela CETESB, conforme estabelece o Decreto Nº 62.973/2017.

4.1.2. Captação de água subterrânea

Na instalação da unidade, no ano de 2006, toda a água utilizada no processo produtivo era oriunda de 8 poços (Tabela 5; Figura 14). A unidade obteve as outorgas de uso da água emitidas pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) (vencimento: janeiro/2024).

Tabela 5 - Outorgas subterrâneas da unidade em estudo

Outorga	Poço	Latitude	Longitude	Volume m ³ .dia ⁻¹	Volume m ³ .h ⁻¹	Aquífero	Portaria
Subterrânea	1	20°23'26.773"	51°2'6.296"	1337,04	74,28	Serra Geral	6892/18
Subterrânea	2	20°23'42.714"	51°2'1.815"	1800,00	100	Serra Geral	6892/18
Subterrânea	3	20°23'38.810"	51°2'2.849"	1803,96	100,22	Serra Geral	6892/18
Subterrânea	4	20°23'30.681"	51°1'44.907"	1082,34	60,13	Serra Geral	6892/18
Subterrânea	5	20°23'32.633"	51°1'44.562"	847,98	47,11	Serra Geral	6892/18
Subterrânea	6	20°23'35.233"	51°1'58.708"	468,00	26	Serra Geral	6893/18
Subterrânea	7	20°23'12.463"	51°1'50.423"	700,00	35	Serra Geral	6892/18
Subterrânea	8	20°23'21.246"	51°1'50.770"	190,00	9,5	Serra Geral	98/19
Total				8.229,32	452,24		

Fonte: O autor (2022).

Figura 14 – Pontos de captação de águas subterrâneas dentro do parque industrial da companhia



Fonte: Elaborada pelo autor com imagem do Google Earth (2021).

A vazão potencial de captação dos 8 poços é de 452,24 m³.h⁻¹. No entanto, a fonte subterrânea foi utilizada no abastecimento do processo industrial da companhia até 2015. Em 2016, o sistema de captação de água superficial foi implantado

(abastecimento da unidade: ~ 95%), conforme apresentado anteriormente, e os poços (~ 5%) são atualmente utilizados, em sua maioria, apenas em momentos de manutenção do sistema de captação de água superficial. Há utilização de um poço para o abastecimento do setor administrativo, restaurante e dos banheiros, especificamente nos sanitários.

O fator principal que levou o setor industrial a optar pela captação superficial foi o rebaixamento do lençol freático entre os anos de 2015 e 2016, que provocou problemas significativos no fornecimento de água para o processo industrial da usina. Além disso, a água subterrânea da região apresenta alto teor de sílica e dureza, levando a problemas de incrustações nas tubulações e bombas, além da ocorrência de processos corrosivos na caldeira a vapor da indústria. O custo do tratamento da água com tais substâncias tem custo elevado, fator determinante para a utilização da água superficial.

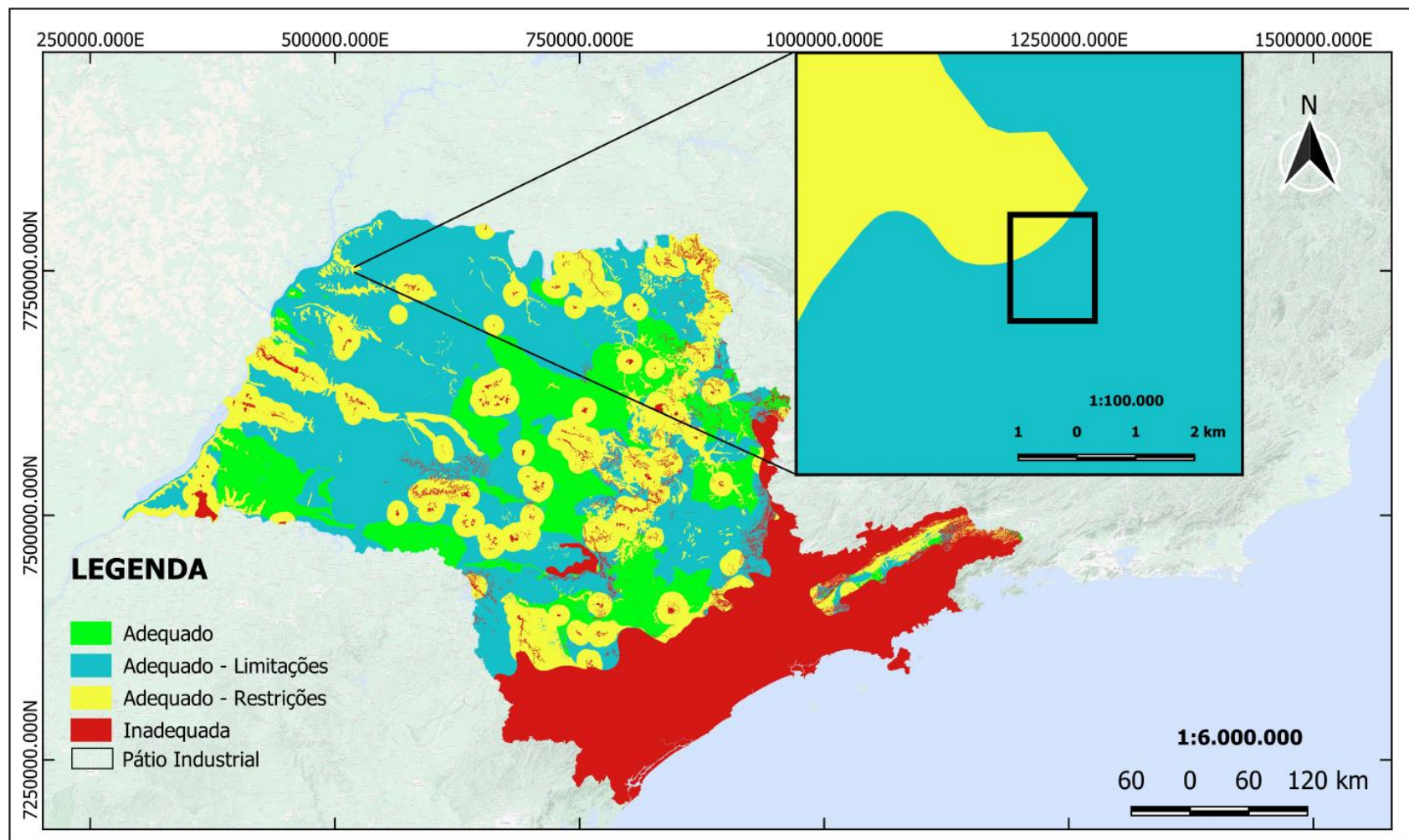
4.1.3. Limites de captação de água para unidade industrial

A resolução da SMA nº 88 de 2008 define as diretrizes técnicas para o licenciamento de empreendimentos do setor sucroalcooleiro no Estado de São Paulo, conforme supracitado. Com a instituição da legislação, houve o estabelecimento de limites do uso dos recursos hídricos nas companhias sucroenergéticas. A resolução decreta que as unidades instaladas em áreas adequadas e áreas adequadas com limitações ambientais, de acordo com o mapa do zoneamento agroambiental, devem ter um limite máximo de captação de 1 m³ de água por tonelada de cana-de-açúcar processada na indústria. Para as áreas classificadas como adequadas com restrições ambientais, o limite máximo para captação de água é de 0,7 m³ de água por tonelada de cana-de-açúcar moída. Em relação às empresas instaladas nas áreas classificadas como inadequadas antes da publicação da legislação, a resolução define a exigência de um plano de adequação às condicionantes estabelecidas para as áreas classificadas como adequadas com restrições ambientais e determina a captação máxima de 0,7 m³ de água por tonelada de cana-de-açúcar processada na indústria.

Na Figura 15 é apresentado a localização da área do parque industrial da Vale do Paraná S/A Álcool e Açúcar no mapa do zoneamento agroambiental. Conforme pode ser observado, a unidade está inserida em área adequada com limitações e em

área adequada com restrições, o que estabelece uma captação de até 0,7 m³ de água por tonelada de cana-de-açúcar processada.

Figura 15 – Mapa do zoneamento agroambiental do Estado de São Paulo e localização da área do parque industrial da Vale do Paraná S/A.

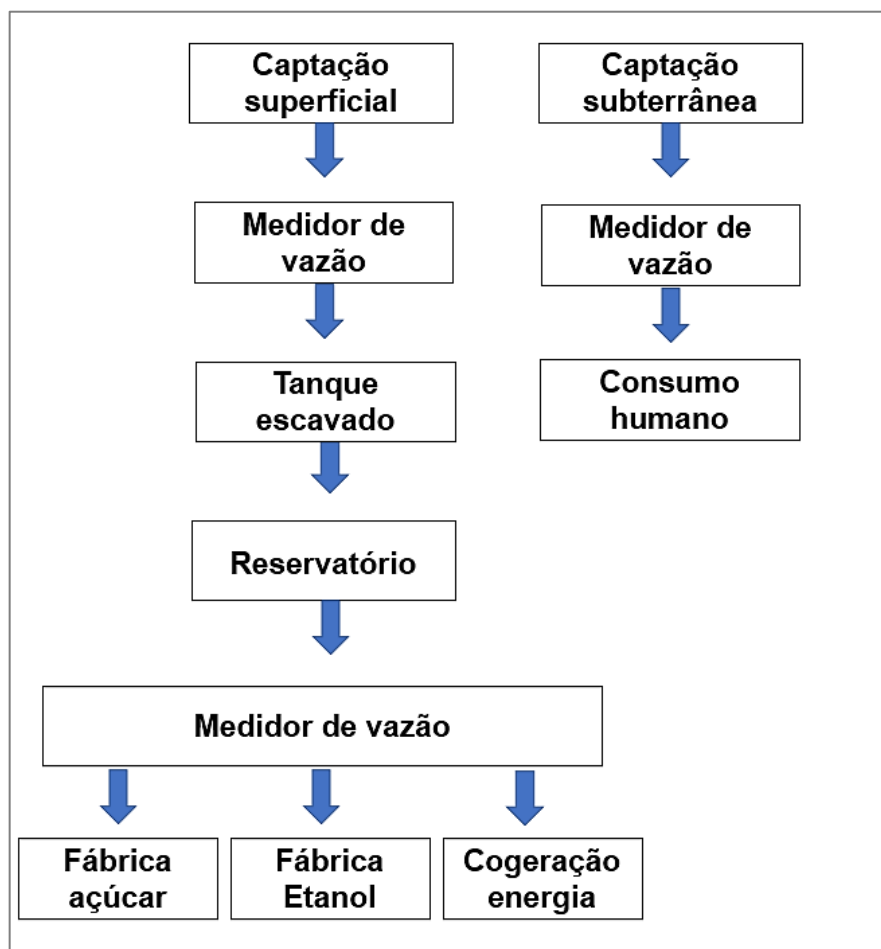


Fonte: Vale do Paraná (2022).

4.1.4. Medição e distribuição da água no processo industrial

O uso de medidores automáticos de vazões são importantes dispositivos para o registro e acompanhamento da água utilizada durante processo industrial. Na empresa em estudo, a água da captação industrial é registrada em duas localidades: uma no bombeamento do rio Paraná, no qual contempla um medidor que registra automaticamente a vazão, e a outra na chegada da água no tanque reservatório do processo industrial (Figura 16). No sistema de captação subterrânea para o consumo humano também há registro e medição da vazão na saída do bombeamento do poço (Figura 16).

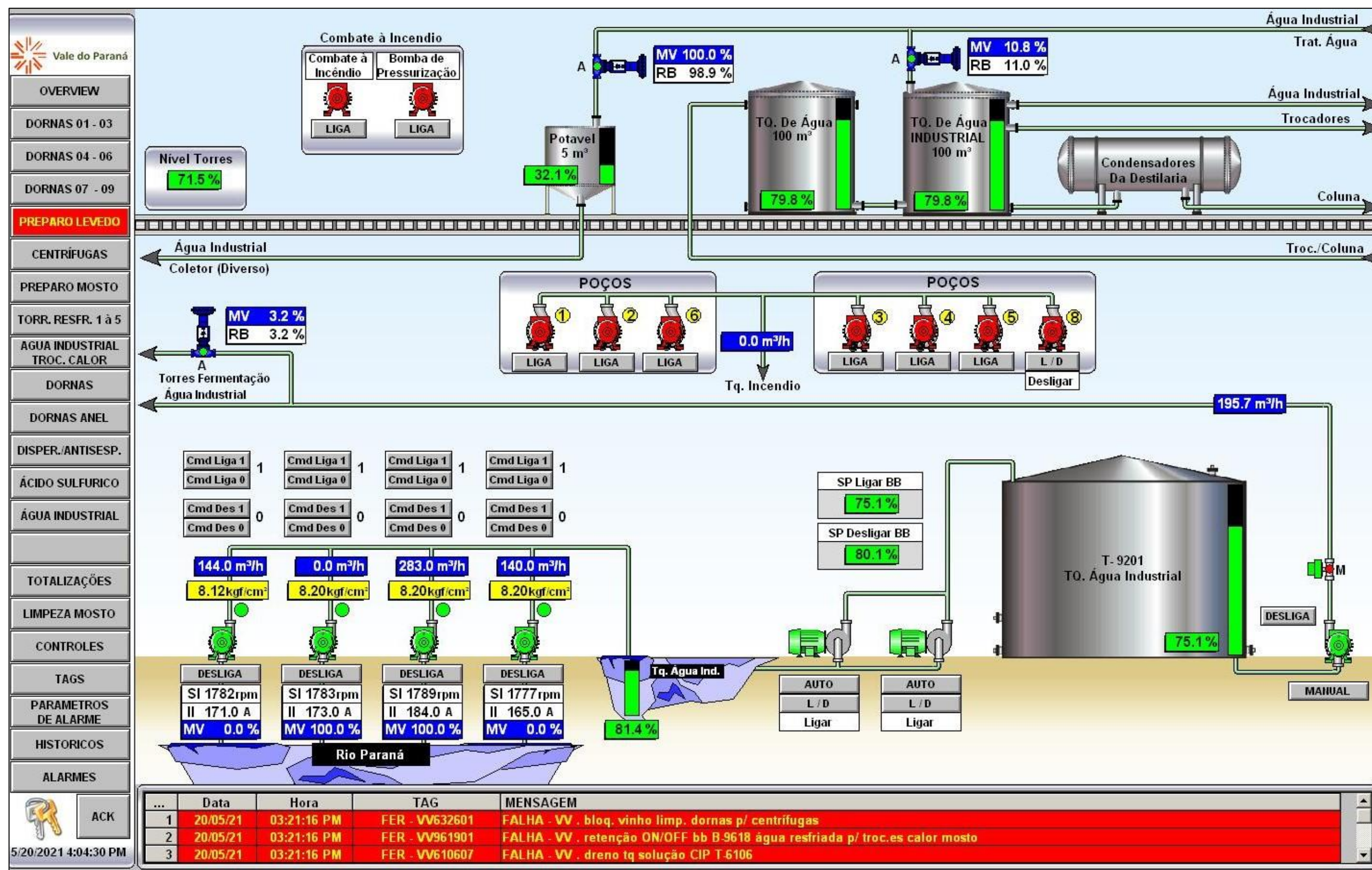
Figura 16 – Fluxograma do caminho e distribuição da água utilizada no processo industrial e de consumo humano do empreendimento



Fonte: O autor (2022).

Todas as informações de entrada de água na planta industrial são registradas e armazenadas no centro de operações industriais (COI). O centro controla todos os dados de forma digital (Figura 17) e monitora e gerencia todas as operações dos processos industriais, gerando um banco de dados da empresa.

Figura 17 – Sistema de acionamento digital de bombas para os sistemas de abastecimento de água no processo industrial



Fonte: Vale do Paraná (2022).

4.2. Obtenção e pesquisa dos dados

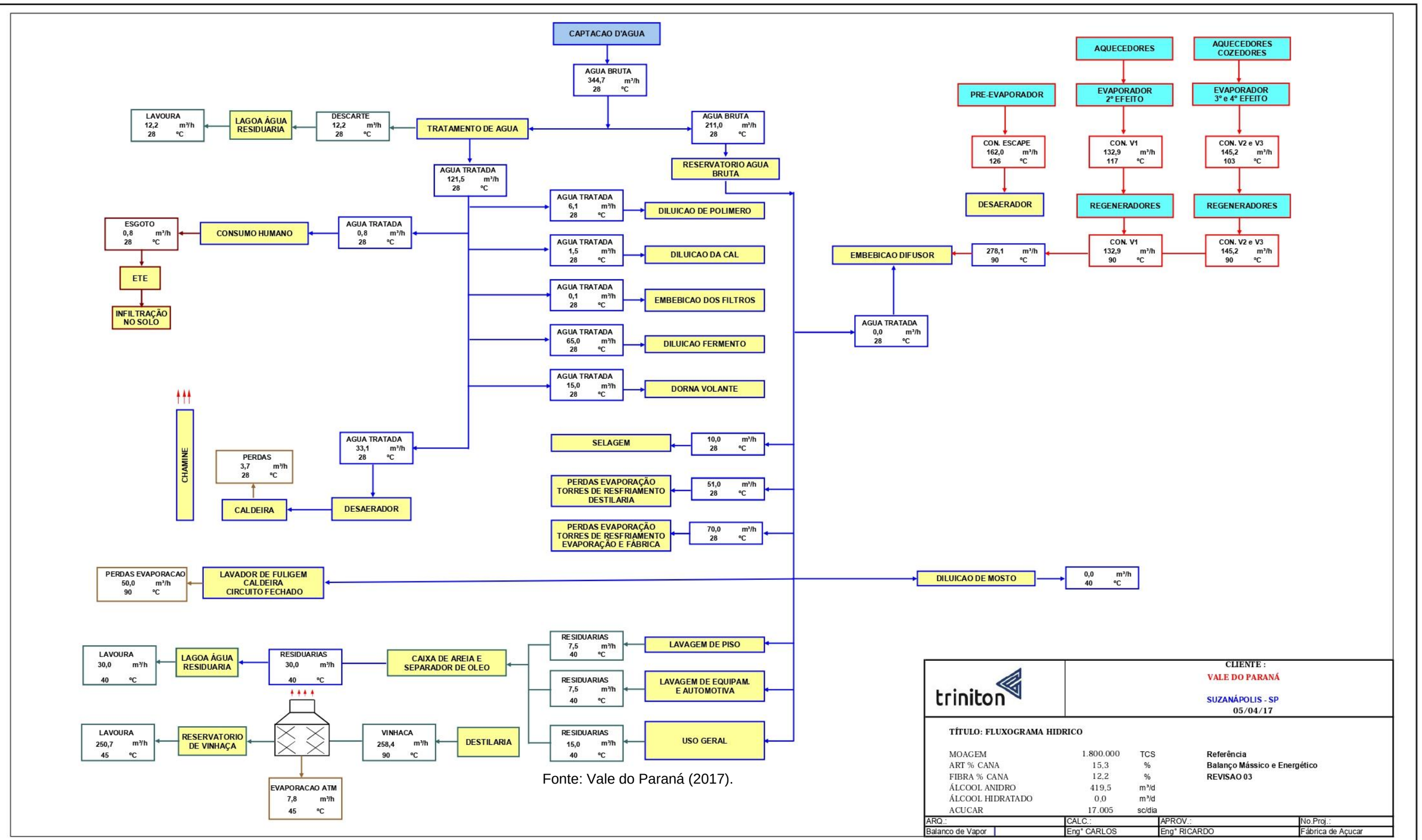
A pesquisa foi direcionada na gestão do uso da água do processo industrial da usina Vale do Paraná S/A Álcool e Açúcar. Para realização do presente trabalho, foram utilizados dados secundários de pesquisas bibliográficas, balanço hídrico, outorgas de direito do uso da água, programas internos e boletins técnicos com informações de produção da própria empresa. O levantamento permitiu quantificar o uso da água na usina em estudo nos últimos dez anos e avaliar as tecnologias implantadas para a redução de seu uso no processo industrial. Foi realizado, ainda, um levantamento de campo em todos os setores e entrevistas com os supervisores da área pesquisada. Ressalta-se que todas as informações técnicas foram disponibilizadas pela companhia, a saber: dados das safras, balanço hídrico, dados de produção, vazões de captações, as tecnologias implantadas que visam a redução da demanda hídrica, fluxogramas de processos e outorgas de usos da água.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Balanço hídrico

O balanço hídrico da unidade do Vale do Paraná S/A Álcool e Açúcar (Figura 18) toma como base de cálculo a moagem de 458 toneladas de cana-de-açúcar por hora (i.e., 11.000 toneladas de cana-de-açúcar por dia), correspondente a produção de 17.005 sacos de açúcar e de 419,5 m³ de etanol por dia.

Figura 18- Balanço hídrico Vale do Paraná S/A Álcool e Açúcar



Para a ANA (2009), a elaboração de um balanço hídrico no processo industrial é de extrema importância para começar a potencializar o uso e reuso da água e trata-se de uma ferramenta que proporciona a mudança de cultura e indica meios tecnológicos para intervir e reduzir a captação dos recursos hídricos. Para a sua elaboração é necessário tanto o conhecimento técnico dos setores quanto o levantamento dos circuitos de águas e efluentes. Os resultados devem ser expostos em fluxograma para melhor orientação e entendimento dos usos, reuso e geração de efluentes do processo industrial.

Por sua vez, por meio do diagrama da Figura 18, criado pela empresa de engenharia Triniton para as condições normais de operação da planta industrial, as informações da Tabela 6 foram extraídas para elucidar algumas etapas do balanço hídrico da companhia, correspondentes a um resumo dos usos de água de cada setor.

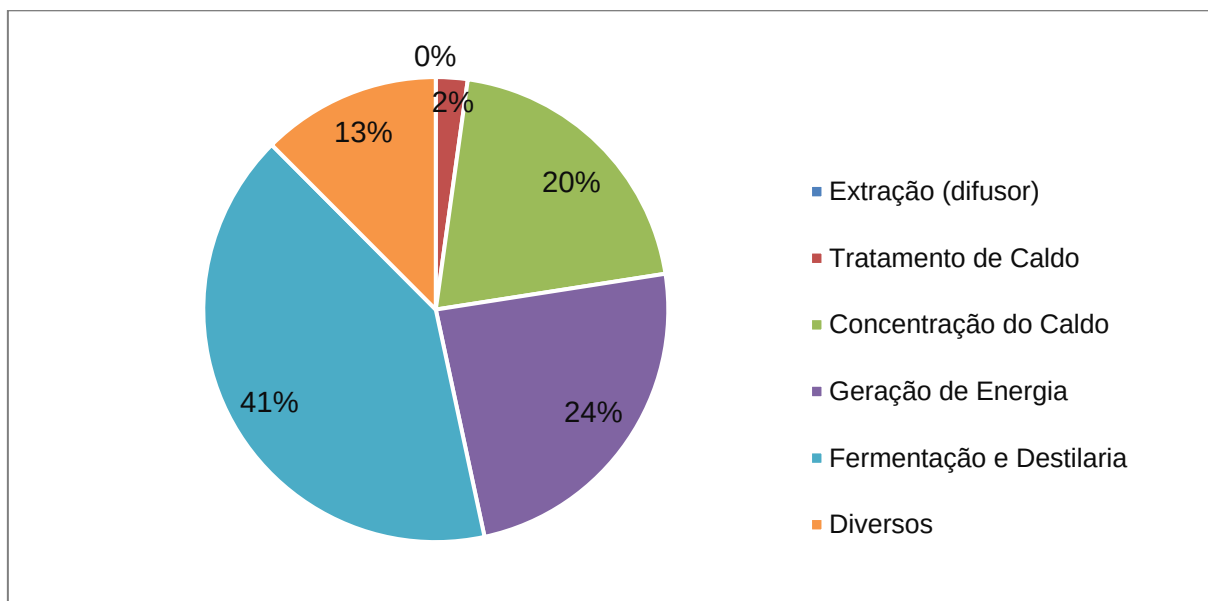
Tabela 6 - Resumo do balanço hídrico da Vale do Paraná S/A

Usos Água- Setor	Água Recirculada (m³.h ⁻¹)	Água Captada (m³.h ⁻¹)
Extração (difusor)		
Embebição	278,1	0
Tratamento de Caldo		
Preparo leite cal	0	1,5
Preparo de polímero	0	6,1
Concentração do Caldo		
Embebição do filtro lodo	0	0,1
Águas das colunas	6930	70
Geração de Energia		
Água para caldeira	162	33,1
Retenção de fuligem	300	50
Fermentação e Destilaria		
Preparo fermento	0	65
Preparo mosto	0	0
Dorna Volante	0	15
Resfriamento	5049	51
Selagem	0	10
Diversos		
Uso potável	0	0,8
Lavagem filtros ETA	0	12,2
Outros usos diversos	0	15
Lavagem de piso	0	7,5
Lavagem equipamentos automotiva	0	7,5
Total m³.h⁻¹	12.441,00	344,70

Fonte: Próprio autor.

Analisando-se o balanço hídrico (Figura 18; Tabela 6), verifica-se que a captação de água na usina corresponde a 344,7 m³.h⁻¹, sendo os maiores consumidores, em ordem decrescente de consumo, os respectivos setores: fermentação e destilaria (41%), geração de energia (24%), concentração de caldo (20%), usos diversos (13%), tratamento de caldo (2%) e extração (~ 0%) (Figura 19).

Figura 19- Distribuição do uso da água por setor no processo industrial da Vale do Paraná S/A Álcool e Açúcar



Fonte: O autor (2022).

5.2. Limpeza da cana-de-açúcar

A primeira fase de produção em uma usina sucroenergética é a etapa de limpeza da cana-de-açúcar (Figura 20). O objetivo principal dessa operação é a retirada das impurezas minerais e vegetais por meio de jatos de água antes do esmagamento da cana-de-açúcar no terno de moenda. Estudos sobre o assunto demonstraram que cerca de 10% do peso da matéria prima da cana-de-açúcar é de impurezas (FILHO, 2020). Tais impurezas, oriundas da lavoura, desgastam as máquinas e equipamentos do processo industrial. Uma matéria prima de qualidade contribui para o aumento da eficiência da indústria e da economia de recursos financeiros (BRASSOLATI, 2016). Após o processo de lavagem da cana-de-açúcar, a água utilizada apresenta grande concentração de sólidos, sendo necessário o seu tratamento para posterior reutilização. As usinas frequentemente utilizam caixas para decantação dos sólidos nessa etapa (NASCIMENTO, 2016).

Figura 20 – Lavagem de cana para processamento em usinas sucroenergéticas



Fonte: ALMEIDA (2009).

Uma outra forma de limpeza da cana-de-açúcar é a limpeza a seco. No início do processo de produção, a cana é despejada nas mesas alimentadoras. Se a matéria prima foi colhida de forma mecanizada, não é necessário à sua limpeza com água, uma vez que pode acarretar na perda do teor de sacarose/açúcar pela lavagem dos colmos, sendo preferível a utilização do sistema a seco com o uso de ar através de ventiladores/sopradores (FILHO, 2020) (Figura 21).

Figura 21 – Esquema de limpeza de cana à seco em usinas sucroenergéticas

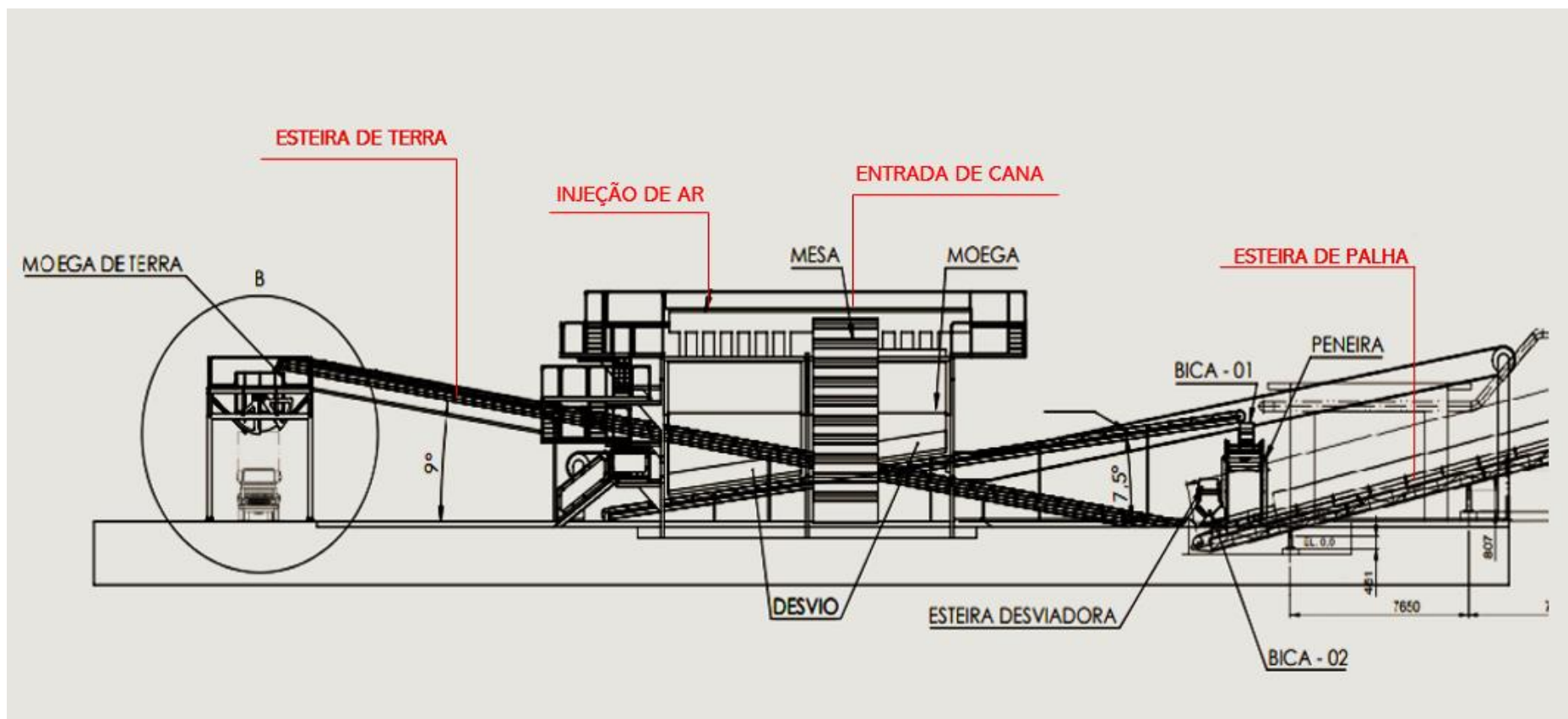


Fonte: FILHO (2020).

A usina objeto de estudo não possuía, até o ano de 2019, sistema de limpeza a seco. No passado, a unidade realizava um trabalho de conscientização dos operadores no campo para redução da quantidade de impurezas no momento da colheita, por meio de treinamentos dos operadores de colhedoras. No processo industrial, a empresa utilizava a lavagem de cana-de-açúcar para remoção das impurezas minerais e vegetais. Posteriormente, a água utilizada passava por um processo de recirculação com circuito fechado. O Sistema era composto por caixas de decantação, que permitiam a deposição do material sólido e a reutilização da água. Após a secagem das caixas de decantação, o material sólido era levado para a lavoura e incorporado ao solo em áreas de reformas dos canaviais. Atualmente, o sistema de caixas de decantação funciona apenas para a decantação dos efluentes oriundos do sistema de lavador de gases da caldeira.

Em 2019, houve o início da instalação do sistema de limpeza a seco e a realização dos primeiros testes (Figura 22). Em 2020, ocorreu a implantação e operação parcial do sistema, integrado completamente em 2021. O sistema foi projetado com uma chapa (grelha) para suportar o descarregamento da cana-de-açúcar dentro da mesa alimentadora. Em suma, em efeito cascata, a cana-de-açúcar atinge a chapa e o material sólido é separado (ação da gravidade). Na parte inferior da grelha existe um sistema de injeção de ar que retira as impurezas vegetais e minerais excedentes. Por meio de uma esteira, o material sólido e a palha são separados por uma peneira; uma esteira segue com a terra e a outra com a palha. As impurezas minerais são transportadas para a lavoura (Figura 23) e as impurezas vegetais são depositadas no pátio do bagaço para queima na caldeira.

Figura 22 – Projeto de limpeza de cana a seco na Vale do Paraná S/A Álcool e Açúcar



Fonte: Vale do Paraná (2022).

Figura 23 – Carregamento de impurezas minerais oriundas do sistema de limpeza a seco na Vale do Paraná S/A Álcool e Açúcar

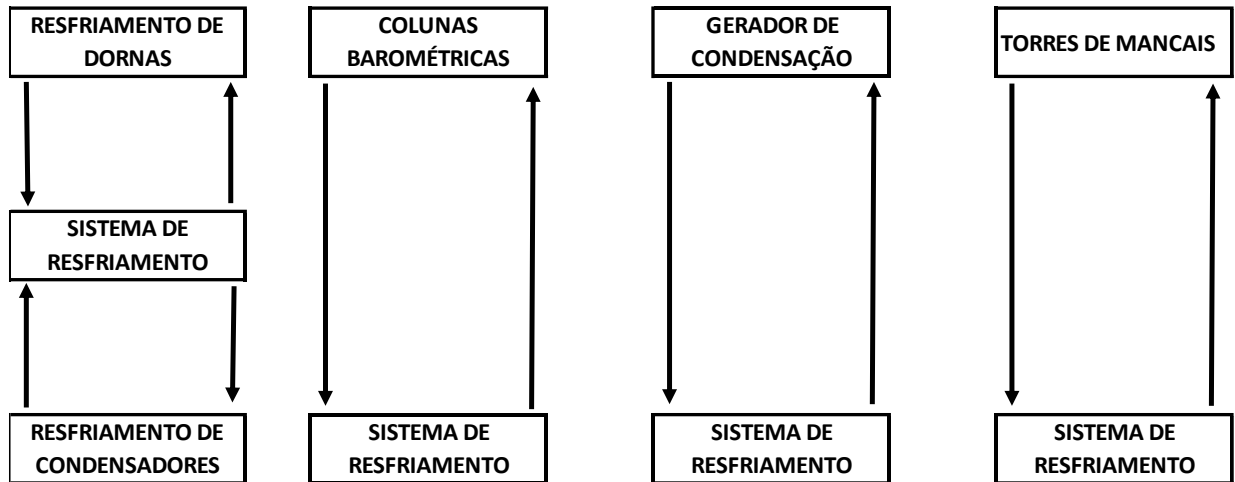


Fonte: O autor (2022).

5.3. Resfriamento e circuitos de água

Na Vale do Paraná S/A Álcool e Açúcar todos os circuitos para resfriamento são fechados com reuso (ou seja, aqueles que possuem sistema de tratamento de tal forma a adequar a água utilizada para recirculação, resultando em redução na captação). A unidade produtora é uma usina que iniciou a operação em 2006, considerada um projeto novo, com uma planta moderna e dotada de tecnologias. Nas Figura 24 e 25 são apresentados o esquema de circuitos de resfriamento fechados da usina em estudo e torres de resfriamento para destilaria, respectivamente.

Figura 24– Esquema de circuitos fechados na Vale do Paraná S/A Álcool e Açúcar



Fonte: O autor (2022).

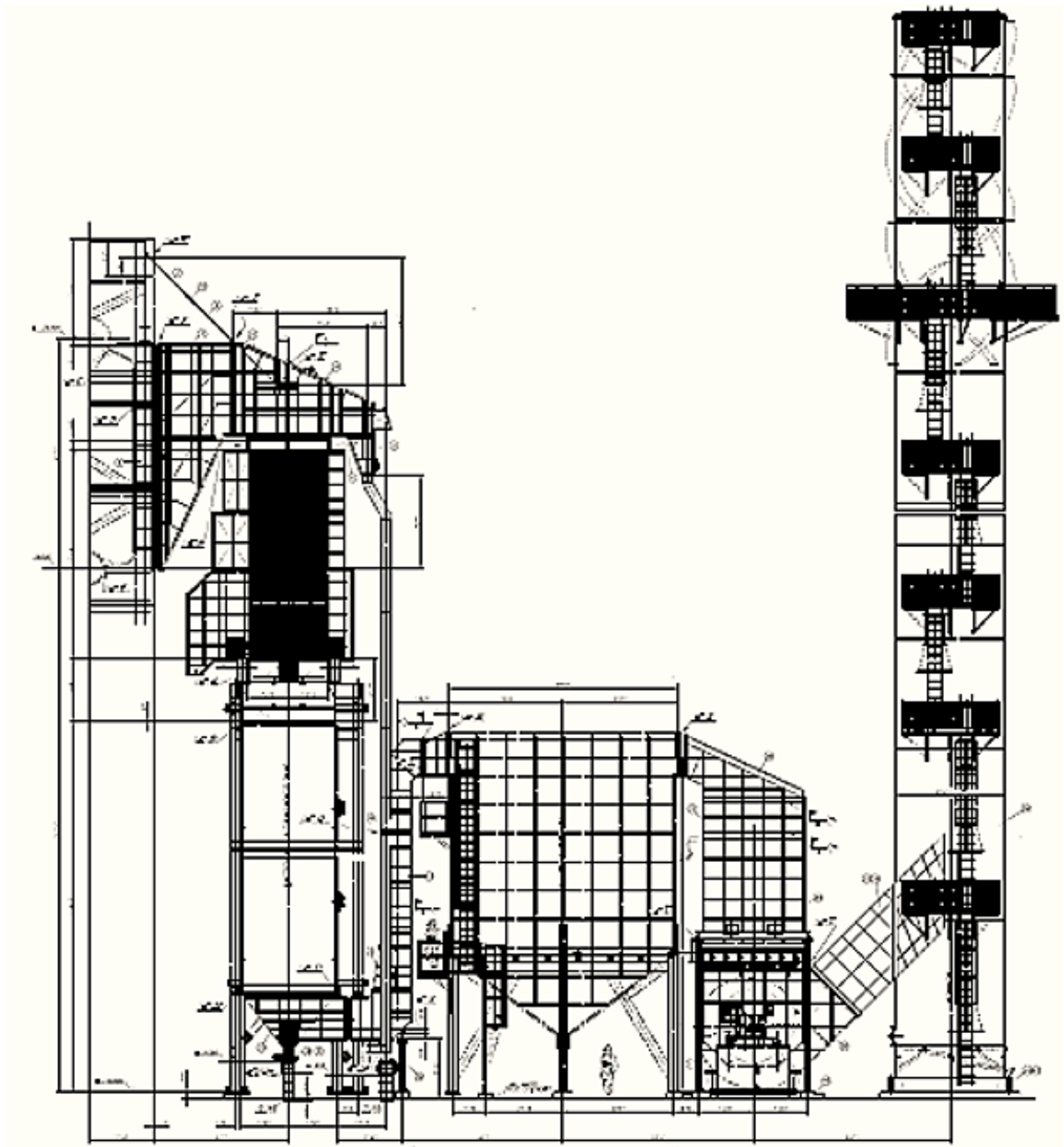
Figura 25– Torres de resfriamento de água para destilaria da Vale do Paraná S/A Álcool e Açúcar.



Fonte: O autor (2022).

Na unidade há, também, o sistema de recirculação em circuito fechado para o lavador de gases da caldeira (Figura 26), com o objetivo de retirar os materiais particulados, com água, resultantes da queima do bagaço e atender a legislação ambiental.

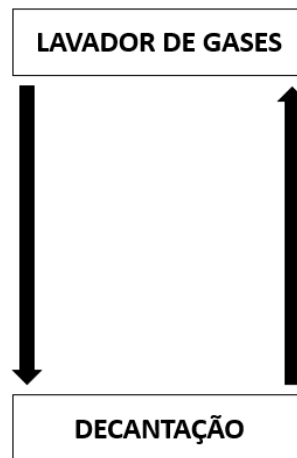
Figura 26: Esquema do lavador de gases de caldeira com circuito fechado na Vale do Paraná S/A Álcool e Açúcar.



Fonte: Vale do Paraná (2022).

Após a limpeza do sistema de lavador de gases (Figura 26), o efluente com cinzas é enviado, pela ação da gravidade, para lagoas de decantação (Figura 27). Posteriormente, a água tratada é bombeada e retorna novamente para a limpeza de novos fluxos. O material decantado é levado para a lavoura e distribuído no solo dos canaviais. Quando necessário, há reposição de água no sistema.

Figura 27– Esquema de lavador de gases em circuito fechado



Fonte: O autor (2022).

Figura 28 – Antigas caixas de decantação da água de lavagem da cana-de-açúcar, atualmente utilizadas para decantação dos efluentes do sistema de lavagem de gases da caldeira



Fonte: O autor (2022).

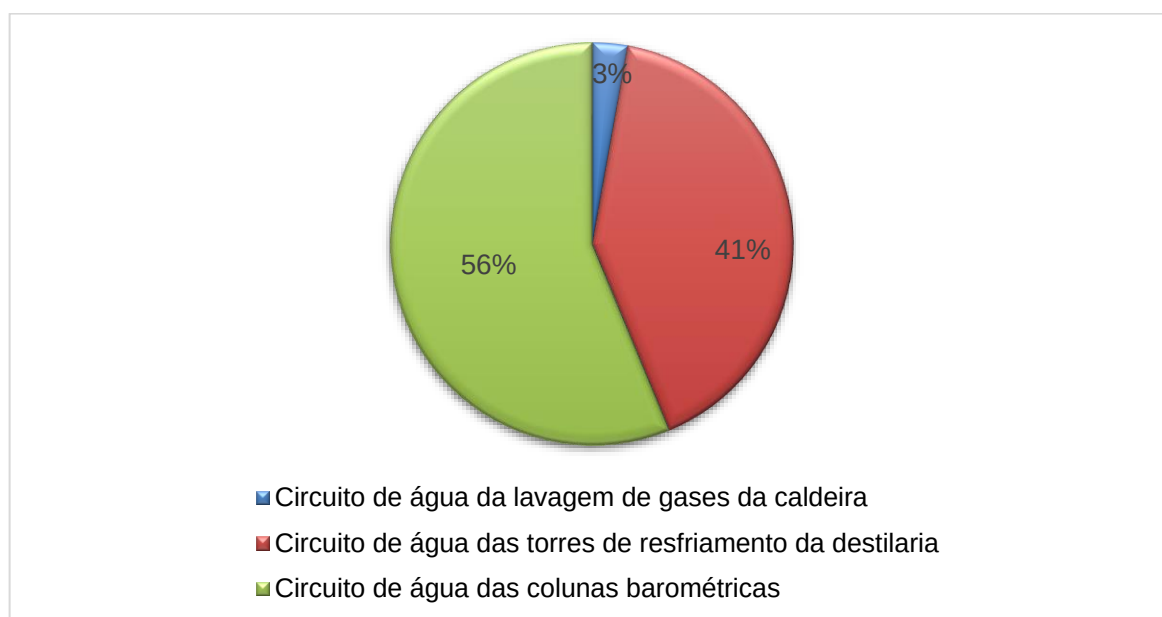
A Tabela 7 abaixo destaca os circuitos fechados de recirculação de água na usina foco do presente estudo de acordo com o balanço hídrico da unidade.

Tabela 7 – Circuitos fechados de recirculação de água na indústria de acordo com o balanço hídrico da unidade

Circuito	Vazão Recirculada ($\text{m}^3.\text{h}^{-1}$)
Água de lavagem de gases da caldeira	350
Água das torres de resfriamento da destilaria	5.100
Água das colunas barométricas	7.000
Total de água recirculada	12.450

Fonte: O autor (2022).

Figura 29 – Circuitos fechados que mais recirculam água no processo industrial da Vale do Paraná S/A Álcool e Açúcar



Fonte: O autor (2022).

5.4. Efluentes industriais

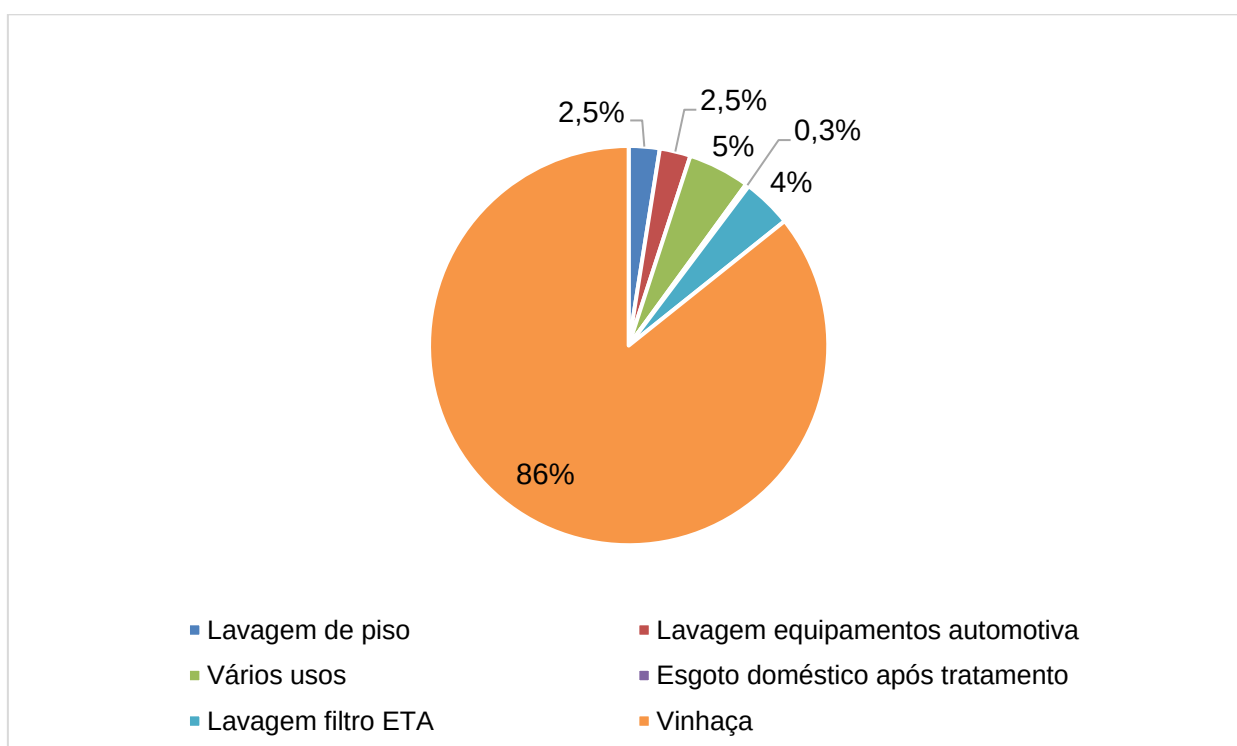
Todos os efluentes gerados no processo industrial da unidade são enviados para duas lagoas impermeabilizadas, utilizadas para o armazenamento da vinhaça e de águas residuárias. Tais produtos produzidos na própria indústria são dispostos no solo como irrigação da cultura da cana-de-açúcar. Na Tabela 8 são expostos, de acordo com o balanço hídrico da unidade, os volumes gerados no processo industrial. Conforme pode ser observado, a vinhaça possui papel de destaque, pois sua produção representa 86% do total dos efluentes gerados na usina (Figura 30).

Tabela 8 - Vazão e destino dos efluentes produzidos na planta industrial

Efluentes	Vazão (m ³ .h ⁻¹)
Lavagem de piso	7,5
Lavagem de equipamentos automotivos	7,5
Usos diversos	15
Esgoto doméstico após o tratamento	0,8
Lavagem do filtro da estação de tratamento de água	12,2
Vinhaça	256,4
Total para a lavoura	299,4

Fonte: O autor (2022).

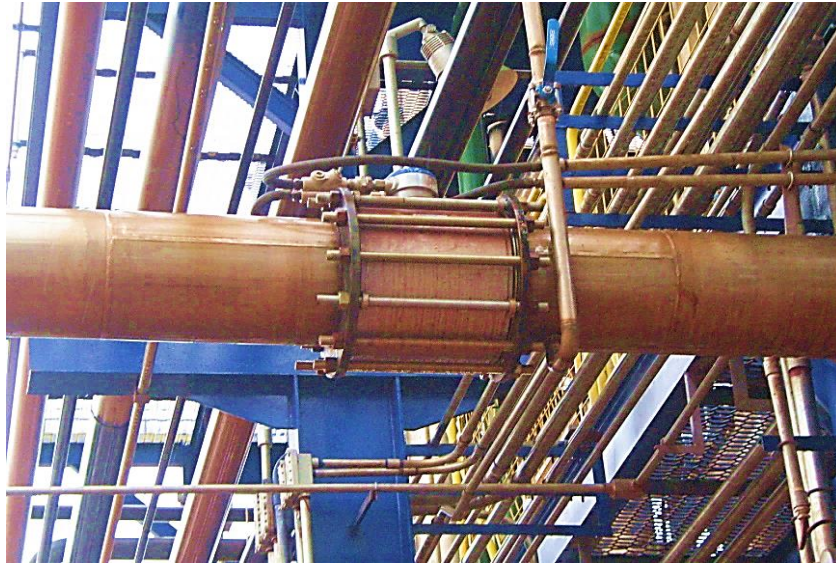
Figura 30– Porcentagem de efluentes gerados na planta industrial



Fonte: O autor (2022).

Toda a vinhaça gerada no processo industrial sai da coluna de destilação e passa por um medidor de vazão (Figura 31). Posteriormente, a vinhaça é encaminhada até as torres de resfriamento (Figura 32) por meio do processo de pressurização.

Figura 31–Medidor automático de vazão instalado na saída da coluna de destilação



Fonte: O autor (2022).

Figura 32- Torres de resfriamento de vinhaça



Fonte: O autor (2022).

Após o resfriamento, a vinhaça segue para um reservatório pulmão impermeabilizado para o seu armazenamento (Figura 33) e posterior transporte até a lavoura. Tanto a vinhaça quanto as águas residuárias são lançadas em tanques de diversas propriedades rurais da usina por caminhões (Figura 33). Todos os tanques são revestidos com manta e possuem um sistema de drenos de vista para aferição de

qualquer tipo de vazamento (Figura 34). Após serem lançadas nas lagoas, a vinhaça e as águas residuárias são bombeadas por tubulações acopladas em um sistema de autopropelidos, os quais são responsáveis pela distribuição no canavial em forma de fertirrigação (Figura 35). As áreas que recebem a vinhaça e as águas residuárias são controladas e as aplicações são executadas de acordo com o Plano de Aplicação de Vinhaça apresentado à CETESB.

Figura 33 - Tanque reservatório de vinhaça dentro do parque industrial.



Fonte: O autor (2022).

Figura 34 - Reservatório impermeabilizado na área agrícola com descarregamento de vinhaça transportada por caminhão



Fonte: O autor (2022).

Figura 35 - Aplicação de vinhaça na cultura de cana-de-açúcar com sistema de irrigação autopropelido na Fazenda Brasil (Suzanápolis, SP).



Fonte: O autor (2022).

5.5. Monitoramento da qualidade das águas superficiais no entorno da usina

A Vale do Paraná S/A Álcool e Açúcar monitora a qualidade das águas superficiais dos rios e córregos em áreas de influência das atividades agrícolas e industriais, por meio de amostragens e análises químicas em 11 pontos de coleta (Tabela 9; Figura 36), avaliando suas conformidades com a legislação ambiental.

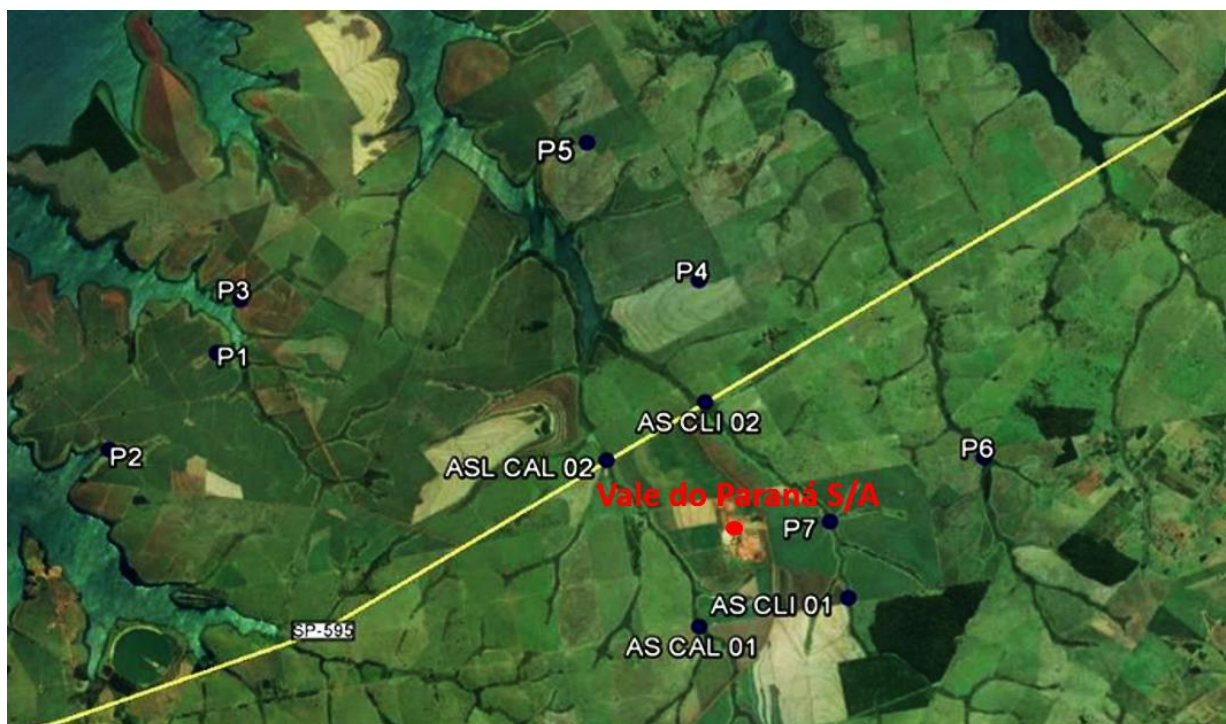
Todos os cursos de água monitorados são classificados, conforme a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 357/05, como Classe II. Os pontos amostrais no Córrego do Limoeiro e de seus afluentes estão localizados no entorno da usina e abrangem as fazendas Santa Rosa I, Santa Rosa II e Vitória, inseridas no município de Suzanópolis (SP), áreas com histórico de plantio de cana-de-açúcar e aplicação de vinhaça.

Tabela 9 – Coordenadas UTM dos pontos amostrais de águas superficiais no entorno da Vale do Paraná S/A Álcool e Açúcar

Identificação	Descrição	Localização	Coordenadas UTM	
AS CLI 01	Córrego do Limoeiro	Faz Santa Rosa I	7.744.320	498437
AS CLI 02	Afluente do Córrego do Limoeiro	Faz Santa Rosa I	7.747.512	496030
AS CAL 01	Afluente do Córrego do Limoeiro	Faz Santa Rosa I	7.743.963	496232
AS CAL 02	Afluente do Córrego do Limoeiro	Faz Santa Rosa I	7.746.566	494487
P1	Nascente	Faz. Vitória	7.748.268	488097
P2	Nascente	Faz. Vitória	7.746.739	487001
P3	Nascente	Faz. Vitória	7.749.344	488839
P4	Afluente do Córrego do Limoeiro	Faz Santa Rosa II	7.749.536	495744
P5	Afluente do Córrego do Limoeiro	Faz Santa Rosa II	7.751.685	493689
P6	Afluente do Córrego do Limoeiro	Faz Santa Rosa I	7.746.677	500539
P7	Afluente do Córrego do Limoeiro	Faz Santa Rosa I	7.745.718	497915

Fonte: O autor (2022).

Figura 36 – Localização dos pontos amostrais de águas superficiais e, com destaque em vermelho, da planta industrial



Fonte: Elaborada pelo autor com imagem do Google Earth (2021).

O trabalho de monitoramento realizado pela empresa busca criar um banco de dados para avaliar a evolução temporal da qualidade das águas superficiais nos pontos amostrais. Para tanto, são seguidas as preconizações definidas no parecer da agência ambiental da CETESB de Jales (SP), que inclui a análise e detecção de traços indicadores da presença de defensivos agrícolas, com especial atenção aos herbicidas, e atendimento dos parâmetros estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/05 - Artigo 15. A periodicidade do monitoramento é semestral. Além disso, a empresa apresenta para a CETESB um relatório técnico com a interpretação dos resultados obtidos no período de monitoramento.

5.6. Monitoramento da qualidade das águas subterrânea no entorno da usina

A unidade monitora as águas subterrâneas em duas propriedades rurais da usina, com o objetivo de avaliar as possíveis relações entre a fertirrigação do solo com vinhaça e contaminações das águas subterrâneas da área agrícola por meio de variações da qualidade da água e tendências das substâncias monitoradas. As campanhas amostrais também contemplam a mensuração do nível de água dos poços

de monitoramento para acompanhamento de aspectos hidráulicos e quantitativos das águas subterrâneas. Todo o trabalho de monitoramento realizado pela companhia visa subsidiar as ações de prevenção e controle da poluição do solo e das águas.

Para a caracterização química e avaliação da qualidade das águas subterrâneas foram instalados, em 2006, cinco poços de monitoramento a montante e a jusante da área da Fazenda Bonito (Tabela 10) e mais quatro na Fazenda Vitória (Tabela 11). Ambas as propriedades possuem histórico de plantio de cana-de-açúcar. As fazendas Vitória e Bonito estão localizadas nos municípios de Suzanópolis (SP) (488.379 Km E / 7.746.917 KM N; Zona 22 S WGS – 84) e Ilha Solteira (SP) (476,823 Km E / 7.748,300 Km N; Zona 22 S, WGS – 84), as margens da rodovia SP 595 (Figura 37). As análises de qualidade da água realizadas contemplam os parâmetros analíticos citados no Item 11 do Anexo I da Decisão de Diretoria 132/2018/E/C, de 11 de julho de 2018, que regulamenta os critérios técnicos para o plano de monitoramento das águas subterrâneas – Subitem 5.10. da Norma P4.231 “Vinhaça - Critérios e Procedimentos para Aplicação no Solo Agrícola”, além de parâmetros adicionais definidos pela CETESB.

Tabela 10 - Coordenadas geográficas dos poços de monitoramento da Fazenda Bonito

Poço de monitoramento Fazenda Bonito	Localização	Coordenadas geográficas		Cota (m)
		N	E	
PM-01 (montante)	Fazenda Bonito	476624,832	7748468,87	382,26
PM-02 (jusante)	Fazenda Bonito	477221,742	7747919,18	367,15
PM-03 (jusante)	Fazenda Bonito	476959,81	7747702,75	350,98
PM-04 (jusante)	Fazenda Bonito	476545,307	7747795,37	369,08
PM-05 (jusante)	Fazenda Bonito	476858,353	7747968,4	359,98

Fonte: O autor (2022).

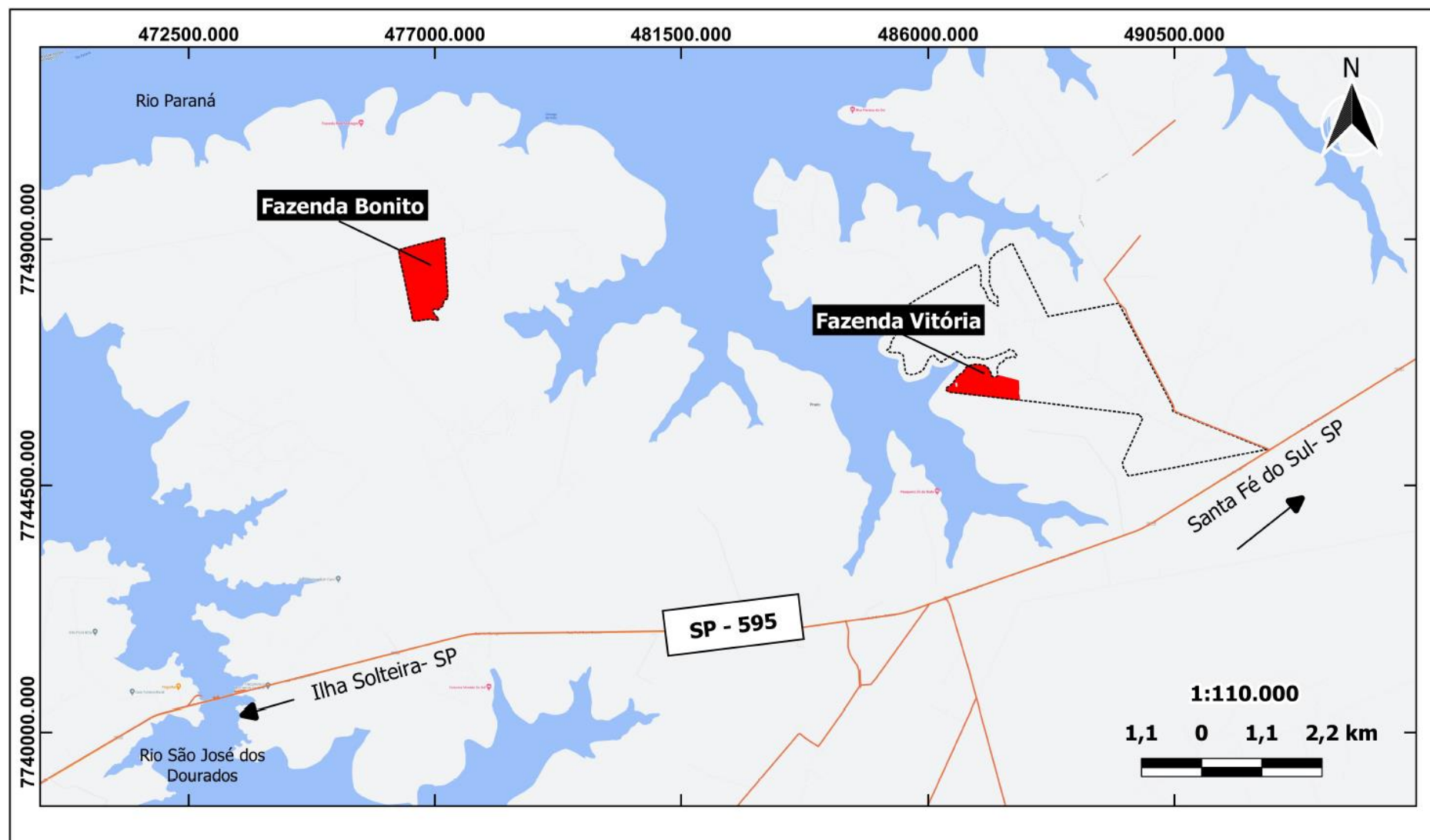
Tabela 11 – Coordenadas geográficas dos poços de Monitoramento da Fazenda Vitória.

Poço de monitoramento Fazenda Vitória	Localização	Coordenadas geográficas		Cota (m)
		N	E	
PM-06	Fazenda Vitória	486891,185	7746156,71	355,2
PM-07	Fazenda Vitória	486841,193	7746473,99	348,48
PM-08	Fazenda Vitória	486470,542	7746404	333,34
PM-09	Fazenda Vitória	486864,266	7746722,27	334,56

Fonte: O autor (2022).

Assim como para as águas superficiais, a unidade realiza o monitoramento semestral das águas subterrâneas e apresenta para a CETESB relatórios técnicos com as interpretações dos resultados analíticos obtidos no período do monitoramento.

Figura 37- Localização das fazendas com pontos de amostragem de águas subterrâneas



Fonte: Vale do Paraná.

5.7. Reflexos sustentáveis da redução do uso de água na indústria

No passado, as empresas do setor sucroenergético foram marcadas por negatividades em razão dos seus processos agroindustriais. Recentemente, o setor tem evidenciado um comprometimento e alinhamento ao desenvolvimento sustentável em sua cadeia produtiva, o que demonstra um forte alicerce frente aos indicadores de sustentabilidade, ferramentas com papéis importantes para o desenvolvimento econômico e socioambientais das companhias. Os indicadores de sustentabilidade promovem o desenvolvimento, o fortalecimento e a melhora da imagem corporativa frente à sociedade (MOREIRA, 2020). Além disso, são instrumentos que podem elucidar os pontos frágeis das companhias e auxiliar na promoção de tomadas de decisões mais assertivas vinculadas ao planejamento e desenvolvimento dos aspectos negativos das organizações (PEREIRA, 2021). O setor sucroenergético tem buscado implantar processos limpos e eco-inovadores nas companhias. Nos últimos anos, por exemplo, tem-se observado, nas usinas sucroenergéticas brasileiras, um crescimento na adoção e implementação de tecnologias voltadas à redução de gás carbono (CO₂), à preservação da biodiversidade, a condições seguras de trabalhos e à redução de materiais, energia e água (SANTOS, 2015). No mais, as inovações das plantas industriais são fatores importantes para evolução no mundo globalizado (novas tecnologias podem garantir a permanência das empresas no mercado competitivo) (TREVIZOLI, 2015).

A indústria da cana-de-açúcar é reconhecida por processos que agregam valores aos materiais. No setor, as tecnologias possuem grande importância na cadeia de produção, pois são essenciais para o aumento da competitividade e produtividade das empresas. Uma ferramenta amplamente utilizada é a automação industrial, que permite o controle de todos os processos, aumentando a eficiência industrial, a agilidade na manutenção de equipamentos e diminuindo as perdas. As tecnologias contribuem também para o monitoramento do uso da água que são, frequentemente, utilizadas com abundância nos processos de produção (MARINHO, 2020). Em detrimento dos processos supracitados, o consumo de água no processamento da cana-de-açúcar vem diminuindo com o passar dos anos, corroborando para que a cultura tenha o potencial de ser geradora de água, o que diminui a pressão da demanda por tal recurso.

A cobrança pelo uso dos recursos hídricos é uma ferramenta utilizada para aumentar a conscientização dos usuários frente ao recurso natural escasso. É, também, uma fonte de captação de recursos financeiros para custear projetos vinculados à preservação das bacias hidrográficas, definida pelos comitês de bacias hidrográficas que estabelecem os valores e instrumentos de cobrança e destinam os recursos captados (SANTOS et al., 2019). Para Basso (2018), a cobrança é de extrema importância para o gerenciamento e manutenção dos recursos hídricos, é o fator inicial para a regulação e disciplina dos usos. Ademais, é necessária uma gestão de toda a cadeia hídrica, pois o recurso não é um bem privado. Há, portanto, necessidade de uma gestão eficiente para a garantia da qualidade e quantidade da água para todos os seres humanos. O pagamento deve ser feito por todos os usuários de captações subterrâneas e superficiais e todos consumidores que usam e lançam efluentes em corpos hídricos. Por fim, entende-se que a cobrança aumenta o aproveitamento e evita o desperdício, diminuindo o impacto ambiental e contribuindo para a preservação do corpo hídrico.

A unidade Vale do Paraná S/A Álcool e Açúcar, usuário pagante, iniciou o pagamento pelo uso dos recursos hídricos em 2020, com os valores sendo cobrados em 2021. A cobrança foi estabelecida pelo decreto Estadual nº 64.305, de 28 de junho de 2019, que aprovou e fixou os valores pelo uso dos recursos hídricos de domínio do Estado de São Paulo, dos usuários urbanos e das industriais na UGRHI São José dos Dourados. No decreto ficaram isentos de cobrança os usos de água de derivações ou captações superficiais e extrações subterrâneas com vazão igual ou inferior a 5 m³.d⁻¹.

Basicamente, o cálculo de cobrança é realizado pela soma das parcelas decorrentes da multiplicação dos volumes de captação, derivação ou extração, de consumo e das cargas de poluentes lançadas no corpo hídrico. Na Tabela 12 são apresentados os custos referentes ao consumo de água das captações subterrâneas da unidade, de acordo com os dados das outorgas, e os valores do primeiro, segundo e terceiro ano fiscal.

Tabela 12 - Pagamento pelo uso dos recursos hídricos na unidade nos anos de 2021, 2022 e 2023

Poço	Volume m ³ .dia ⁻¹	Volume anual m ³	Valor 2021 40 % de desconto	Valor 2022 25% de desconto	Valor Integral a partir de 2023
1	1337,04	481334,4	R\$ 8.664,02	R\$ 10.830,02	R\$ 14.440,03
2	1800,00	648000	R\$ 11.664,00	R\$ 14.580,00	R\$ 19.440,00
3	1803,96	649425,6	R\$ 11.689,66	R\$ 14.612,08	R\$ 19.482,77
4	1082,34	389642,4	R\$ 7.013,56	R\$ 8.766,95	R\$ 11.689,27
5	847,98	305272,8	R\$ 5.494,91	R\$ 6.868,64	R\$ 9.158,18
6	468,00	168480	R\$ 3.032,64	R\$ 3.790,80	R\$ 5.054,40
7	700,00	252000	R\$ 4.536,00	R\$ 5.670,00	R\$ 7.560,00
8	190,00	68400	R\$ 1.231,20	R\$ 1.539,00	R\$ 2.052,00
Total	8.229,32	2.962.555,20	R\$ 53.325,99	R\$ 66.657,49	R\$ 88.876,66

Fonte: O autor (2022).

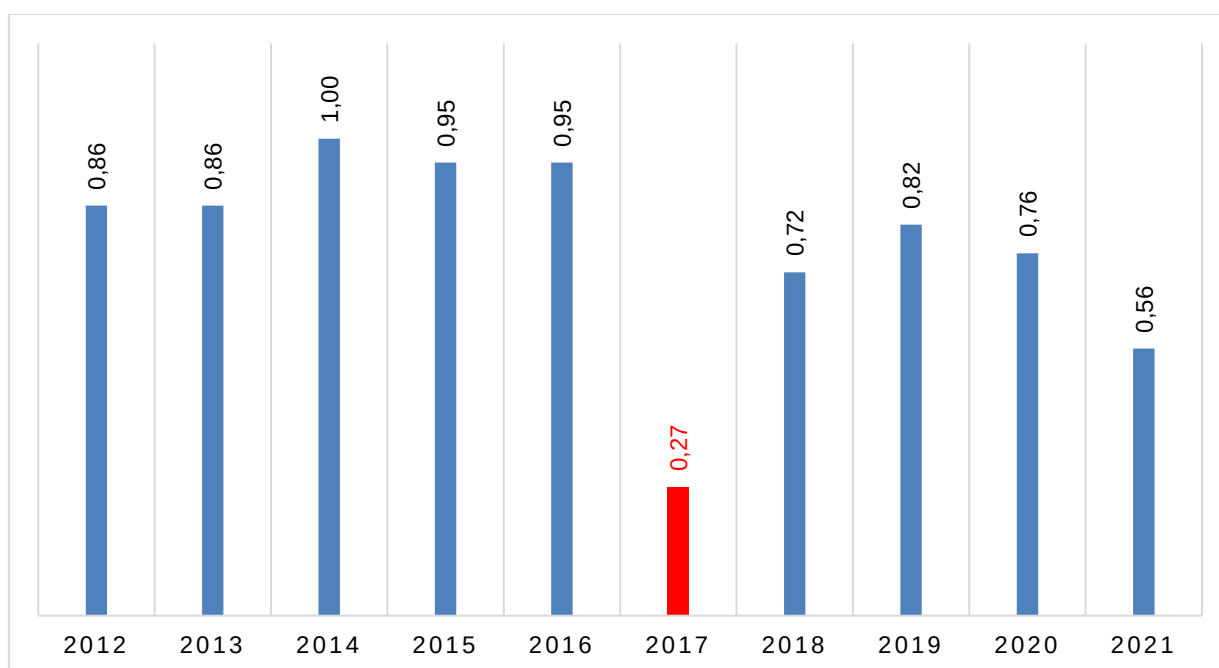
Em referência à captação superficial, na atualidade, não foi estabelecido, ainda, a cobrança pelo uso dos recursos hídricos.

Diante do quadro apresentado até o momento, observa-se que o setor sucroenergético, em específico a Vale do Paraná S/A Álcool e Açúcar, tem aderido uma produção mais sustentável nos últimos anos. Em destaque, pode-se citar a lavagem de cana a seco (item 5.2), a utilização de circuitos fechados (item 5.3), o reuso da água (item 5.4) e a adesão de soluções tecnológicas que visam a redução do consumo dos recursos hídricos em sua planta produtora. Resumidamente, a modificação do sistema de lavagem de cana-de-açúcar, entre os anos de 2019 e 2020, contribuiu significativamente para a gestão integrada dos recursos hídricos na unidade. Foram realizadas modificações no sistema de limpeza da cana, conforme mencionado anteriormente, por meio da substituição da lavagem com água pela limpeza a seco. Outro fator relevante observado no presente estudo foi a identificação de que a planta funciona 100% com circuitos fechados. A unidade em estudo possui, ainda, sistema de medição da vazão automatizado, composto por medidores de vazão que registram a entrada de água no processo industrial. As informações de consumo hídrico são armazenadas nos bancos de dados da empresa e as informações são disponibilizadas em formato de boletim técnico industrial, uma ótima ferramenta de gestão que permite a verificação e tomada de decisões quanto à gestão hídrica da unidade.

5.8. Consumo hídrico na unidade estudada

De modo geral, as indústrias da cana-de-açúcar têm reduzido o consumo de água nos últimos anos em razão, entre outros aspectos, dos fatores apresentados nos tópicos anteriores (TORQUATO, 2019). O consumo de água na unidade, nos últimos 10 anos, foi obtido por meio de boletins técnicos que registram as informações de insumos e produtos da cadeia de produção (Figura 38).

Figura 38 – Resultado do consumo de água em m³ por tonelada de cana-de-açúcar processada na última década na Vale do Paraná S/A Álcool e Açúcar



Fonte: O autor (2022).

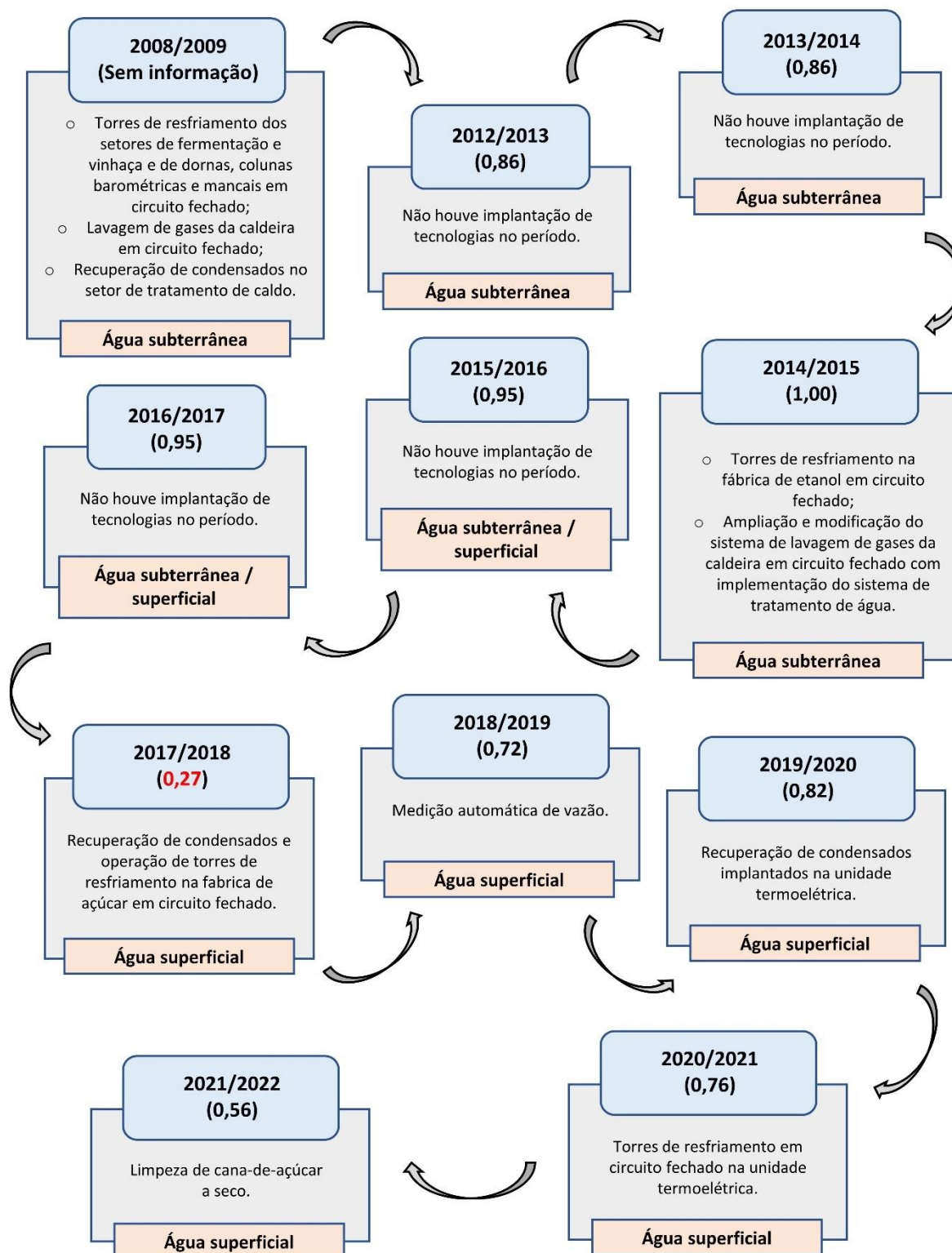
Na última década, a unidade teve um consumo anual que não ultrapassou 1 m³ de água por tonelada de cana-de-açúcar processada, considerado baixo quando comparado com outros dados disponibilizados na literatura (TORQUATO, 2019), relatados na revisão bibliográfica do presente trabalho. Ressalta-se que no período de 2012 à 2016, as informações apresentadas na Figura 38 não foram extraídas de sistemas de medição automáticos de vazão, mas sim de médias obtidas por meio do balanço hídrico da unidade. Os dados, no período, eram coletados e armazenados no setor de laboratório industrial junto com os dados de produção da unidade. Por sua vez, no ano de 2016, a unidade recebeu a exigência da CETESB para instalação de

medidores registradores/totalizadores automáticos de vazões na captação de água da unidade, atendida em 2017 com a implantação do sistema. No entanto, na safra de 2017, os dados registrados não apresentaram número confiável, chegando em um consumo consolidado de 0,27 m³ de água por tonelada de cana-de-açúcar (Figura 38). Nesse período o sistema estava em fase de implantação e, segundo informações obtidas da área técnica, apresentou falhas, não contabilizando a medição de toda a água que entrou na planta industrial. Houve, então, a necessidade de paradas constantes para manutenções e correções no sistema no decorrer do ano.

A partir de 2018, o sistema passou a operar sem apresentação de problemas técnicos. Os consumos no final das safras de 2018, 2019, 2020 e 2021 foram de 0,72, 0,82, 0,76 e 0,56 m³ de água por tonelada de cana-de-açúcar. Uma cronologia das tecnologias implantadas na usina entre as safras de 2008/2009 e 2021/2022, assim como o consumo de água em m³ por tonelada de cana-de-açúcar, está apresentada na Figura 39, para melhor visualização e interpretação dos resultados obtidos. Salienta-se que a safra 2008/2009 correspondeu ao primeiro ano de operação da usina em estudo, o que reflete na maior quantidade de tecnologias implantadas em comparação às safras posteriores. Por fim, a redução observada no consumo de água entre os anos de 2012 e 2021 foi de 34,88%.

Salienta-se que com o estabelecimento da Resolução SMA 88, de dezembro de 2008, que dispõe sobre os limites do uso dos recursos hídricos para o setor sucroenergético, a Vale do Paraná S/A Álcool e Açúcar (obtentora do Protocolo Agroambiental) tem o prazo limite até 2024 para se adequar à captação de 0,7 m³ de água por tonelada de cana-de-açúcar processada, por estar em área classificada como adequada com restrições ambientais. Porém, já na safra de 2021, a empresa ficou abaixo do limite estabelecido pela resolução e apresentou uma captação de 0,56 m³ de água por tonelada de cana-de-açúcar processada, o que representa estar 20% abaixo do que rege a legislação para o ano de 2024.

Figura 39 – Cronologia das tecnologias implantadas na Vale do Paraná S/A Álcool e Açúcar entre as safras de 2008/2009 e 2021/2022, assim como o consumo de água, em m³ por tonelada de cana-de-açúcar, e a(s) fonte(s) de captação



Fonte: O autor (2022).

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou o consumo de água de uma usina sucroenergética do noroeste paulista nos últimos 10 anos. A planta industrial em estudo exibiu redução de 34,88% no consumo de água na última década (2012: 0,86 m³ de água por tonelada de cana-de-açúcar; 2021: 0,56 m³ de água por tonelada de cana-de-açúcar). Ressalta-se que os dados registrados para o ano 2017 não apresentaram número confiável, pois o sistema estava em fase inicial de operação. Ademais, cada tecnologia empregada em cada etapa do processo de produção na empresa, assim como a sua evolução ao longo do tempo, foi exposta por meio de uma linha do tempo, permitindo confrontar os dados de consumo com as melhorias no processo industrial. Com base nos resultados obtidos, foi possível observar que muitos processos contribuíram para a redução expressiva do consumo de água encontrada (34,88%), a saber: lavagem de cana-de-açúcar a seco, utilização de circuitos fechados, recuperação de condensados, reuso da água e implantação do sistema de medição de água.

Por mais que essa pesquisa tenha apresentado dados significativos para os gestores de usinas sucroenergéticas e ambientais, além de inúmeras outras classes de profissionais interessados no assunto, estudos futuros são sugestionados. Algumas recomendações são apresentadas abaixo:

- Continuar o monitoramento do consumo de água na Vale do Paraná S/A Álcool e Açúcar para obtenção de um banco de dados e auxiliar na compreensão da evolução do processo avaliado;
- Comparar os resultados obtidos na Vale do Paraná S/A Álcool e Açúcar com outras usinas sucroenergéticas do estado de São Paulo e de outros estados brasileiros;
- Propor tecnologias que possam reduzir o consumo de água por tonelada de cana-de-açúcar em empreendimentos brasileiros, com base em experiências internacionais, por meio de um levantamento bibliográfico;
- Elucidar características quali-quantitativas dos efluentes industriais gerados e correlacionar com os possíveis impactos ambientais.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J C. **Controle microbiológico nas águas de resfriamento industrial**. 92 f. Dissertação (Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2009.
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA. **Práticas Industriais que Garantem a Sustentabilidade**. 2019. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/noticias-antigas/praticas-industriais-que-garantem.2019-03-15.0513557584>. Acesso em: 17 maio 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA. **Resolução 893**. 2014. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2014/893-2014.pdf>. Acesso em: 17 maio 2021.
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA. **Manual de Conservação e Reúso da Água na Agroindústria Sucroenergética**. Centro de Tecnologia Canavieira/ Agência Nacional das Águas/ Federação de Indústrias do Estado de São Paulo. Brasília, DF, 2009. 288 p. II.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS - ANP. Central de Sistemas ANP, Sistema Simp Web- Cadastro de produtor de etanol. 2020. Disponível em: <http://app.anp.gov.br/anp-cpl-web/public/etanol/consulta-produtores/consulta.xhtml>. Acesso em: 14 jun. 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **RenovaBio**. 2020 Disponível em: Disponível em: <http://www.anp.gov.br/producao-de-biocombustiveis/renovabio>. Acesso em: 14 jun. 2020.
- BACCARIN, J. G. Efeitos ambientais, sociais e econômicos de mudanças tecnológicas recentes na cana-de-açúcar no estado de São Paulo, Brasil. **Revista Pegada**, Presidente Prudente, v. 20, n. 1, p. 141-173, 2019.
- BASSO, S. L. **Governança da gestão dos recursos hídricos, através das UGRHI, no Estado de São Paulo**. 2018. 101 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Estadual Paulista, Sorocaba, 2018.
- BONASSA, G. SHCNEIDER, L. T.; FRIGO, K. D. A.; FEIDEN, A.; TELEKEN, J. G.; FRIGO, E. P. Subprodutos Gerados na Produção de Bioetanol: Bagaço, Torta de Filtro, Água de Lavagem e Palhagem. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, Cascavel, v. 4, n.1, p.144-166, 2015.
- BORDONAL, R. D. O.; CARVALHO, J. L. N.; Lal, R. Sustainability of sugarcane production in Brazil. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, Paris, v. 38, n. 13, p.1-8, 2018.
- BRASSOLATI, T. F. Z.; VIEIRA, R. C.; COSTA, M. A. B.; BRASSOLATI, M. Análise do Percentual de Impurezas Vegetais e Minerais Presentes na Cana-de-Açúcar. **Revista Interdisciplinar de Tecnologias e Educação**, [s. l.], v. 1., n. 1, p. 1-10, 2016.

CALDARELLI, Carlos Eduardo; GILIO, Leandro. Expansion of the sugarcane industry and its effects on land use in São Paulo: Analysis from 2000 through 2015. **Land Use Policy**, Guildford, v. 76, p. 264-274, 2018.

CAMPITELLI, L. L.; SANTOS, R. M.; LAZAROVITS, G.; RIGOBELLO, E. C. The impact of applications of sugar cane filter cake and vinasse on soil fertility factors in fields having four different crop rotations practices in Brazil. **Cientifica**, [s. l.], v. 46, n. 1, p. 42-48, 2017.

CARMO, C. R. S.; RABI, J. A.; CANEPELLE, F. L. Cogeração de energia e recolhimento do palhço de cana-de-açúcar: processos e viabilidade. **Contabilometria**, v.7, n.2, p.107-122, 2020.

CARNEIRO, L. F.; OLIVEIRA, R. A.; WEBER, H.; DAROS, E.; BERTON, G. S.; RODRIGUES, F. V. Alternative sugarcane production for conservation of sandy soils: sugarcane straw, intercropping and nitrogen. **Ciência e Tecnologia**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 1, p. 1-9, 2020.

CAVALETT, O.; JUNQUEIRA, T. L.; DIAS, M. O. S.; JESUS, C. D. F.; MANTELLATO, P. E.; CINHA, M. P.; FRANCO, H. C. J.; CARDOSE, T. F.; MACIEL-FILHO, R.; ROSELL, C. E. V.; BONONI, A. Environmental and economic assessment of sugarcane first generation biorefineries in Brazil. **Clean Technologies and Environmental Policy**, Heidelberg, v. 14, n. 1, p. 399-410, 2012.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Decisão de diretoria Nº 045/2015/C, de 12 de fevereiro de 2015**. São Paulo, 2015. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2014/12/DD-045-2015-C.pdf>. Acesso em: 17 maio 2020.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Resolução no 357, de 17 de março de 2005**. São Paulo, 2005. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/res-357-17032005.pdf>. Acesso em: 17 maio 2020.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**. São Paulo, 2011. Disponível em: http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res11/propresol_lanceflue_30e31mar11.pdf. Acesso em: 17 maio 2020.

CRUZ, I. S.; ANDRADE, I. C. B.; SOUZA, R. R.; FACCIOLI, G. G. Efluentes da indústria canavieira do estado de Sergipe. **Interfaces Científicas: Exatas e Tecnológicas**, [s. l.], v. 2, p. 27-36, 2016.

DAL-BEM, A. J.; KOIKE, G. H. A.; PASSARINI, L. C. Modelagem e simulação para o processo industrial de fabricação de açúcar e álcool. **Minerva**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 33-46, 2003.

MATOS, Mario; SANTOS, Fernando; EICHLER, Paulo. Sugarcane world scenario. In: **Sugarcane biorefinery, technology and perspectives**. [S. l.]: Academic Press, 2020. p. 1-19.

DIAS, F. L. F.; MAZZA, J. A.; MATSUOKA, S.; PERECIN, D.; MAULE, R. F. Produtividade da cana-de-açúcar em relação a clima e solos da região noroeste do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 1, p. 627-634, 1999.

DONATO, G. F.; TARGA, M. S.; ALMEIDA, A. A. S. Otimização do uso de recursos hídricos em uma usina de produção de etanol. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, v. 14, n.1, p. 1-14, 2021.

SILVA, Daniella Fartes dos Santos; BOMTEMPO, José Vitor; ALVES, Flávia Chaves. Innovation opportunities in the Brazilian sugar-energy sector. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 218, p. 871-879, 2019.

FERREIRA, B. S.; SANTOS, D. F. L.; THOMAZ, A. G. B. REBELATO, M. G. Eco inovação em uma agroindústria sucroenergética: a Implantação do projeto de águas residuais zero. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, São Paulo, v. 7, n. 1 p.131-145, 2018.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – FIESP. **Manual de Conservação e Reuso da Água na Agroindústria Sucroenergética**. 2009. Disponível em: <https://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/manual-de-conservacao-e-reuso-de-agua-na-agroindustria-sucroenergetica/>. Acesso em: 10 jun. 2020.

FILHO, M. G.; DELBONI, C.; SILVA, R. G.; CAMPOS, F. C. Viabilidade econômica da limpeza a seco da cana-de-açúcar. **Brazilian Journal of Production Engineering**, Heidelberg, v.1, n.1, p. 25-40, 2020.

FITO, J., et al. Evaluation of water footprint in sugar industries and bioethanol distilleries in two different water basins toward water sustainability. **International Journal of Environmental Science and Technology**, Tehran, p. 1-14, 2022.

FREITAS, A. H. L.; FREITAS, J. B.; SILVA, L. H. D. Importância do uso consciente da água nos processos produtivos da agroindústria sucroalcooleira. *Revista Eletrônica Organização. Sociedade*, [s. l.], v. 8, n. 9, p. 37-55, 2019.

FUKASAWA, B. N. **Proposta de modelos de suporte à decisão no planejamento de reuso da água**. 185 f.2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, USP, São Paulo, 2021.

FURTADO, A. T.; SCANDIFFILO, M. I. G.; CORTEZ, L A. B. The Brazilian sugarcane innovation system. **Energy Policy**, Guildford, v. 39, n. 1, p. 156-166, 2011.

GOES, T.; MARRA, R.; SILVA, G. S. Setor sucroalcooleiro no Brasil Situação atual e perspectivas. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, DF, v.1, n.1, p. 39-51, 2008.

GONÇALES-FILHO, M.; BARROS, M. J.; CAMPOS, F. C. Sustentabilidade no Processo de Recepção da Cana de Açúcar em Usina Sucroalcooleira. **Cleaner Production Towards a Sustainable Transition**, [s. l.], v. 1, n.1, p.1-10, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS - IBGE. **Sistema IBGE de Recuperação Automática- SIDRA**. Brasília, DF, 2019. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1618#resultado>. Acesso em: 17 maio 2020.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. **Plano de Bacia da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Rio São José dos Dourados - UGRHI 18**. Brasília, DF, 2008. Disponível em: http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/7068/sjd_-plano-de-bacia.pdf. Acesso em: 17 maio 2021.

KARP, S. G. *et al.* Bioeconomy and biofuels: the case of sugarcane ethanol in Brazil. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, Oxford, v. 15, n. 3, p. 899-912, 2021.

KOLHE, A. S., *et al.* Study of effluent from sugar and sugar cane industry. **Sodh, Samiksha aur Mulyankan (International Research Journal)**, [s. l.], p. 303-306, 2008.

LEONE, A. A. M. **Proposição de reuso da água residuária de uma usina sucroalcooleira situada no interior de São Paulo**. 2018. 175 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – Universidade de Ribeirão Preto, UNAERP, Ribeirão Preto, 2018.

LOPES, M. L.; PAULILLO, S. C. L.; GODOY, A.; CHERUBIN, R. A.; LORENZI, M. S.; GIOMETTI, F. H. C.; BERNARDINO, C. D.; AMORIM-NETO, H. B.; AMORIM, H. V. Ethanol production in Brazil: a bridge between science and industry. **Brazilian Journal of Microbiology**, Rio de Janeiro, v. 47, n.1, p. 64-76, 2016.

MARCONDES, L. A.; BUENO, S. M. Processo de Lavagem de Cana a seco de cana-de-açúcar. **Revista Científica**, [s. l.], v. 1, n. 1, 2019.

MARINHO, C. A. **Modelo de avaliação do nível de maturidade das tecnologias da indústria 4.0 aplicado ao setor sucroenergético**. 2020. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2020.

MEDEIROS, G. A.; CARVALHO-JÚNIOR, O. O.; VACCARI, G. B. Potencialidades do reuso da água: estudos de caso no setor sucroalcooleiro e universitário. **Engenharia Ambiental**, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 03-16, 2012.

MENDONZA, L. R. **Fusões e aquisições no setor sucroalcooleiro: análise de estudo de eventos para o caso brasileiro**. 2019. 48 f. Dissertação (Mestrado em Economia e Finanças) – Fundação Getúlio Vargas, [s. l.], 2019.

MORAES, A. F. D.M.; OLIVEIRA, R. C.; CHAVEZ, R. A. D. Socio-economic impacts of Brazilian sugar cane industry. **Environmental Development**, v. 16, n.1, p. 31-43. 2015.

MOREIRA, J. R. Water Use and Impacts Due Ethanol Production in Brazil. Institute of Electrotechnology and Energy – **CENBIO/IEE**. 2007. Disponível em: <> Acesso em: 01 set. 2020.

MOREIRA, J. R. **Water Use and Impacts Due Ethanol Production in Brazil**. 2011. Disponível em: <http://www.xitizap.com/etanol-moreira.pdf>. Acesso em: 17 maio 2020.

NASCIMENTO, C. A.; NAIME, R. Panorama do uso, distribuição e contaminação das águas superficiais no Arroio Pampa na bacia do Rio dos Sinos. **Estudos Tecnológicos**, São Leopoldo, v. 5, n. 1, p. 101-120, 2009.

NASCIMENTO, N. H. A.; COELHO, M. G.; JÚNIOR, N. M. R.; PANTONI, R. P. Reaproveitamento da água utilizada na lavagem de cana de açúcar aliado ao separador sólido-líquido para remoção de particulados aplicado a indústria sucroalcooleira. **Revista Brasileira de Energia Renováveis**, [s. l.], v.1, n.2, p.1-8, 2016.

PACHECO, J. M.; HOFF, D. N. Fechamento de Ciclo de Matéria e Energia no Setor Sucroalcooleiro. **Sustentabilidade em Debate**, [s. l.], v. 4, n. 2, p. 215-236, 2013.

PEREIRA, B. A. **Agroindústria canavieira: uma Análise Sobre o Uso da Água na Produção Sucroalcooleira**. 2009. 205 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) – Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2009.

PEREIRA, A. L. **Dinâmicas de Desenvolvimento nos Municípios Paranaenses com Agroindústria Sucroenergética Instalada: uma Abordagem Multidimensional**. 2021. 186 f. Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2021.

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**. 2005. 181 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Econômico) – Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

PROTOCOLO AGROAMBIENTAL ETANOL MAIS VERDE. Primeiros resultados safra 2018/2019. 2019. Disponível em: https://smastr16.blob.core.windows.net/etanolver-de/2020/01/etanol-verde-relatorio-safra-18_19-site.pdf. Acesso em: 30 jul. 2020.

RIBEIRO, F. M. G. **Usos da água na indústria sucroalcooleira: estudo de caso**. 2011. 185 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, Campinas, 2011.

RIBEIRO, L. R.; NOGARINI, E. C. M.; AMERICO-PINHEIRO, J. L. P. Qualidade microbiológica da água na bacia hidrográfica do rio são José dos dourados – SP. **Caminhos de Geografia**, [s. l.], v. 18, n. 64, p. 214-233, 2017.

RODRIGUEZ, M. F. C. **Uso de Água na Produção de Etanol de Cana de Açúcar**. 2010. 198 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Sistemas Energéticos) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

SABONARO, D. Z.; SABONARO, C. Z.; SABONARO, M. Z.; SILVA, F. A. G.; OLIVEIRA, R. A. Incorporação da Gestão Socioambiental na Estratégia Competitiva: Um Estudo de Caso no Setor Sucroalcooleiro. **Desenvolvimento em Questão**, Ijuí, v. 15, n. 38, p. 319-342, 24 mar. 2017.

SAHU, Omprakash. Assessment of sugarcane industry: Suitability for production, consumption, and utilization. **Annals of Agrarian Science**, [s. l.], v. 16, n. 4, p. 389-395, 2018.

Santos, D. F. L., et al. Eco-innovation in the Brazilian sugar-ethanol industry: a case study. **Brazilian Journal of Science and Technology**, Jaboticabal, v. 2, n. 1, p. 1-15, 2015.

SANTOS, B. R. G., et al. Cobrança pelo uso da água no estado de São Paulo: o olhar do usuário de saneamento. **Brazilian Journal of Development**, [s. l.], v. 5, n. 10, p. 20098-20109, 2019.

SANTOS, D. R. Consumo Zero: um olhar qualitativo sobre oportunidades de redução de consumo de água em estabelecimentos industriais. **Revista Cadernos UniFOA**. [s. l.], v. 2, n.1, p. 11-21, 2009.

SANTOS, I. W. S. **Viabilidade técnica e econômica do aproveitamento da vinhaça de usinas de álcool para a produção de energia**. 2020. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2020.

SCHNEIDER, C. F.; SCHULZ, D. G.; LIMA, P. R.; GONÇALVES-JÚNIOR, A. C. Formas de gestão e aplicação de resíduos da cana-de-açúcar visando redução de impactos ambientais. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, [s. l.], v. 7, n. 5, p. 8-17, 2012.

SILVA, C.B.; MORAES, M.A.F.D.; MOLIN, J.P. Adoption and use of precision agriculture technologies in the sugarcane industry of São Paulo state, Brazil. **Precision Agriculture**, Dordrecht, v. 12, n.1, p. 67–81, 2011.

SOUZA, G. S.; SOUZA, Z. M.; SILVA, R. B.; BARBOSA, R. S.; ARAÚJO, F. S. Effects of traffic control on the soil physical quality and the cultivation of sugarcane. **Revista Brasileira de Ciência em Solo**, Viçosa, MG, v. 38, n. 1, p. 135-146, 2014.

SOUZA, V. M.; TEIXEIRA, D.; BARBOSA, J. G. Água subterrânea: um diagnóstico preliminar das legislações brasileiras vigentes. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, [s. l.], v. 8, n.1, p. 83-100, 2020.

SPAROVEK, G.; BARETTO, A.; BERNDEN, G.; MARTINS, S.; MAULE, R. Environmental, land-use and economic implications of Brazilian sugarcane expansion 1996–2006. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, [s. l.], v. 14, n. 1, p. 285-298, 2009.

TENELLI, S. **Disponibilidade de nitrogênio no solo e produtividade de cana-de-açúcar em função da rotação de culturas**. 2016. 91 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

TREVIZOLI, M. R; NEVES, M. F. Gestão da inovação em empresas da indústria sucroenergética. **Revista de Administração do UNIFATEA**, [s. l.], v. 10, n. 10, p.6-141, 2015.

TORQUATO, S. A.; JESUS, K. R. Políticas públicas para sustentabilidade do uso da água: o caso do setor sucroenergético paulista. **Agricultura, Alimentação e Desenvolvimento**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 1-16, 2019.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DA CANA-DE-AÇÚCAR – ÚNICA. **Gestão dos Recursos Hídricos na Agroindústria Canavieira**. 2013. Disponível em: <https://www.unica.com.br/wp-content/uploads/2019/06/Gestao-dos-Recursos-Hidricos.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2020.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DA CANA-DE-AÇÚCAR – ÚNICA. **Histórico de produção e moagem**. 2020. Disponível em: <http://unicadata.com.br/historico-de-producao-e-moagem.php?idMn=32&tipoHistorico=4>>. Acesso em: 15 jun. 2020.

VASCONCELOS, P. S.; CARPIO, L. G. T. Bagasse, Straws, Tips and Vinasse: From Sugarcane Waste to a Clean and Renewable Bioenergy Source. **International Journal Advances in Social Science and Humanities**, [s. l.], v. 5, n.1, p. 27-37, 2017.

XAVIER, M. R. The Brazilian sugarcane ethanol experience. **The Brazilian Sugarcane Ethanol Experience**, [s. l.], v. 1, p. 1-13, 2007.