

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E AMBIENTAIS  
BACHAREL EM GESTÃO AMBIENTAL**

**LAÍS ARRUDA CHULLI**

**FECHAMENTO DE CIRCUITO DE ÁGUA NA ETA DE UMA  
USINA SUCROENERGÉTICA NO MUNICÍPIO DE  
DOURADOS, MS**

**DOURADOS – MS  
2012**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E AMBIENTAIS  
BACHAREL EM GESTÃO AMBIENTAL**

**LAÍS ARRUDA CHULLI**

**FECHAMENTO DE CIRCUITO DE ÁGUA NA ETA DE UMA  
USINA SUCROENERGÉTICA NO MUNICÍPIO DE  
DOURADOS, MS**

Monografia apresentada a Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), como requisito para obtenção do título de Bacharel em Gestão Ambiental.

**DOURADOS – MS**

**2012**

**CANDIDATA:** Laís Arruda Chulli

**TÍTULO:** Fechamento de circuito de água na ETA de uma usina sucroenergética no município de Dourados, MS.

Monografia apresentada a Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), como requisito para obtenção do título de Bacharel em Gestão Ambiental.

**DATA DA DEFESA:** 11/04/2013.

**BANCA AVALIADORA:**

---

Prof. Dr. Paulino Barroso Medina Júnior

---

Eng. Vitor Hugo Rocha Raia

---

Prof. Dr. Cláudio Arcanjo de Sousa (Orientador)

*Dedico este trabalho aos meus pais,  
que sempre serão minha inspiração.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço,

À Deus pela minha vida e por ter proporcionando sabedoria para o desenvolvimento deste trabalho;

À minha família, minha mãe pela dedicação e seu amor, meu pai (em memória) por ser um exemplo de honestidade e meus irmãos pela amizade e carinho, eles são à base do meu caráter e das minhas conquistas;

Ao meu orientador, Prof<sup>o</sup> Dr<sup>o</sup> Cláudio Arcanjo de Sousa, pela paciência de passar seu conhecimento e sua dedicação a este trabalho;

À Usina São Fernando e seus colaboradores, Paulo Escobar, Francisco Cruz, José Geraldo, Marcos Lorenzetti, Vitor Raia, Ederson Bento, Edson Júnior, José Mateus, Alex Sandro, Pamela Blauda, Karoline Heydt, Fábio, Fernando, Fernando Lopes, Neil Oliveira, Joyce Sanches, Adeildo, Regiane, Graziela Leite, pela oportunidade de conhecer a área industrial e empresarial;

Aos meus amigos, Caroline Butturi, Maiara Perez, Rômulo Henrique, Laryssa Oliveira, Débora Lima, Heidi Michalski, pelo apoio, paciência, companheirismo e amizade sincera;

Ao meu namorado, Ricieri Carrari, pela paciência, carinho e compreensão.

Aos amigos da faculdade, Dayane Coelho, Mariana Viviani, Marielly Chimenis, Carlos Milanezi, Francisco Battilani, Paulo Tetsuo, Rogers Júnior, pela companhia no amadurecimento do conhecimento acadêmico;

Aos professores, Paulino Júnior, Liane Calarge, Daniel, Maurício, Vito Comar, Joelson, Zefa, Sandro, Erlaine, Fabiana Raupp, Dionísia, Marcos Gino, Mara, Alexandre Bandeira, Jairo, Alexandre, Henrique, por participarem da minha vida acadêmica;

Enfim, a todos que contribuíram direta ou indiretamente para minha formação profissional e pessoal, em especial a este trabalho, um muito obrigada.

## RESUMO

O Brasil é o maior produtor e exportador de açúcar no mundo, sendo também o segundo maior produtor de etanol mundial. Deste modo, o setor sucroenergético possui grande influência nos aspectos econômicos e socioambientais no Brasil. A principal matéria prima do setor sucroenergético brasileiro é a cana de açúcar que gera os seguintes produtos finais: açúcar, álcool anidro, álcool hidratado e bioeletricidade. Com o desenvolvimento e estabelecimento deste setor, alguns aspectos devem ser considerados para minimizar as interações negativas destes com o meio ambiente, principalmente no alto consumo de água e geração de efluentes hídricos. Desse modo, o objetivo principal deste trabalho foi verificar das oportunidades para redução do consumo de água bruta captada em uma usina sucroenergética no município de Dourados – MS, através do fechamento de circuito de águas industriais. O método adotado foi o levantamento bibliográfico para a localização de índices de consumo ideias para o setor, levantamento de dados *in locu*, com entrevistas e discussões com os colaboradores da usina em estudo, levantamento da legislação ambiental brasileira sobre águas e a adoção de um método, encontrado na bibliografia, sobre conservação da água dentro da usina. Como resultados obtidos foram propostos duas ações de melhoria para estação de tratamento água. A proposta 1 voltada a redução no volume gerado de água residuária e a proposta 2 para um fechamento de circuito de água. As duas propostas são viáveis tecnicamente e atendem as demandas atuais da usina em estudo. Embora, a usina em estudo apresenta um consumo de água bruta relativamente baixa e próxima dos valores recomendados pelos órgãos reguladores do setor, a mesma tem por objetivo alcançar um nível ainda mais baixo do que os já obtidos atualmente. Desse modo, caso estas duas propostas sejam implementadas simultaneamente, as mesmas possibilitarão a redução de aproximadamente 43m<sup>3</sup>/h de água bruta captada. Considerando que atualmente a usina capta 900m<sup>3</sup>/h de água bruta, essa redução equivalerá a 5% do volume atualmente captado.

Palavras chave: fechamento de circuito de água; setor sucroenergético; redução do consumo de água bruta.

## ABSTRACT

Brazil is the main producer and exporter of sugar in the world and is also the second main producer of ethanol worldwide. Thus, the sugarcane industry has high influence on the economic and environmental aspects in Brazil. The main raw material of the Brazilian sugarcane industry is sugar cane and produces the following products: sugar, anhydrous ethanol, hydrous ethanol and bioelectricity. With the establishment and development of this sector, some aspects should be considered to minimize these negative interactions with the environment, especially the high water consumption and waste water generation. Thus, the main objective of this study was to investigate the opportunities for reducing consumption of raw water in a sugarcane mill in Dourados - MS, through closing circuit of industrial waters. The method used was research bibliographic of consumer of water in sugarcane industry, survey data in locus, with interviews and discussions with staff of the mill under study, survey of Brazilian environmental legislation on water and the adoption of a method, found in the literature on conservation of water within the plant. As results were proposed two actions for improving water treatment plant. The first proposal objective to reduce the volume of wastewater generated and second proposal for a proposed closure of the water circuit. The two proposals are technically viable and meet the current demands of the mill under study. Although the mill under study presents a raw water consumption relatively low and close to the values recommended by regulators in the sector, it aims to achieve a level even lower than those obtained currently. Thus, if these two proposals are implemented simultaneously, they allow for the reduction of approximately 43m<sup>3</sup>/h of raw water. Whereas the plant currently captures 900 m<sup>3</sup>/h of raw water, the reduction equivalent to 5% of the currently captured.

Keywords: sugarcane industry, reducing the consumption of raw water, closure of the water circuit.

## LISTA DE FIGURAS

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Figura 1.  | Quantitativos de açúcar, álcool anidro e álcool hidratado.....                               | 16 |
| Figura 2.  | Setor de alimentação, preparo e extração do caldo da cana proveniente do setor agrícola..... | 18 |
| Figura 3.  | Decantadores de caldo.....   | 19 |
| Figura 4.  | Tanque de caldo clarificado e o evaporador.....  | 19 |
| Figura 5.  | Cozedores para cristalização do açúcar.....  | 20 |
| Figura 6.  | Colunas de destilação e Dornas de fermentação.....   | 21 |
| Figura 7.  | Estações de Tratamento de Água aberta e tanques de armazenamento de água.....                | 22 |
| Figura 8.  | Caldeiras para geração de vapor para produção de energia.....                                | 23 |
| Figura 9.  | Estação de Tratamento de Água de Lavagem de Gases e filtro prensa.....                       | 24 |
| Figura 10. | Fluxograma do gerenciamento de água na indústria.....  | 26 |
| Figura 11. | Contribuição no PIB brasileiro dos produtos do setor sucroenergético.....                    | 30 |
| Figura 12. | Distribuição geográfica das usinas e plantações de cana de açúcar no Brasil.....             | 33 |
| Figura 13. | Distribuição média dos usos setoriais de água na indústria sucroenergética.....              | 36 |
| Figura 14. | Distribuição Média dos Usos Pontuais de água na Indústria Sucroenergética.....               | 36 |
| Figura 15. | Fluxograma da recepção da cana de açúcar, preparo e extração do caldo.....                   | 38 |
| Figura 16. | Fluxograma do tratamento de caldo: pré-aquecimento, sulfitação e caleação.....               | 38 |
| Figura 17. | Fluxograma do tratamento de caldo: aquecimento e decantação.....                             | 39 |
| Figura 18. | Fluxograma do tratamento de caldo: lavagem da torta.....                                     | 39 |
| Figura 19. | Fluxograma do setor de evaporação do caldo da fábrica de açúcar.....                         | 40 |
| Figura 20. | Fluxograma dos setores de cozimento, cristalização e centrifugação da fábrica de açúcar..... | 40 |
| Figura 21. | Fluxograma do setor de secagem e ensaque do açúcar.....                                      | 41 |
| Figura 22. | Fluxograma das operações de preparo e tratamento do mosto para a fermentação.....            | 41 |
| Figura 23. | Fluxograma dos processos da fermentação do mosto.....  | 42 |
| Figura 24. | Fluxograma das operações da destilação do etanol.....  | 42 |
| Figura 25. | Fluxograma das operações da área de produção de energia.....                                 | 43 |
| Figura 26. | Sistema de tratamento de água.....   | 44 |



|  |    |
|--|----|
| Figura 27. Fluxograma da Moenda. ....  | 53 |
| Figura 28. Fluxograma do Tratamento de caldo. ....   | 53 |
| Figura 29. Fluxograma da Fábrica de Açúcar. ....   | 54 |
| Figura 30. Fluxograma da Fermentação. ....   | 54 |
| Figura 31. Fluxograma da Destilaria. ....  | 55 |
| Figura 32. Fluxograma da Caldeira. ....  | 55 |
| Figura 33. Fluxograma da Cogeração de energia. ....  | 56 |
| Figura 34. Fluxograma da Estação de Tratamento de Água (ETA). ....   | 56 |
| Figura 35. Fluxograma da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE). ....   | 57 |
| Figura 36. Fluxograma da Estação de Tratamento de Efluentes da Lavagem de Gases (ETALG). ....                                  | 57 |
| Figura 37. A) Soprador do sistema de lavagem a seco da cana de açúcar. B) Lavador a seco da cana de açúcar. ....               | 58 |
| Figura 38. Torre de resfriamento de água da cogeração de energia. ....   | 59 |
| Figura 39. Separadores de arraste na tubulação dos condensadores barométricos. ....  | 59 |
| Figura 40. Cozedor contínuo. ....  | 60 |
| Figura 41. Sistema de Tratamento de Água da Usina, à esquerda as três linhas fechadas e a direita as duas linhas abertas. .... | 61 |
| Figura 42. Fluxograma da captação e tratamento da água. ....   | 62 |
| Figura 43. Fluxograma da água no seu tratamento. ....  | 64 |
| Figura 44. Fluxograma da água no seu tratamento, com a proposta. ....  | 65 |
| Figura 45. Gráfico da concentração de turbidez da água residuária em relação ao tempo. ....                                    | 68 |
| Figura 46. Fluxo da água no sistema de tratamento. ....  | 69 |
| Figura 47. Fluxo da água no sistema de tratamento com a proposta 2. ....   | 69 |

## LISTA DE TABELAS

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Tabela 1.  | Produção de cana de açúcar na safra de 2007/2008 por região brasileira. ...  | 32 |
| Tabela 2.  | Usos médios da água em unidades produtoras de etanol e açúcar .....  | 34 |
| Tabela 3.  | Balanco hídrico da Usina em estudo. ....   | 49 |
| Tabela 4.  | Uso médio na Moenda .....  | 51 |
| Tabela 5.  | Uso médio no Tratamento de Caldo .....   | 51 |
| Tabela 6.  | Uso médio no Setor Produtivo - Fábrica de Açúcar. ....   | 51 |
| Tabela 7.  | Uso médio da Fermentação/Destilação. ....  | 51 |
| Tabela 8.  | Uso médio da Cogeração de energia. ....  | 52 |
| Tabela 9.  | Usos médios de água da Usina e do Manual de Conservação e Reuso de<br>Água na Agroindústria Sucroenergética (ANA, 2009)..... | 52 |
| Tabela 10. | Gastos com a retrolavagem no Sistema de Tratamento de Água .....   | 62 |
| Tabela 11. | Produção das Estações de Tratamento.....   | 63 |
| Tabela 12. | Quantidade de água residuária produzida atualmente. ....   | 63 |
| Tabela 13. | Consumo de água com a retrolavagem do Sistema de Tratamento de Água,<br>após a implementação da Proposta 1. ....             | 64 |
| Tabela 14. | Volume de água recuperada com a implantação do projeto. ....   | 65 |
| Tabela 15. | Produção da ETA com a Proposta 1 .....   | 65 |
| Tabela 16. | Custos da proposta para recuperação de água na ETA.....  | 66 |
| Tabela 17. | Benefícios com o projeto em relação ao procedimento utilizado.....   | 67 |
| Tabela 18. | Água residuária das linhas abertas.....  | 69 |
| Tabela 19. | Água residuária das linhas fechadas. ....  | 70 |
| Tabela 20. | Água resultante da ETA.....  | 70 |
| Tabela 21. | Custo da implementação da Proposta 2. ....   | 70 |
| Tabela 22. | Benefícios da Proposta 2 em comparação ao procedimento que esta sendo<br>utilizado. ....                                     | 71 |

## SUMÁRIO

|  |            |
|--|------------|
| <b>AGRADECIMENTOS</b> .....  | <b>IV</b>  |
| <b>RESUMO</b> .....  | <b>V</b>   |
| <b>ABSTRACT</b> .....  | <b>VI</b>  |
| <b>LISTA DE FIGURAS</b> .....  | <b>VII</b> |
| <b>LISTA DE TABELAS</b> .....  | <b>IX</b>  |
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....   | <b>12</b>  |
| <b>2. JUSTIFICATIVA</b> .....  | <b>13</b>  |
| <b>3. PROBLEMA</b> .....   | <b>14</b>  |
| <b>4. OBJETIVOS</b> .....  | <b>15</b>  |
| 4.1. Objetivo Geral .....  | 15         |
| 4.2. Objetivos específicos.....  | 15         |
| <b>5. METODOLOGIA</b> .....  | <b>16</b>  |
| 5.1. Caracterização da unidade analisada .....                               | 16         |
| 5.2. Caracterização das principais unidades que demandam água .....          | 17         |
| 5.2.1. Moenda.....   | 17         |
| 5.2.2. Tratamento de Caldo .....   | 18         |
| 5.2.3. Fábrica de Açúcar.....  | 19         |
| 5.2.4. Fermentação e destilação do álcool.....                               | 20         |
| 5.2.5. Estação de Tratamento de Água (ETA) .....                             | 21         |
| 5.2.6. Caldeira e Cogeração de Energia .....                                 | 22         |
| 5.2.7. Estação de Tratamento de Água de Lavagem de Gases (ETALG) .....       | 23         |
| 5.3. Levantamento da legislação .....  | 24         |
| 5.4. Obtenção dos dados.....   | 25         |
| 5.5. Levantamento das prioridades.....                                       | 26         |
| <b>6. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....  | <b>28</b>  |
| 6.1. Importância do setor sucroenergético.....                               | 28         |
| 6.2. Distribuição geográfica da agroindústria sucroenergética no Brasil..... | 32         |
| 6.3. Caracterização da água .....  | 33         |
| 6.3.1. Água bruta .....  | 33         |
| 6.3.2. Água residuária.....  | 33         |
| 6.3.3. Condensados da fabricação de açúcar .....                             | 34         |
| 6.3.4. Flegmaça .....  | 34         |
| 6.3.5. Vinhaça.....  | 34         |

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| 6.4.       | Volume de água utilizado por tonelada de cana processada .....  | 34        |
| 6.5.       | Usos de água nos processos industriais da sucroenergética .....   | 37        |
| 6.5.1.     | Água na recepção e preparo da cana e extração do caldo .....  | 37        |
| 6.5.2.     | Água no setor de tratamento de caldo .....  | 38        |
| 6.5.3.     | Água no setor de fabricação de açúcar .....   | 39        |
| 6.5.4.     | Água na fermentação .....   | 41        |
| 6.5.5.     | Água na destilaria .....  | 42        |
| 6.5.6.     | Água na área de energia .....   | 43        |
| 6.5.7.     | Água para outros usos .....   | 43        |
| 6.6.       | Fechamento de Circuito .....  | 44        |
| 6.7.       | Reutilização e Reciclagem dos efluentes no Setor Sucroenergético .....                                  | 44        |
| 6.7.1.     | Tratamento de água de lavagem de cana .....   | 44        |
| 6.7.2.     | Resfriamento dos efluentes .....  | 45        |
| 6.7.3.     | Tratamento dos despejos da lavagem de chaminé .....   | 46        |
| 6.7.4.     | Tratamento e reuso dos efluentes mornos de resfriamento de equipamentos .....                           | 46        |
| 6.7.5.     | Tratamento e reuso de condensados .....   | 46        |
| 6.7.6.     | Blindagem mancais das moendas .....   | 47        |
| 6.7.7.     | Evaporação com sangria nos demais efeitos .....   | 47        |
| <b>7.</b>  | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>   | <b>48</b> |
| 7.1.       | O consumo de água bruta/produção em comparação com os dados encontrados na literatura .....             | 48        |
| 7.2.       | Fluxogramas das águas industriais na usina .....  | 53        |
| 7.3.       | Processos e equipamentos praticados para redução do consumo de água .....                               | 57        |
| 7.4.       | Possibilidades de fechamento de circuito e os ganhos (m <sup>3</sup> ) em redução de água captada ..... | 60        |
| 7.4.1.     | Proposta 1 – Redução do número de retrolavagens .....   | 63        |
| 7.4.2.     | Proposta 2 – Fechamento de circuito .....   | 67        |
| <b>8.</b>  | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>   | <b>72</b> |
| <b>9.</b>  | <b>RECOMENDAÇÕES .....</b>  | <b>73</b> |
| <b>10.</b> | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>   | <b>74</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor e exportador de açúcar e o segundo produtor de etanol no mundo, respondendo por aproximadamente 35% da produção mundial de etanol. A principal matéria prima do setor sucroenergético brasileiro é a cana de açúcar que gera os seguintes produtos finais: açúcar, álcool anidro, álcool hidratado e bioeletricidade. Para suprir essa demanda de produção.

Com o desenvolvimento e estabelecimento do setor sucroenergético, alguns aspectos devem ser considerados para minimizar as interações negativas destes com o meio ambiente. Dentre esses aspectos, podemos citar os aspectos socioambientais, como a utilização da mão de obra no preparo do solo, manejo e colheita da cana, a utilização de extensas áreas para o plantio, a queima do bagaço de cana para a produção de vapor e geração de energia, a redução do consumo de água através do fechamento de circuito e a redução de poluentes para a atmosfera através da eliminação da queima da palha da cana e maior controle de emissões pontuais no setor industrial garantindo assim o bem estar dos funcionários e da população do entorno.

Devido o setor sucroenergético utilizar grandes quantidades de água nos seus processos, o fechamento de circuito de água industrial com a reutilização/reaproveitamento de parte da água de processo em outros pontos dentro do ciclo industrial, surge como uma prática importante para reduzir o consumo de água bruta captada nos cursos d'água diminuindo assim, os custos variáveis do negócio, uma vez que todo o desembolso para a captação, tratamento e distribuição da água dentro da indústria será menor. Em associação aos ganhos diretos, existem ainda outros ganhos menos perceptíveis para o empreendedor que está relacionado com o marketing ambiental e com a imagem da empresa junto ao mercado e a sociedade como um todo.

Atualmente o estado de Mato Grosso do Sul não cobra pela outorga do uso de água e lançamento de efluente nos corpos receptores, no entanto a partir do momento que houver a exigência de cobrança deste insumo, a redução dos custos devido a minimização do uso será mais perceptível.

Não obstante ao fato financeiro, as empresas têm de se preocupar com as questões ambientais ligadas a utilização da água bem como aos ganhos de se produzir mais com menores taxas de utilização de água, o que elevaria o potencial competitivo da empresa bem como os ganhos ambientais do processo como um todo.

## **2. JUSTIFICATIVA**

Para toda atividade industrial a necessidade de água é essencial para os processos e além da sua disponibilidade, a sua qualidade deve ser considerada. Uma redução no consumo de água representa um ganho ambiental e um ganho financeiro para a empresa.

O problema essencial da água é sua qualidade que está diretamente ligada a sua utilização, logo uma água contaminada ao sair de uma indústria e entrar novamente no ciclo hidrológico levará esta carga poluidora consigo, acarretando a contaminação de um número maior de recursos hídricos. E poderá ser utilizada por outro usuário necessitando de tratamentos específicos para qual se destino o seu uso.

Segundo a União da Indústria de Cana de Açúcar – UNICA (2012) o setor sucroenergético possui grande importância na economia nacional, pois o Brasil é o maior produtor e exportador de açúcar do mundo, e em relação ao etanol é o segundo colocado na produção mundial, nota-se, portanto a grandiosidade do setor e conseqüentemente a grande quantidade de água bruta necessária para os processos industriais e agrícolas. Deste modo o setor necessita de grande quantidade de água, mas, além disso, uma água que atenda as suas necessidades.

Antes de ser utilizada nos processos industriais a água bruta captada, necessita receber tratamento e após o seu uso, a mesma é devolvida para o meio ambiente. Com o fechamento de circuito de água dentro da empresa, parte da água servida que seria devolvida para o meio ambiente, é reutilizada em alguma parte no processo, podendo receber tratamento específico ou não. O fechamento de circuito permite a redução dos custos operacionais, bem como trás ganhos ambientais consideráveis, uma vez que reduz o volume de água captada e efluente contaminado lançado na natureza.

### **3. PROBLEMA**

Segundo a ANA (2009), o consumo médio ideal de água bruta captada em uma usina integrada com destilaria produzindo 50% de açúcar e 50% de etanol é de aproximadamente 1,0 m<sup>3</sup> por tonelada de cana de açúcar processada.

Considerando que a produção média processada por safra na usina em estudo é de 3.400.000t e considerando o consumo ideal definido pela ANA (2009), o volume total de água captada por safra é da ordem de 3.400.000m<sup>3</sup> e considerando um período de 240 dias de safra o consumo diário de água é de 12.500m<sup>3</sup>,isso equivale ao consumo médio de uma cidade com população aproximada de 80.000 habitantes. Dessa forma, qualquer trabalho a ser desenvolvido para a redução do volume de água captada se torna bastante relevante e de grande importância, tanto do ponto de vista econômico, quanto do ponto de vista ambiental.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. Objetivo Geral**

- Verificar as oportunidades para redução do consumo de água bruta captada na estação de tratamento de água em uma usina sucroenergética através do fechamento de circuito de águas industriais.

### **4.2. Objetivos específicos**

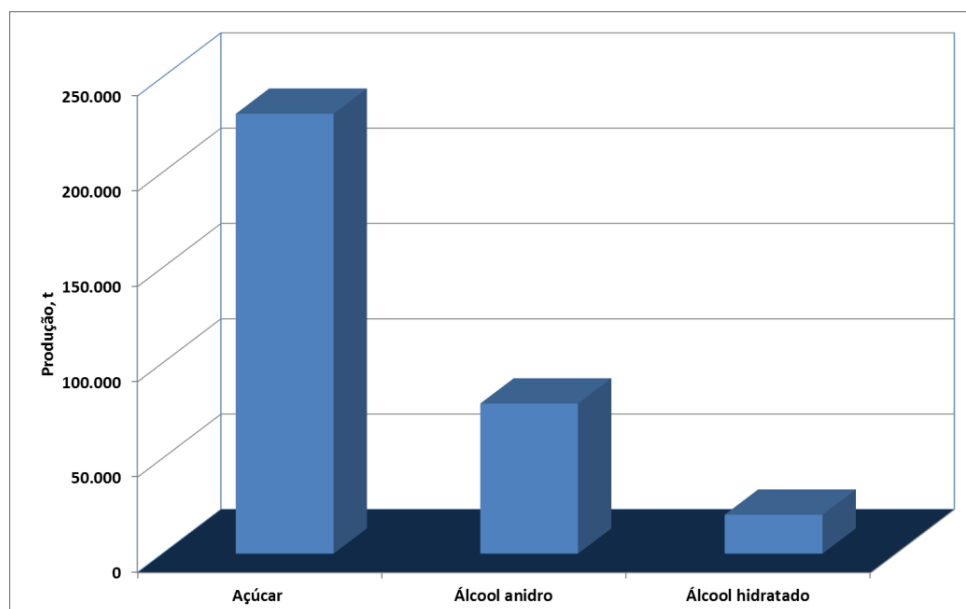
- Identificar os principais tipos de águas de processos utilizados na usina sucroenergética;
- Verificar as características e a quantidade de consumo destes tipos de água na usina sucroenergética;
- Verificar o fluxograma de balanço hídrico da agroindústria sucroenergética;
- Verificar a viabilidade técnica e econômica para adoção das melhores tecnologias existentes para o reaproveitamento de água no processo.



## 5. METODOLOGIA

### 5.1. Caracterização da unidade analisada

A usina sucroenergética onde foram realizados os estudos localiza-se no município de Dourados – MS, esta unidade produz bioenergia, obtida através da queima de biomassa, geralmente bagaço de cana; açúcar bruto *Very High Polarization* (VHP), álcool hidratado e álcool anidro. Os valores de produção de álcool hidratado, anidro e açúcar na safra de 2012/2013 estão apresentados na Figura 1. Além desta produção de açúcar e álcool a usina gerou ainda 395.980MW total de energia elétrica, dos quais consumiu 96.566MW e exportou 299.413MW para o mercado nacional. Atualmente são 3.000 profissionais que trabalham diretamente na cadeia produtiva da usina.



**Figura 1.** Quantitativos de açúcar, álcool anidro e álcool hidratado.  
Fonte: Usina em estudo

A usina sucroenergética em estudo possui uma Central de Operação de Produção (COP) onde se controla e monitora todos os processos industriais, deste modo, a implantação de tecnologias e medidas para redução do consumo de insumos e/ou reaproveitamento de resíduos esta ligado diretamente a este setor, devido à sua intimidade com os processos industriais.

## **5.2. Caracterização das principais unidades que demandam água**

Na empresa existe a setorização dos processos produtivos, com o intuito de proporcionar eficiência diante das tomadas de decisões, ou seja, com imediata resposta e identificação dos responsáveis pelo procedimento. Os setores produtivos identificados foram:

- Moenda;
- Tratamento de Caldo;
- Fábrica de Açúcar;
- Fermentação e Destilação do Álcool;
- Caldeira;
- Cogeração de Energia – Bioeletricidade;
- Estações de Tratamento de água industrial e de água de caldeira;

A seguir são descritos os setores produtivos que utilizam água.

### **5.2.1. Moenda**

Na recepção e preparo da cana de açúcar e extração do caldo ocorre à lavagem a seco da cana, sendo esta um ganho ambiental fortemente influenciada pelo modelo de gestão denominado de produção mais limpa (P+L), ocorrendo considerável redução do consumo de água neste setor. A cana de açúcar passa por um desfibrador facilitando sua moagem e é encaminhada para os moedores da cana (ternos), onde será extraído o caldo. Nesta unidade são utilizados cinco ternos, onde o caldo obtido no primeiro é o caldo primário, pois não conte água. No quinto terno é adicionado água e a cana é contra lavada do quinto até o segundo terno onde o caldo é retirado. Este caldo retirado no segundo terno é chamado de caldo secundário ou misto.

Geralmente, o caldo primário é direcionado a fabricação de açúcar e o caldo secundário é dirigido à produção de etanol. O bagaço é encaminhado para as leiras de estocagem e posteriormente para às caldeiras, através de esteiras transportadoras. Portanto, o consumo de água se restringe a embebição na moenda e ao resfriamento de equipamentos, onde a água de resfriamento não entra em contato com os óleos e graxas utilizadas na lubrificação dos mancais e engrenagens, exceto no caso de vazamentos (Figura 2).



**Figura 2.** Setor de alimentação, preparo e extração do caldo da cana proveniente do setor agrícola.  
Fonte: Autor.

### 5.2.2. Tratamento de Caldo

O caldo primário é direcionado ao tanque de dosado onde se adiciona leite de cal para a correção do pH. O caldo é aquecido através de um trocador de calor que elevará a temperatura do caldo, eliminando as bactérias do caldo.

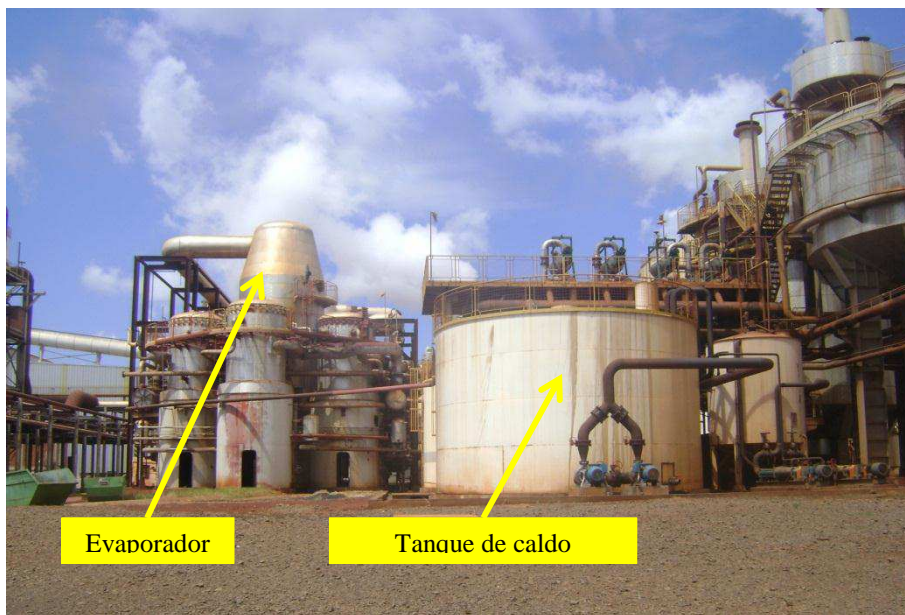
Após esta etapa, o caldo é enviado ao decantador onde se adiciona polímero para floculação e decantação das impurezas que passa em seguida em um filtro prensa, saindo na forma torta de filtro que é aplicada na lavoura. O caldo clarificado é filtrado e aquecido com vapor vegetal 1 e encaminhado para a fabricação de etanol ou açúcar.

Nesta etapa a água é utilizada somente para o preparo do leite de cal e polímero, vapor vegetal 1, vapor vegetal 2, vapor vegetal 3, lavagem da torta de filtro, resfriamento de equipamentos e limpeza dos equipamentos.

A Figura 3 apresenta os decantadores de caldo, e a Figura 4 apresenta o tanque de caldo clarificado e evaporadores.



**Figura 3.** Decantadores de caldo.  
Fonte: Autor.

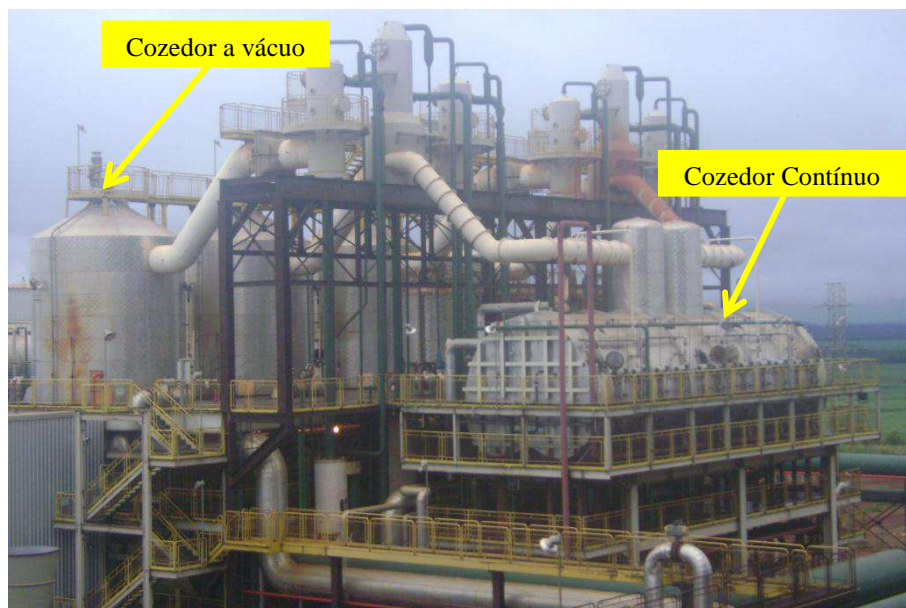


**Figura 4.** Tanque de caldo clarificado e o evaporador.  
Fonte: Autor.

### 5.2.3. Fábrica de Açúcar

A primeira etapa da produção de açúcar é a evaporação, onde resultará no xarope que é a principal matéria prima para a fabricação do açúcar. A evaporação tem por objetivo aumentar a concentração de açúcar no caldo, ou seja, aumentar o *brix* do caldo. O cozimento e a cristalização iniciam-se com a injeção de vapor vegetal no xarope aumentando assim sua concentração de açúcar. Passa-se pela centrífuga formando o

magma, que possui alta concentração de açúcar. A Figura 5 apresenta o cozedor para cristalização do açúcar.



**Figura 5.** Cozedores para cristalização do açúcar.  
Fonte: Autor.

O magma obtido passa novamente pelo cozedor a vácuo, adicionando xarope, e posteriormente pela centrífuga resultando no mel e açúcar, que é encaminhado a produção de etanol. O açúcar obtido ainda possui elevado teor de umidade que necessita passar por uma etapa adicional para remover o excesso de umidade, resultando em uma calda e o sólido que é embalado.

Os usos da água neste setor são múltiplos: V1, V2, V3, condensados, resfriamento de equipamentos e limpeza dos equipamentos.

#### **5.2.4. Fermentação e destilação do álcool**

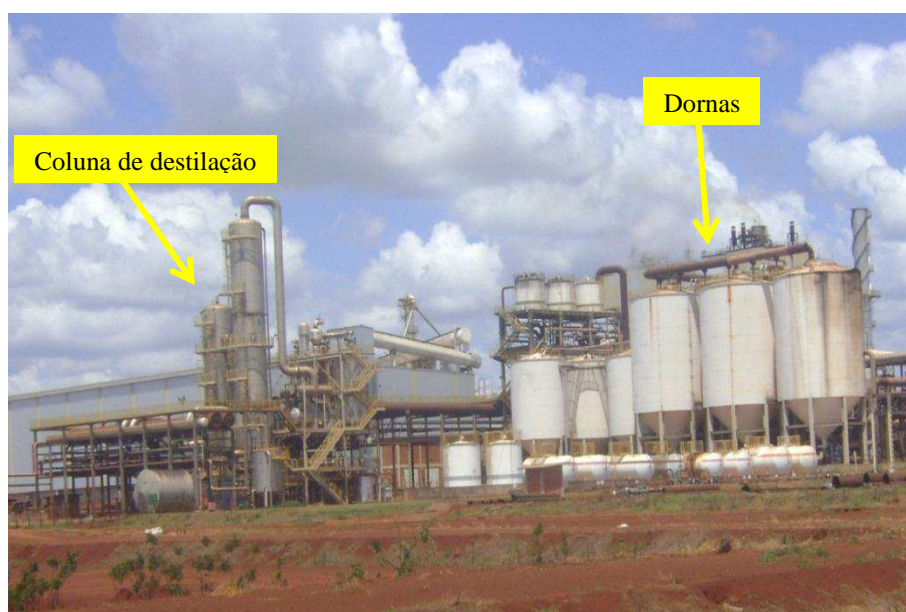
Para fermentação e destilação do álcool ocorre inicialmente a entrada do caldo, fermento e mel, nas dornas e saem vinho, glicerol, gás carbônico, e outros componentes. Após a fermentação ocorre a centrifugação para separar o fermento do vinho, o fermento é encaminhado para as cubas onde será concentrado para ser utilizado novamente e o vinho é dirigido a dorna volante para a destilaria.

Do vinho que fora encaminhado para a destilação é retirado álcool e demais componentes. Existem duas colunas de destilação. Na primeira coluna é obtido álcool anidro e vinhaça, onde o álcool passa por dois condensadores e se torna álcool de

“segunda”. A vinhaça obtida da primeira coluna é resfriada e estocada na lagoa e segue para a lavoura.

Na segunda coluna ocorre a evaporação que resulta no álcool hidratado mais flegnoma, sendo um efluente quente. O álcool hidratado sofre condensação e retorna a segunda coluna, sendo aquecido e evaporador, novamente.

Neste setor a água é utilizada na diluição do mosto, recuperação do fermento, resfriamento de equipamentos e efluentes e limpeza de equipamentos (Figura 6).



**Figura 6.** Colunas de destilação e Dornas de fermentação.  
Fonte: Autor.

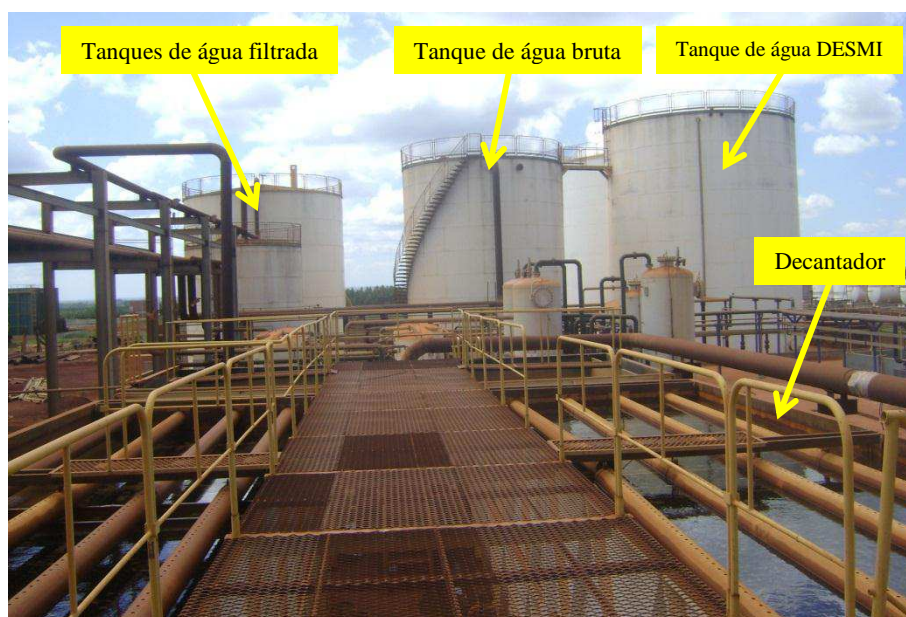
### 5.2.5. Estação de Tratamento de Água (ETA)

A Estação de Tratamento de Água é responsável pelo tratamento inicial da água bruta para ser utilizada no processo industrial, chamada de água filtrada, na ETA ainda é produzida a água desmineralizada (DESMI) que é utilizada na caldeira.

Nesta usina sucroenergética existem duas linhas abertas na ETA com capacidade de 150 m<sup>3</sup>/h cada e três linhas fechadas com capacidade de 60 m<sup>3</sup>/h cada, três sistemas de desmineralização, tanque de descarte, tanque de neutralização, caixa de água filtrada, tanque de água bruta, dois tanques de água filtrada e dois tanques de água desmineralizada (DESMI).

A água bruta coletada do rio Dourados abastece a lagoa de captação com capacidade operacional de bombeamento de 900m<sup>3</sup>/h. Essa água é armazenada no tanque de água bruta, que encaminhada para a ETA para linhas abertas ou fechadas ou diretamente ao processo.

Os resíduos gerados nesta etapa são basicamente da decantação, rica em matéria orgânica, retrolavagem dos filtros e água da regeneração do sistema de desmineralização, contendo ácido e soda que são encaminhados para o tanque de neutralização e lançados na lagoa de vinhaça. A Figura 7 apresenta a estação de tratamento de água aberta e tanques de armazenamento de água.



**Figura 7.** Estações de Tratamento de Água aberta e tanques de armazenamento de água.

Fonte: Autor.

### 5.2.6. Caldeira e Cogeração de Energia

O objetivo da caldeira é a produção de vapor e condensado para abastecer a usina e principalmente a cogeração de energia. Este processo tem início na Estação de Tratamento de Água, onde a água tratada é desmineralizada e enviada ao desaerador junto com condensado do gerador de energia, assim aumentando sua temperatura.

Há duas caldeiras em atividade na usina. Os gases da fornalha passam pelo economizador e sofrem uma lavagem para retirada das cinzas (lavagem de gases), os gases limpos são eliminados e a água recebe um tratamento sendo armazenada no tanque de particulado passando por uma peneira e seguindo para o clarificador recebe

então polímero e cal para a decantação, o lodo obtido é encaminhado para a lavoura. A linha de vapor derivada da caldeira alimenta outros processos da usina incluindo o gerador, moenda, destilaria e fermentação.

A Figura 8 apresenta as caldeiras.



**Figura 8.** Caldeiras para geração de vapor para produção de energia.  
Fonte: Autor.

### **5.2.7. Estação de Tratamento de Água de Lavagem de Gases (ETALG)**

A ETALG recebe água com cinzas, proveniente da lavagem de gases da caldeira. Essa água recebe tratamento físico químico e a água tratada retorna para a caldeira para ser utilizada novamente e o lodo é encaminhado para a lagoa de vinhaça e aplicado ao solo (Figura 9).





**Figura 9.** Estação de Tratamento de Água de Lavagem de Gases e filtro prensa.  
Fonte: Autor.

### **5.3. Levantamento da legislação**

Foram levantadas as principais legislações pertinentes ao empreendimento que tenha implicação direta no consumo e lançamento de efluentes. As principais legislações são:

i. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 que:

Institui a Política Nacional do Meio Ambiente. Os aspectos descritos nesta Lei que amparam este trabalho se localizam no Art. 2º, II e VI incisos, se referem à racionalização do uso da água e ao incentivo ao estudo e à pesquisa orientados para o uso racional e a proteção dos recursos ambientais. Pois se houver uma diminuição do consumo de água, o corpo hídrico local sofrerá menos pressão, deste modo, podendo estar mais disponível ao meio ambiente natural.

ii. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 que:

Define a Política Nacional de Recursos Hídricos no Brasil, como seus objetivos, diretrizes, instrumentos, ou seja, o que será necessário para a gestão dos recursos hídricos nacionais e os meios que deve ser executada.

Os objetivos definidos pela mesma são:

I - assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos;

II - a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável;

III - a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais.

iii. ABNT/NBR 7.229/1993. Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos.

- iv. Resolução CNRH nº 54, de 28 de novembro de 2005 que promove a prática de reuso como uma medida de racionalização, de amenizar a escassez de água potável e atenuar a descarga de poluentes nos corpos hídricos.

Esta resolução apresenta algumas definições:

- I - água residuária: esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratados ou não;
- II - reuso de água: utilização de água residuária;
- III - água de reuso: água residuária, que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas;
- IV - reuso direto de água: uso planejado de água de reuso, conduzida ao local de utilização, sem lançamento ou diluição prévia em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos;
- V - produtor de água de reuso: pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, que produz água de reuso;
- VI - distribuidor de água de reuso: pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, que distribui água de reuso; e
- VII - usuário de água de reuso: pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, que utiliza água de reuso.

Os critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água. Nessa resolução, são definidas as cinco modalidades de reuso de água:

- I - reuso para fins urbanos: utilização de água de reuso para fins de irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações, combate a incêndio, dentro da área urbana;
- II - reuso para fins agrícolas e florestais: aplicação de água de reuso para produção agrícola e cultivo de florestas plantadas;
- III - reuso para fins ambientais: utilização de água de reuso para implantação de projetos de recuperação do meio ambiente;
- IV - reuso para fins industriais: utilização de água de reuso em processos, atividades e operações industriais; e,
- V - reuso na aquicultura: utilização de água de reuso para a criação de animais ou cultivo de vegetais aquáticos.

- v. Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011, dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes.
- vi. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.
- vii. Resolução CONAMA nº 396, de 03 de abril de 2008, dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.

#### **5.4. Obtenção dos dados**

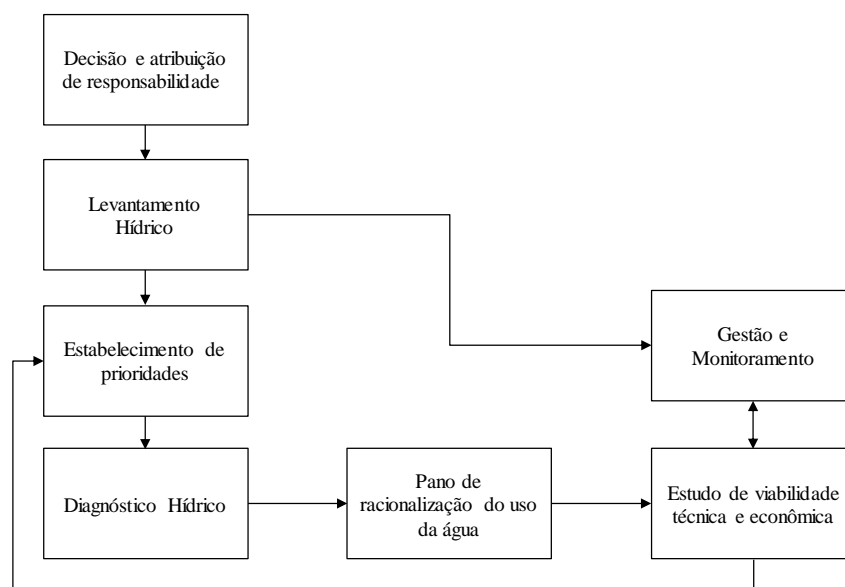
Os dados primários foram obtidos mediante análise *in locu* nas unidades operacionais e entrevistas e discussões com os funcionários da usina. As unidades operacionais

analisadas estão descritas no item 5.2.. Foram realizadas análises de turbidez e medição da vazão da água bruta e água residuária da retro lavagem da ETA para verificar o potencial de fechamento da água naquela unidade operacional.

Os dados secundários foram obtidos mediante consulta ao Manual de Conservação e Reuso da água na Agroindústria Sucroenergética desenvolvido pela ANA (2009), procedimentos operacionais padronizados (POP) e manuais técnicos das unidades operacionais da usina.

### 5.5. Levantamento das prioridades

Segundo Martins (2006) para o uso racional da água na indústria deve ser criada uma equipe responsável para avaliação e identificação das principais questões com potencial de reutilização de água. A participação da gerência é determinante no resultado final do projeto. As atividades podem ser desenvolvidas conforme a Figura 10.



**Figura 10.** Fluxograma do gerenciamento de água na indústria.

Fonte: adaptado MARTINS, 2006.

A primeira etapa para a implantação de um projeto de redução do consumo de água é o levantamento hídrico do empreendimento, onde se avalia a qualidade e quantidade das águas geradas no processo, bem como as exigências dos setores. Estas informações podem ser encontrados nos projetos *as built* ou por checagens a campo para verificação se os dados de projeto condizem com o projeto implantado. A setorização da indústria

pode ajudar a identificar e monitorar os usos e as possíveis perdas de água. (HESPANHOL, 2004)

O diagnóstico hídrico interpreta os dados coletados e considera os principais pontos consumidores de água e os pontos geradores de efluentes. Também ocorre a identificação dos desperdícios. Nesta etapa ocorre a avaliação dos efluentes a respeito de suas qualidades e possíveis reutilizações. O plano de racionalização da água envolve medidas de economia, combate ao desperdício de água bem como planos de reutilização. De acordo com Martins, (2006), as metas de redução no consumo de água podem ser empregados como indicadores do gerenciamento da água

O estudo de viabilidade técnica, econômica e ambiental providencia as bases para decidir quais serão as medidas tomadas. Através desses estudos será feito um planejamento da implantação do projeto de reutilização das diversas águas industriais. Além dos aspectos técnicos e econômicos os benefícios socioambientais devem ser contabilizados (HESPANHOL, 2004).

A gestão e o monitoramento do projeto devem ser contínua a fim de garantir a eficiência. Programas de educação ambiental para a conscientização do uso do recurso, devem ser permanentes de modo a promover a conscientização dos colaboradores, evitando o desperdício. O diagnóstico hídrico também deve ser constantemente renovado a fim de se verificar novas oportunidades de reuso e possíveis modificações de processos implantados (MARTINS, 2006).

A partir destas citações, este trabalho buscou realizar inicialmente o levantamento hídrico, estabelecimento de prioridades, tais definidas pela empresa, e estudo de viabilidade técnica e econômica do projeto proposto.

## 6. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 6.1. Importância do setor sucroenergético

A matriz energética mundial ainda se baseia nos combustíveis fósseis que apresentam elevado potencial poluidor, ademais, são fontes não renováveis, portanto, finitas. Porém presencia-se um momento de mudança global desta matriz, como afirma a UNICA (2010), que mostra a queda de 8% no consumo de petróleo e seus derivados, ou seja, em 2000 o consumo era de 45,5% e em 2009 chegou a ser de 37,9%. A agroindústria sucroenergética conquistou espaço no consumo interno e externo por oferecer uma fonte de energia mais limpa, que no caso do Brasil, se baseia na cana de açúcar. Essa troca da matriz energética iniciou-se na década de 70, devido principalmente aos incentivos governamentais através do Proálcool.

A inexistência de uma política governamental de longo prazo para os combustíveis, nos últimos 30 anos, gerou volubilidade na produção e consumo de energia mais limpa. As crises do petróleo não foram suficientes para que surgissem políticas governamentais atentadas com a sustentabilidade e viabilidade econômica dos combustíveis renováveis. Ao contrário, as políticas efetuadas, conduziram a ciclos de permuta de combustíveis com efeitos negativos para todos os envolvidos, inclusive o consumidor.

Segundo a UNICA (2010), desde a década de 70, houve pelo menos cinco fases associadas a políticas de curto prazo para combustíveis, que enviaram sinais duvidosos ao mercado, assim fragilizando o fluxo de investimentos. São elas:

*Fase 1: Processo de “dieselização” da matriz ocorreu na década de 70. O primeiro processo de troca foi o da gasolina pelo diesel, devido à política de preços artificiais. Provocou aumento da frota a diesel e das importações do combustível.*

*Fase 2: O Proálcool na década de 80. Lançado em meados dos anos 70, o Proálcool inicialmente expandiu o uso do etanol anidro misturado à gasolina. Essa mistura já era utilizada desde 1938 e tinha por objetivo a absorção do excedente da produção de etanol e a substituição do chumbo-tetraetila, altamente poluente, como aditivo à gasolina. O segundo choque do petróleo, em 1979, quando o seu preço atingiu novo pico histórico, permitiu a entrada dos veículos movidos a etanol hidratado no mercado, inaugurando nova fase do Proálcool. O sucesso dessa fase foi tão grande que 95% dos veículos leves produzidos em 1985 eram movidos a etanol hidratado.*

***Fase 3:** Nova “gasolinização” da matriz na década de 90. Com a queda dos preços internacionais do petróleo, o etanol começou a perder competitividade frente à gasolina, e os bons resultados no aumento da produtividade pela indústria sucroenergética. O governo reduziu os incentivos e não houve como remunerar o alto nível de oferta necessária para o atendimento da frota, resultando na crise de desabastecimento de etanol em 1989/1990. Deste modo, a gasolina rapidamente recuperou espaço.*

***Fase 4:** Incentivos ao Gás Natural Veicular (GNV) no final da década de 90. Nesse período, inicia a expansão da conversão de veículos para gás, substituindo o etanol hidratado e a gasolina. Esse incentivo, que teve como principal estímulo o excedente temporário de gás natural, levou à migração de significativa parcela da frota de carros para a adoção desse combustível.*

***Fase 5:** A revolução do flex. Em 2003, com a introdução dos veículos bicombustíveis, começa nova etapa para o etanol hidratado. Com a nova tecnologia, o consumidor escolhe o combustível no ato do abastecimento, e não mais quando efetua a compra do veículo. Entre 2003 e início de 2010 foram comercializados mais de 10 milhões de carros flex. Hoje, eles são responsáveis por mais de 90% dos veículos comercializados no país, cuja oferta é cada vez mais escassa e cara.*

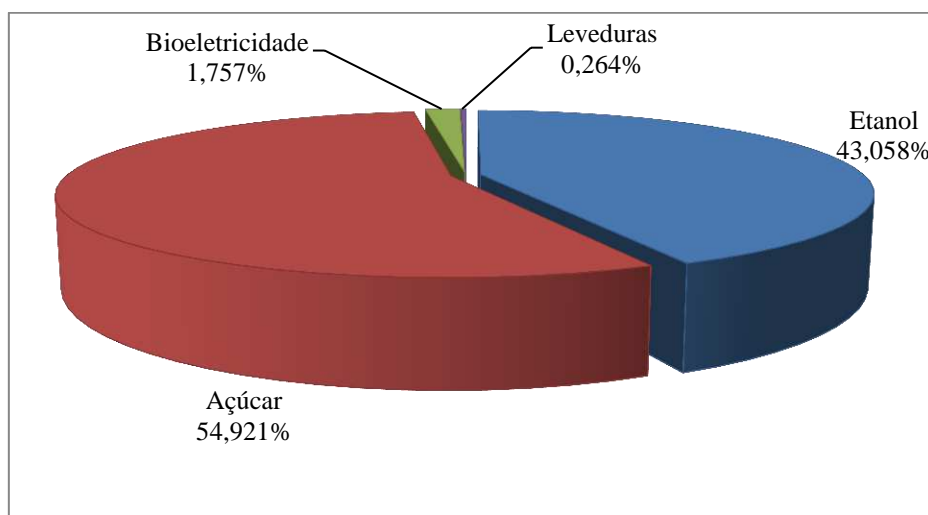
Segundo dados de consumo de etanol e gasolina realizado pela UNICA (2008), o consumo de etanol superou o consumo de gasolina. Este fenômeno pode ser explicado principalmente pelo incremento da demanda/oferta de veículos bicombustíveis, comumente chamado de *flex*, aliado à manutenção do preço do etanol em relação ao da gasolina. Segundo estatísticas da UNICA (2008), as vendas do etanol hidratado quintuplicou em cinco anos. Sendo assim, pode-se afirmar que “combustível alternativo” no Brasil no período em questão foi a gasolina.

Diante deste cenário promissor, o setor sucroenergético assume um importante papel tanto na economia brasileira bem como na mundial. Essa maior contribuição exige uma postura proativa e responsável do setor no que diz respeito à aplicação das políticas ambientais de modo a garantir a melhoria contínua nos processos produtivos, garantindo maior lucratividade com menores interações ambientais negativas.

Segundo dados da UNICA (2008) o Brasil tornou-se o maior produtor e exportador mundial de etanol, além de ser o único país do mundo a conseguir substituir, em larga escala, o consumo de gasolina por combustível de fonte renovável.

O setor sucroenergético no Brasil gera três principais produtos finais, etanol (anidro e hidratado), açúcar e energia elétrica. Segundo a UNICA (2012) a safra 2011/2012 no Brasil teve uma produção de 35.922 milhões de toneladas de açúcar e 22.654 milhões de m<sup>3</sup> de etanol, a partir de 558.691 milhões de toneladas de cana de açúcar. Atualmente existem outras demandas para o desenvolvimento tecnológico de novos produtos a partir da cana de açúcar como os bioplásticos que entraram em produção industrial recentemente, o diesel a partir da cana, o biobutanol, e o etanol celulósico representam promessas reais para os próximos anos. Os créditos de carbono, também ganharão importância proporcionalmente à preocupação com economias de “baixo carbono”.

Dentre os produtos do setor sucroenergético o etanol e o açúcar ainda representam as receitas mais relevantes, no Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, seguidos pela bioeletricidade e leveduras, o PIB do setor sucroenergético em 2008 foi de US\$ 28,2 bilhões, equivalente a quase 2% do PIB brasileiro. O percentual de participação dos produtos do setor sucroenergético está apresentado na Figura 11.



**Figura 11.** Contribuição no PIB brasileiro dos produtos do setor sucroenergético. Fonte: UNICA, (2008).

Analisando a cadeia produtiva do setor sucroenergético, que envolve os insumos como, tratores, caminhões, fertilizantes, defensivos, entre outros, e os produtos obtidos nas fazendas e nas usinas, por exemplo, etanol, açúcar, bagaço, entre outros. Os números do setor são expressivos, com circulação anual superior a US\$ 80 bilhões. Este detalhamento da cadeia produtiva pode servir como base para decisões em nível local, regional e nacional, no setor público e privado (UNICA, 2008).

A usina sucroenergética, como qualquer empreendimento, possui aspectos ambientais e sociais que por sua vez gera interações negativas e positivas sobre estes aspectos. Apesar dos benefícios econômicos apresentados pelo setor sucroenergético, algumas interações ambientais devem ser revista, a mais visível é a prática da queimada antes do corte, que apresenta um alto potencial de impacto ambiental (OMETTO; MANGABEIRA; HOTT, 2005).

Este ato compromete a qualidade do ar local, podendo expandir a nível regional. Além do comprometimento da qualidade do sistema respiratório do ser humano, a queima destrói os nutrientes superficiais do solo, eliminando a flora que ali habitava, além de extinguir com a palha que serviria de proteção ao solo, assim aumentando a possibilidade de erosões e assoreamento dos corpos d'água próximos (OMETTO; MANGABEIRA; HOTT, 2005).

O setor sucroenergético, para Mattos e Mattos (2004) apresenta uma contradição, se, por um lado, é um estímulo ao desenvolvimento socioeconômico e um exemplo de atividade ambiental, por outro lado, é criticado metodicamente como responsável pela degradação do meio ambiente e pela deterioração social.

O setor sucroenergético devido a sua magnitude causa impactos diante de aspectos sociais, na quantidade e qualidade dos empregos da lavoura e da usina. De acordo com a Relação Anual de Informações Sociais do Ministério do Trabalho e Emprego, RAIS (2008), foram contabilizados 1.283.258 empregos formais, onde 481.662 no campo para o cultivo da cana de açúcar, 561.292 nas fábricas de açúcar em bruto, 13.791 no refino e moagem de açúcar e 226.513 na produção de etanol. A massa salarial é estimada em US\$ 738 milhões.

Um aspecto ambiental positivo do setor sucroenergético é a própria produção de uma energia renovável, sendo um impacto ambiental positivo, o uso dessa fonte de energia renovável, com baixo teor de carbono é uma das estratégias para a diminuição da emissão de gases de efeito estufa (GEE), conseqüentemente, auxilia na minimização do aquecimento global. O balanço energético e de emissões do etanol da cana de açúcar apresenta-se favorável, sendo uma opção disponível comercialmente e com grande potencial de rápida expansão, fato que pode ser notado nos últimos anos, inclusive com inovações na sua aplicação. Sob a visão de seu ciclo de vida, o etanol tem potencial de reduzir cerca de 90% as emissões de GEE quando comparado com a gasolina (UNICA, 2010).



## 6.2. Distribuição geográfica da agroindústria sucroenergética no Brasil

O setor sucroenergético divide o Brasil em duas regiões canavieiras:

- Centro-Sul, constituída pelas regiões Sudeste, Centro-Oeste e Sul,
- Norte-Nordeste, composta pela região Norte e Nordeste do Brasil.

Onde a primeira possui 281 unidades de destilaria e usina, sendo responsável por 88% da produção de cana e a segunda 75 unidades, produz os restantes 12% da produção nacional, sendo que na safra de 2007/2008 somente a região Sudeste produziu 68,9%, da produção nacional (UNICA, 2010). A Tabela 1 apresenta a produção de cana de açúcar na safra de 2007/2008 por região.

**Tabela 1.** Produção de cana de açúcar na safra de 2007/2008 por região brasileira.

| Regiões brasileiras | % da Produção |
|---------------------|---------------|
| Norte               | 0,2           |
| Sul                 | 8,2           |
| Centro-Oeste        | 10,3          |
| Nordeste            | 12,4          |
| Sudeste             | 68,9          |

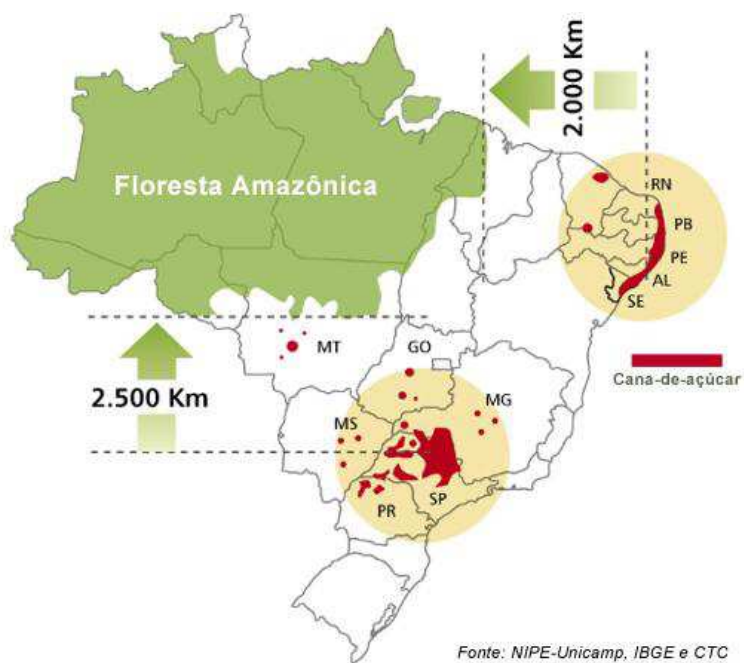
Fonte: UNICA, 2008.

Conforme Rosseto (2008), a atividade canavieira no século XVI ocupava terras férteis e, para facilitar a exportação do açúcar para a Europa, desenvolveu-se taticamente em regiões litorâneas do nordeste o que facilitaria seu comércio. Por esse motivo, o bioma mais lesado no período foi a Mata Atlântica, que foi praticamente exterminado pela ocupação canavieira.

A produção de cana de açúcar se concentra nas regiões Centro-Sul e Nordeste do Brasil. A Figura 12 mostra em vermelho as extensões onde se concentram as plantações e usinas produtoras de açúcar, etanol e bioeletricidade, segundo dados oficiais do IBGE, UNICAMP (Universidade Estadual de Campinas – SP) e do CTC (Centro de Tecnologia Canavieira), publicados por ANA (2009).

Devido à condição climática de cada região canavieira existe diferença no período das safras. A região Centro-Sul a safra é de abril a dezembro, a região Norte-Nordeste a safra inicia em setembro e termina em março. As duas safras passam pela seca para a maturação da cana.

A distribuição geográfica é importante para este estudo por apresentar as regiões, bacias e micro bacias onde ocorrem as maiores retiradas de água do solo para abastecer estas usinas, seja através da captação direta nos cursos d'água superficiais (rios e lagos) ou subterrâneos (poços tubulares profundos e poços artesianos) ou através da cultura da cana de açúcar.



**Figura 12.** Distribuição geográfica das usinas e plantações de cana de açúcar no Brasil.  
Fonte: ANA, 2009.

### 6.3. Caracterização da água

#### 6.3.1. Água bruta

Água doce com as características físico-químicas não alteradas, ou seja, como está disponível na natureza, pode ser encontrada nos corpos hídricos como rios e lagos (ACHON, 2008).

#### 6.3.2. Água residuária

A água utilizada por uma indústria ou comunidade, que apresenta sólidos inorgânicos e matéria orgânica em suspensão ou dissolvida (PESCOD, 1992).

### 6.3.3. Condensados da fabricação de açúcar

Segundo Pilon (2010) o tratamento de caldo e a fabricação de açúcar geram condensados que podem ser reutilizados.

- Condensados dos aquecedores de caldo: para a descontaminação e decantação do caldo, utiliza-se aquecedores e como fonte de aquecimento o vapor de escape ou vapor vegetal provenientes da caldeira.
- Condensados do conjunto de evaporação do caldo: condensação do vapor de escape e vapores vegetais do caldo, podendo retornar a caldeira.
- Condensados dos cozedores (ou vácuos) de xarope: na cristalização do xarope gera-se condensados vegetais que podem ser reaproveitados nas caldeiras de baixa pressão.

### 6.3.4. Flegmaça

A flegmaça é subproduto da destilação do vinho na produção do álcool (SOUZA, 2010).

### 6.3.5. Vinhaça

Líquido derivado da destilação do vinho, que é resultante da fermentação do caldo da cana de açúcar ou do melaço (CETESB P4.231).

## 6.4. Volume de água utilizado por tonelada de cana processada

Em uma usina sucroenergética onde se produz 50% etanol e 50% açúcar o consumo médio de água resulta em 22 m<sup>3</sup> por tonelada de cana de açúcar processada. Algumas medidas estão reduzindo este valor como a aplicação da lavagem a seco para a cana e a utilização do vapor em processos de produção de energia antes utilizam a própria água (ANA, 2009). A quantidade de água utilizada nos setores produtivos é apresentada na Tabela 2.

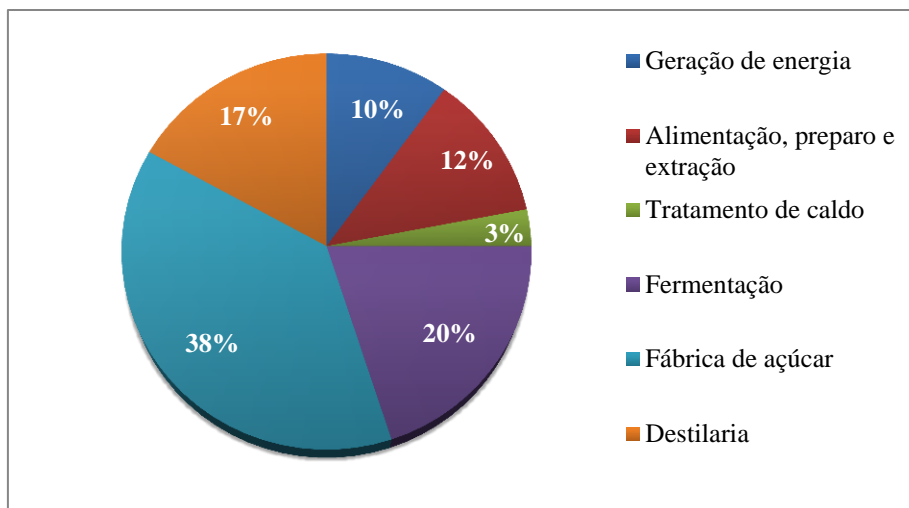
**Tabela 2.** Usos médios da água em unidades produtoras de etanol e açúcar

| Setor   | Finalidade              | Uso médio                |     |
|---|-------------------------|--------------------------|-----|
|   |                         | (m <sup>3</sup> /t cana) | (%) |
| Alimentação, preparo e extração (moendas e difusores) | Lavagem da cana         | 2,200                    | 9,9 |
|   | Embebição               | 0,250                    | 1,1 |
|   | Resfriamento de mancais | 0,035                    | 0,2 |
|   | Resfriamento do óleo    | 0,130                    | 0,6 |

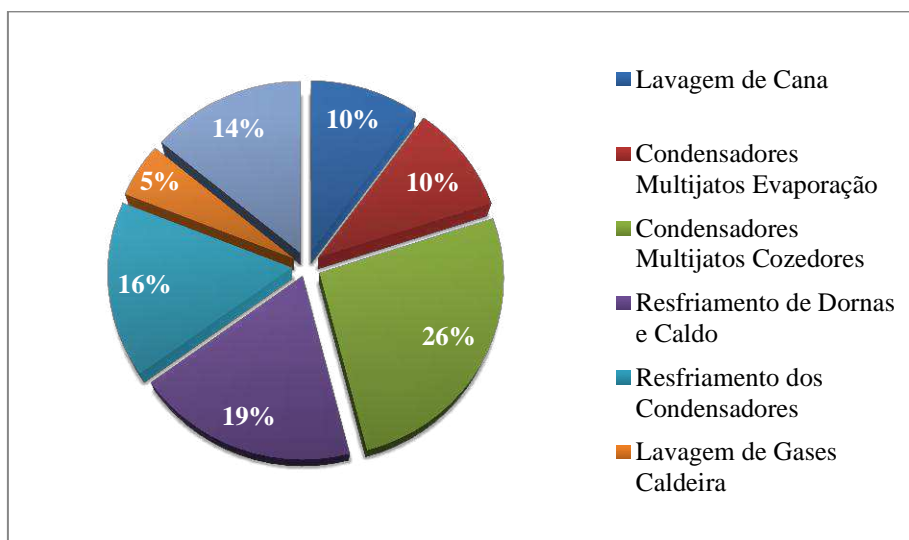
| Setor                                     | Finalidade                            | Uso médio                |            |      |
|---|---------------------------------------|--------------------------|------------|------|
|   |                                       | (m <sup>3</sup> /t cana) | (%)        |      |
|   | <i>Subtotal</i>                       | 2,615                    | 11,8       |      |
| <b>Tratamento de caldo</b>                | Resfriamento coluna sulfitação        | 0,050                    | 0,2        |      |
|   | Preparo de leite de cal               | 0,030                    | 0,1        |      |
|   | Preparo de polímero                   | 0,008                    | 0,0        |      |
|   | Aquecimento do caldo                  | p/ açúcar                | 0,080      | 0,4  |
|   |                                       | p/ etanol                | 0,025      | 0,1  |
|   | Lavagem da torta                      | 0,030                    | 0,1        |      |
|   | Condensadores dos filtros             | 0,350                    | 1,6        |      |
|   | <i>Subtotal</i>                       | 0,573                    | 2,6        |      |
| <b>Fábrica de açúcar</b>                  | Vapor para evaporação                 | 0,207                    | 0,9        |      |
|   | Condensadores/multijatos evaporação   | 2,250                    | 10,2       |      |
|   | Vapor para cozimento                  | 0,085                    | 0,4        |      |
|   | Condensadores/multijatos cozedores    | 5,750                    | 26,0       |      |
|   | Diluição de méis e magas              | 0,030                    | 0,1        |      |
|   | Retardamento do cozimento             | 0,010                    | 0,0        |      |
|   | Lavagem de açúcar                     | 0,015                    | 0,1        |      |
|   | Retentor de pó de açúcar              | 0,020                    | 0,1        |      |
|   |                                       | <i>Subtotal</i>          | 8,367      | 37,8 |
|   | <b>Fermentação</b>                    | Preparo do mosto         | 0,100      | 0,5  |
| Resfriamento do caldo                     |                                       | 1,250                    | 5,6        |      |
| Preparo do pé de cuba                     |                                       | 0,001                    | 0,0        |      |
| Lavagem gases CO <sub>2</sub> Fermentação |                                       | 0,015                    | 0,1        |      |
| Resfriamento de dornas                    |                                       | 3,000                    | 13,6       |      |
|   |                                       | <i>Subtotal</i>          | 4,366      | 19,7 |
| <b>Destilaria</b>                         | Aquecimento (vapor)                   | 0,360                    | 1,6        |      |
|   | Resfriamento dos condensadores        | 3,500                    | 15,8       |      |
|   | <i>Subtotal</i>                       | 3,860                    | 17,4       |      |
| <b>Geração de energia</b>                 | Produção de vapor direto              | 0,500                    | 2,3        |      |
|   | Dessuperaquecimento                   | 0,015                    | 0,1        |      |
|   | Lavagem de gases da caldeira          | 1,000                    | 4,5        |      |
|   | Limpeza dos cinzeiros                 | 0,250                    | 1,1        |      |
|   | Resfriamento óleo e ar turbogeradores | 0,500                    | 2,3        |      |
|   | Águas torres de condensação           | 6,0                      | 27,1       |      |
|   |                                       | <i>Subtotal</i>          | 2,265      | 10,2 |
| <b>Outros</b>                             | Limpeza pisos e equipamentos          | 0,050                    | 0,2        |      |
|   | Uso potável                           | 0,030                    | 0,1        |      |
|   | <i>Subtotal</i>                       | 0,080                    | 0,4        |      |
|   | <b>Total</b>                          | <b>22,126</b>            | <b>100</b> |      |

Fonte: ANA, 2009.

Deste modo, a Tabela 2 pode ser visualizada de uma forma simplificada pelas Figuras 13 e 14, onde mostra-se a distribuição média dos usos por setores na usina sucroenergética.



**Figura 13.** Distribuição média dos usos setoriais de água na indústria sucroenergética.  
Fonte: ANA, 2009.



**Figura 14.** Distribuição Média dos Usos Pontuais de água na Indústria Sucroenergética.  
Fonte: ANA, (2009).

Segundo a ANA (2009) o uso médio de água utilizada por tonelada de cana de açúcar processada é 22m<sup>3</sup>. No entanto, esse volume utilizado não reflete o volume captado, pois existem ciclos de fechamento de circuito de água dentro dos processos industriais, ocorrendo reuso do efluente, reciclagem e a própria redução no consumo.

## **6.5. Usos de água nos processos industriais da sucroenergética**

O Balanço Hídrico Industrial é uma ferramenta que possibilita o conhecimento do consumo de água de cada processo dentro da indústria, deste modo, é possível detectar probabilidades de fechamento de circuito através da redução de seu consumo, da reutilização dentro do sistema e da reciclagem do efluente.

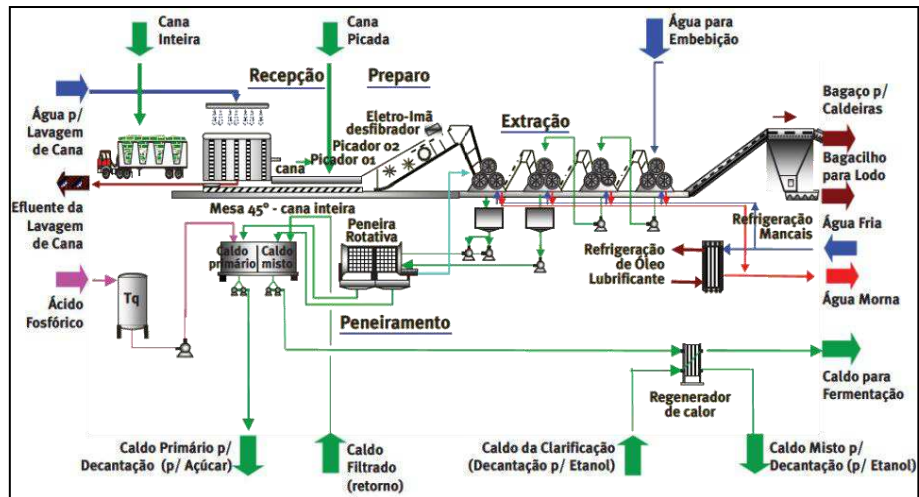
Para realizar o fechamento de circuito é necessário avaliar as características dos processos industriais, ou seja, as características físico-químicas da água que entra no processo e do efluente que sai do mesmo, para ser viável o reaproveitamento. Os usos da usina sucroenergética que serão descritos abaixo são apresentados pelo Manual de Usos e Reusos do setor sucroenergético desenvolvido pela ANA (2009).

### **6.5.1. Água na recepção e preparo da cana e extração do caldo**

De acordo com a ANA (2009) “nesta primeira a água é utilizada para lavagem da cana, embebição das moendas e resfriamento de equipamentos”. A lavagem da cana adotada esta diretamente ligada à colheita dessa cana se ocorreu de forma manual ela chegará a usina com impurezas minerais e inteira, assim na sua limpeza deve ser utilizada água num sistema fechado devido a grande quantidade; porém se a colheita for mecanizada a cana é entregue picada a usina e deve ser lavada a seco assim o consumo de água é consideravelmente menor que a primeira opção.

A extração do caldo gera dois caldos, o primário que não foi adicionado água, geralmente, encaminhado à fabricação de açúcar e o caldo misto onde foi adicionada água, posteriormente dirigido à fabricação de álcool.

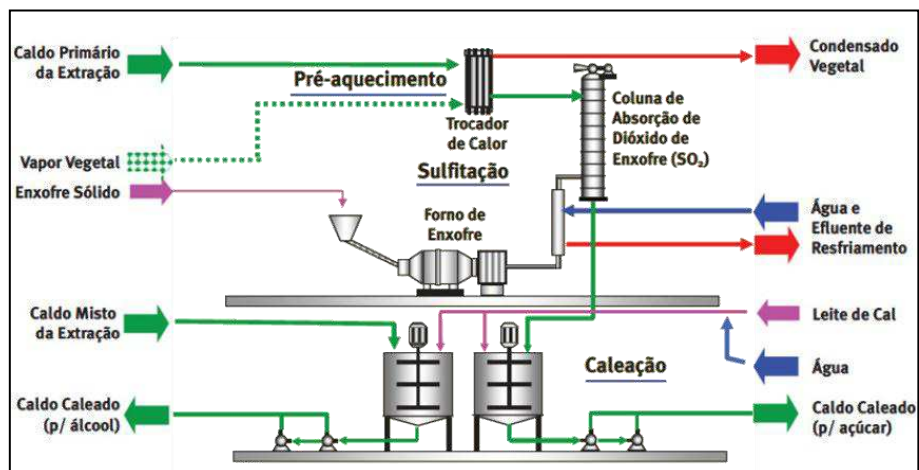
O terceiro e último uso de água nesta etapa se refere ao resfriamento de óleo e mançais, esta água não se contamina com óleo e graxa, exceto em caso de vazamento. Estes processos podem ser visualizados na Figura 15.



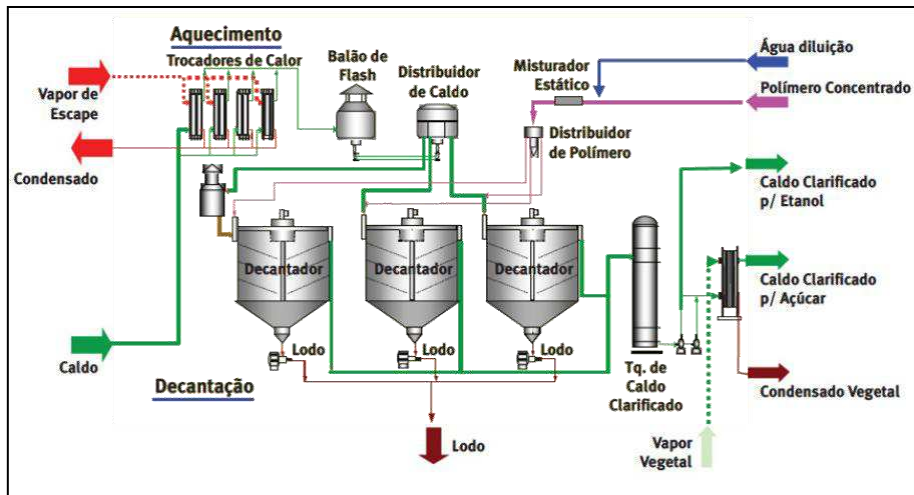
**Figura 15.** Fluxograma da recepção da cana de açúcar, preparo e extração do caldo.  
Fonte: ANA (2009).

### 6.5.2. Água no setor de tratamento de caldo

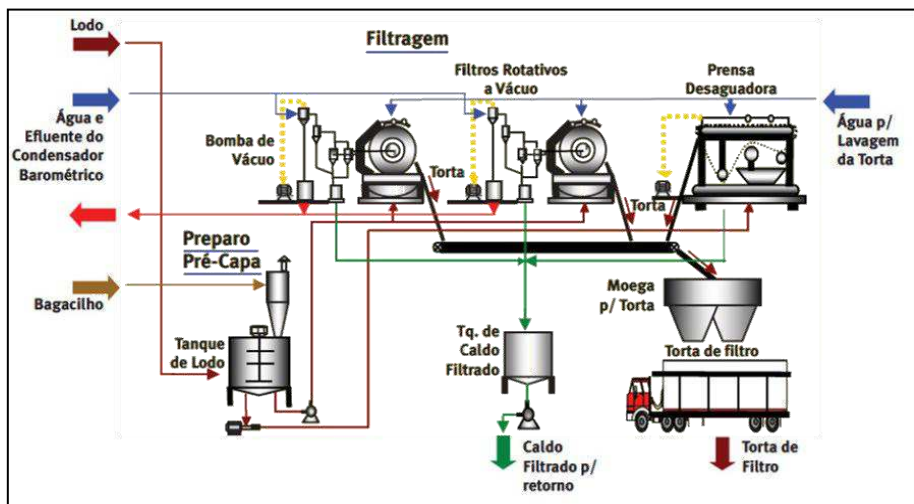
Segundo a ANA (2009) no tratamento de caldo, basicamente, são cinco usos da água: resfriamento da sulfitação do caldo, formação do leite de cal, preparo de polímero, lavagem de torta, aquecimento do caldo e condensadores barométricos dos filtros rotativos com vácuo. As Figuras 16, 17 e 18 apresentam a etapa de tratamento de caldo: pré-aquecimento, sulfitação e caleação, tratamento de caldo: aquecimento e decantação e tratamento de caldo: lavagem da torta respectivamente.



**Figura 16.** Fluxograma do tratamento de caldo: pré-aquecimento, sulfitação e caleação.  
Fonte: ANA (2009).



**Figura 17.** Fluxograma do tratamento de caldo: aquecimento e decantação.  
Fonte: ANA (2009).



**Figura 18.** Fluxograma do tratamento de caldo: lavagem da torta.  
Fonte: ANA (2009).

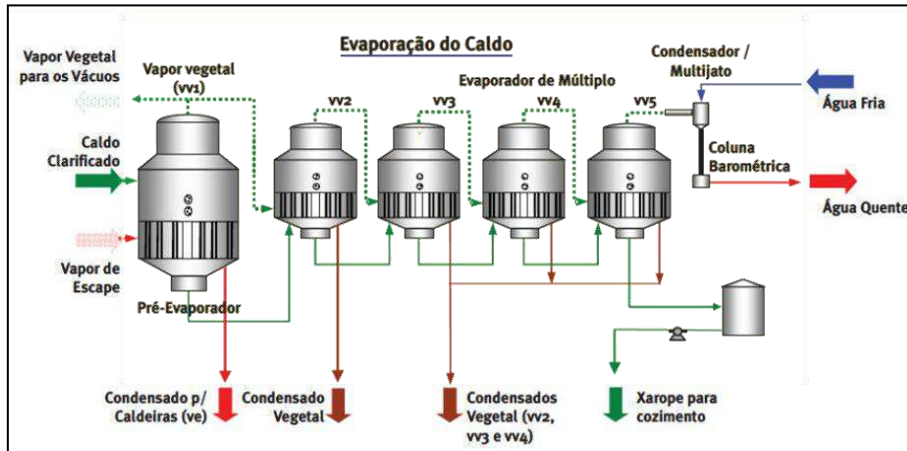
### 6.5.3. Água no setor de fabricação de açúcar

Para produção do açúcar o caldo clarificado é evaporado, resultando num xarope onde é cozido e cristalizado, formando o açúcar cristal. Neste processo obtêm-se mel e melaço que são encaminhados a produção de etanol (ANA 2009).

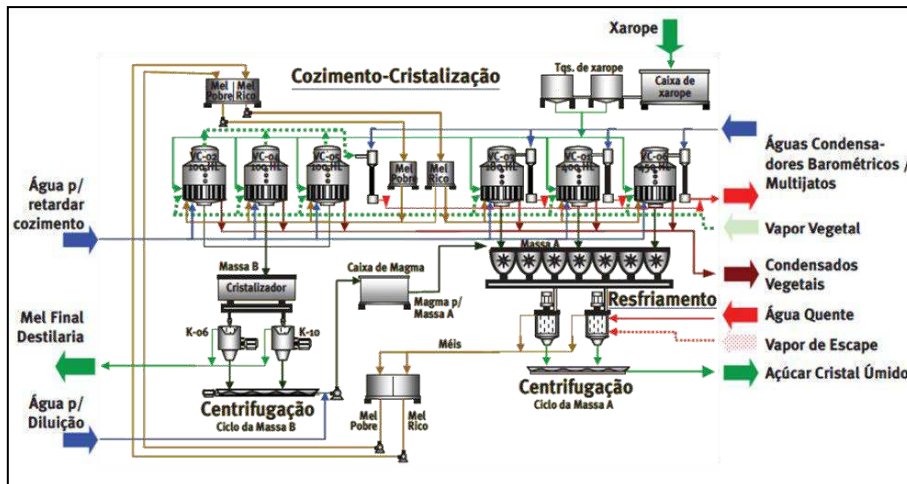
Os usos da água neste processo: água para o condensador barométrico da evaporação do caldo, água para o condensador barométrico dos cozedores, água de retardamento do cozimento, água para diluição de méis e magmas e água para a lavagem de açúcar nas centrífugas. As Figuras 19, 20 e 21 apresentam o fluxograma do setor de evaporação do caldo da fábrica de açúcar, o fluxograma dos setores de cozimento, cristalização e



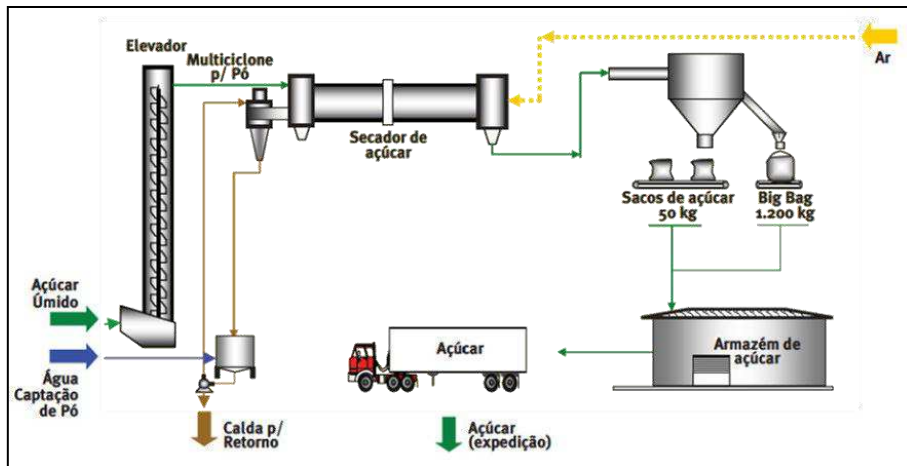
centrifugação da fábrica de açúcar e o fluxograma do setor de secagem e ensaque do açúcar, respectivamente.



**Figura 19.** Fluxograma do setor de evaporação do caldo da fábrica de açúcar.  
Fonte: ANA (2009).



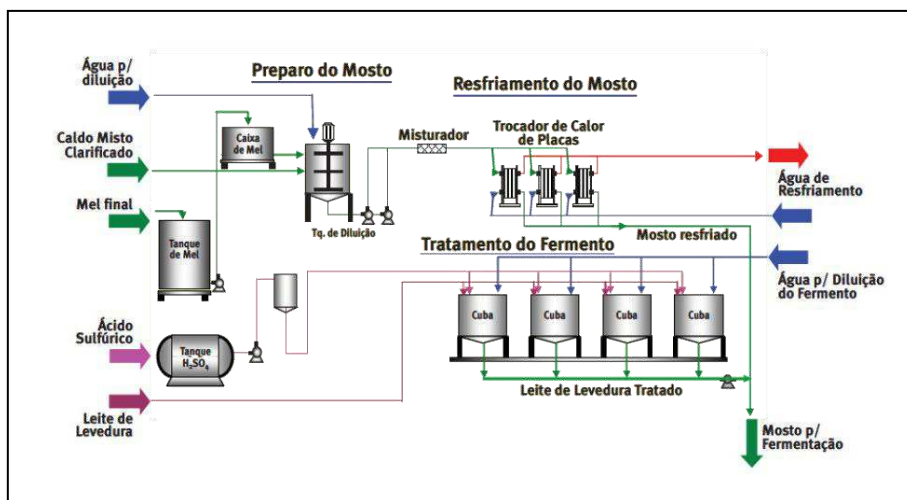
**Figura 20.** Fluxograma dos setores de cozimento, cristalização e centrifugação da fábrica de açúcar.  
Fonte: ANA (2009).



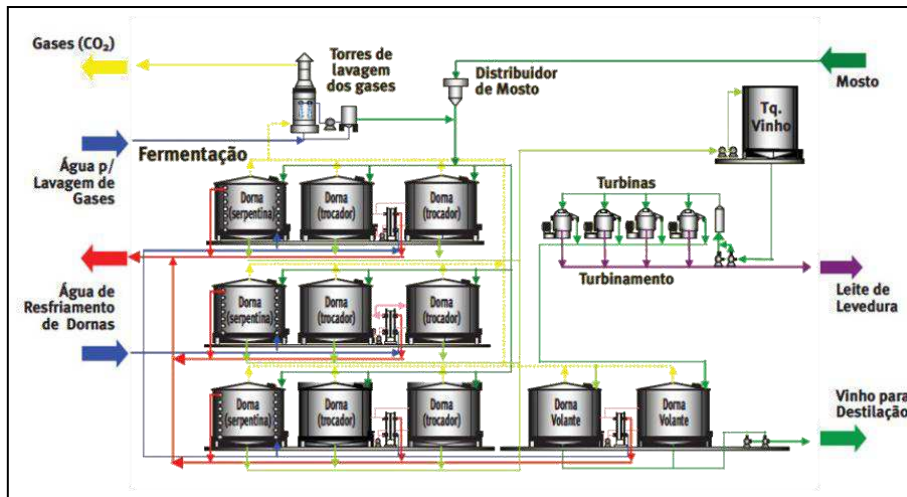
**Figura 21.** Fluxograma do setor de secagem e ensaque do açúcar.  
Fonte: (ANA 2009)

#### 6.5.4. Água na fermentação

Na fermentação, prepara-se o mosto (água, caldo e méis), sendo resfriado, recebe o leite de levedura, será fermentado em dornas e centrifugado, formando o vinho de levedurado que é encaminhado a destilação (ANA 2009). A água possui cinco usos: água para preparo do mosto, água para resfriamento do mosto, água para diluição do fermento, água de lavagem de gases da fermentação e água para resfriamento das dornas de fermentação. As Figuras 22 e 23 apresentam o fluxograma das operações de preparo e tratamento do mosto para a fermentação e o fluxograma dos processos da fermentação do mosto, respectivamente.



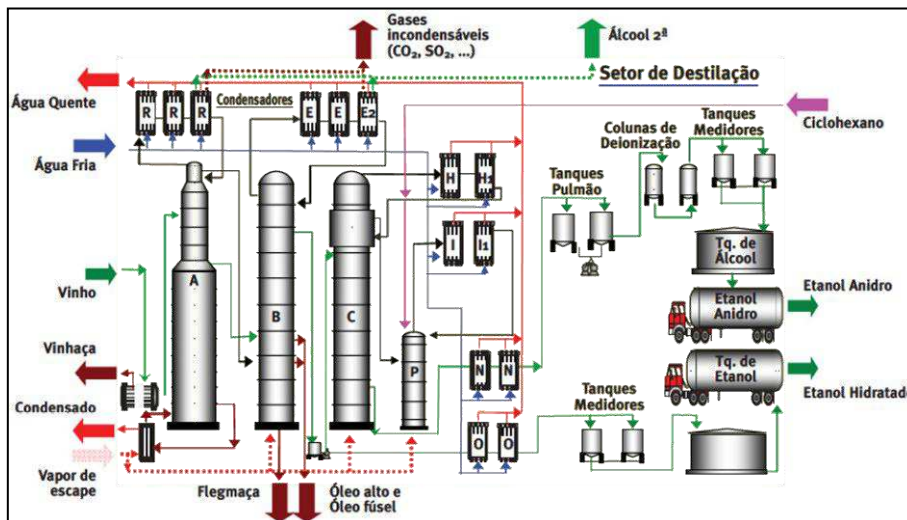
**Figura 22.** Fluxograma das operações de preparo e tratamento do mosto para a fermentação.  
Fonte: (ANA 2009)



**Figura 23.** Fluxograma dos processos da fermentação do mosto.  
Fonte: (ANA 2009)

### 6.5.5. Água na destilaria

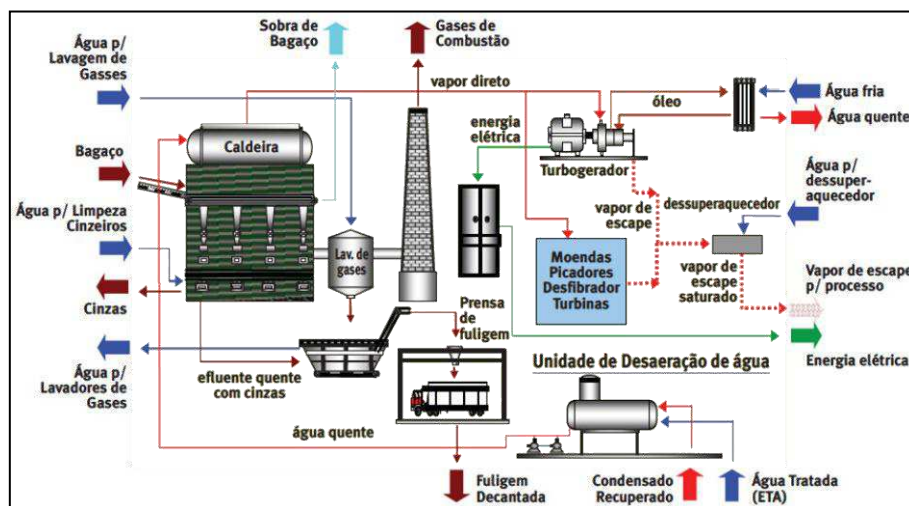
O vinho entra na primeira coluna de destilação onde é aquecido com vapor de escape e enviado a segunda coluna, produzindo etanol hidratado e se for encaminhando a terceira coluna será desidratado e formará o etanol anidro. A primeira coluna gera vinhaça e a segunda coluna flegmaça, utilizando grande quantidade de água para a condensação do etanol evaporado (ANA 2009). Na Figura 24 é apresentado o processo industrial de destilação do etanol.



**Figura 24.** Fluxograma das operações da destilação do etanol.  
Fonte: ANA (2009).

### 6.5.6. Água na área de energia

O fluxograma da Figura 25 apresenta as operações de geração de energia, caldeiras e turbogeradores. A combustão do bagaço na fornalha aquece as águas das caldeiras que gera uma força motriz para movimentar equipamentos e turbogeradores de energia que abastecem a usina e suas concessionárias de energia (ANA 2009).



**Figura 25.** Fluxograma das operações da área de produção de energia.  
Fonte: ANA (2009).

A geração de energia utiliza-se a água de cinco modos, água para geração do vapor direto, água para dessuperaquecedor, água para lavagem dos gases de combustão das caldeiras, água de limpeza dos cinzeiros e água para resfriamento dos turbogeradores.

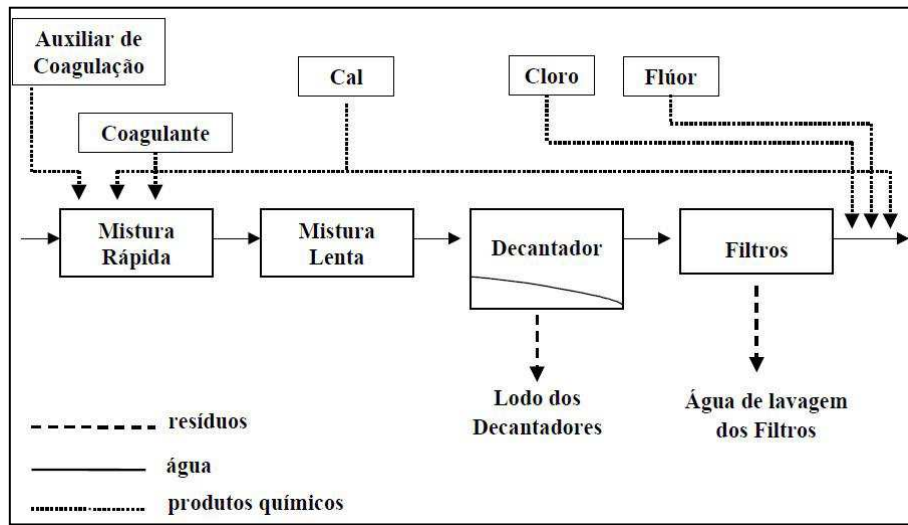
### 6.5.7. Água para outros usos

Outros usos são a limpeza de pisos e equipamentos e água para uso doméstico. A quantidade de água aceitável para a limpeza de pisos e equipamentos seria de 50l/t cana.

Segundo a ABNT/NBR 7.229/1993, a taxa por funcionário é 70 litros e mais 25 litros por refeição. A água potável é obtida de poços profundos ou de águas superficiais após passar pela estação de tratamento de água, e devem ser tratadas em seguida ao uso.

O tratamento de água deve ser considerado um processo industrial, pois há produção de água potável, com geração de resíduos que devem receber uma destinação final adequada (ACHON, 2008). Desta forma, no sistema de tratamento de água pode-se aplicar o fechamento de circuito de água ou alguma medida de redução nos efluentes gerados.

Na Figura 26 apresenta-se um sistema de tratamento convencional de água.



**Figura 26.** Sistema de tratamento de água.  
Fonte: adaptado Parsekian (1998).

## 6.6. Fechamento de Circuito

O fechamento de circuito de água é uma forma de reutilizar a água que está sendo descartada de um processo, ou seja, é considerada como água residuária. Segundo Franco (2007) a água de reuso contribui para a redução da captação de água e consequentemente reduz as vazões de lançamento de efluentes. Diante deste fechamento é indispensável às questões de saúde pública, assim a qualidade da água deve ser compatível a sua utilização.

A água de reuso pode ser utilizada na indústria, em torres de resfriamento, caldeiras, construção civil, irrigação de áreas verdes, em locais que a água com menor padrão de qualidade não traga problemas. Deste modo, a primeira opção para o reuso da água deve ser para fins não potáveis (MIERZWA e HESPANHOL, 2002).

## 6.7. Reutilização e Reciclagem dos efluentes no Setor Sucroenergético

### 6.7.1. Tratamento de água de lavagem de cana

O efluente gerado após a lavagem da cana necessita de tratamento para remoção das impurezas minerais e da matéria orgânica. Geralmente, o sistema de lavagem da cana é fechado devido a grande quantidade de água empregada e ao tratamento dedicado ao efluente para seu lançamento (ANA, 2009).

A lavagem com água cabe somente à cana colhida manualmente, ou seja, que se encontra inteira e com significativos teores de terra agregadas. O tratamento realizado nestas condições é somente físico, possibilitando a recirculação desta água de lavagem e o tratamento geralmente é composto por [gradeamento], caixas de areia, [seguido de] lagoas de sedimentação ou decantadores circulares (BRAILE et al., 1993).

A colheita mecanizada da cana de açúcar entrega-a a usina de forma picada o que significa grandes perdas de açúcar se for lavada com água e não possui grande quantidade de impurezas minerais, assim o recomendável é a lavagem a seco (ANA, 2009).

### **6.7.2. Resfriamento dos efluentes**

Os efluentes quentes são originados nos condensadores barométricos ou multijatos, cozedores a vácuo e condensadores dos filtros rotativos a vácuo são tratados para a retirada da carga térmica. São caracterizados por possuir baixa contaminação, alta temperatura e grande volume (ANA, 2009). Um simples resfriamento já possibilita a sua utilização na mesma área ou em outros setores da indústria.

Segundo Pilon (2010), o resfriamento ocorre através de tanques aspersores ou torres de resfriamento. Ambos os processos promovem a evaporação da água quente através da recirculação do ar internamente. O resfriamento nas torres de resfriamentos ocorre através do contato da água quente e o ar, causando evaporação de parte da água, baixando assim a sua temperatura (ANA, 2009).

O resfriamento de dornas, juntamente com o resfriamento do caldo para destilaria e condensadores de álcool são processos que geram efluentes quentes, apesar de serem límpidos. A legislação (Resolução CONAMA 430/2011) não permite o lançamento de efluentes com temperatura maior que 40°C ou que aumente 3°C à temperatura do corpo receptor (BRAILE et al., 1993 apud FREITAS & FERREIRA).

As torres de resfriamento ou a aspersão poderiam ser utilizadas, no entanto, são pouco eficientes. Portanto, haverá restrições para alguns processos como a fermentação que exige uma água com baixa temperatura, dessa forma, estes efluentes não poderão ser utilizados.

### **6.7.3. Tratamento dos despejos da lavagem de chaminé**

Os efluentes das lavagens dos gases da chaminé, contém um número considerável de sólidos suspensos e matéria orgânica, inviabilizando o lançamento nos corpos hídricos sem tratamento. O tratamento adequado ao efluente da lavagem do gás da chaminé da caldeira, num sistema fechado, resume-se a decantação através de um decantador seguido de sistema de flotação, que se resume na aplicação de polímero no efluente para a sua floculação seguido de injeção de microbolha de ar e posteriormente a remoção do material suspenso (ANSELMÍ, 2009).

Segundo Anselmi (2009), os decantadores seguidos de flotores podem também receber o efluente da limpeza de cinzeiros das caldeiras. Os resíduos mais pesados decantam e os mais leves flutam em sua superfície. Os raspadores retiram o lodo do fundo e da superfície, que é encaminhado à lavoura, mas antes o lodo pode ser prensado para retornar água ao sistema de lavagem para reduzir o volume.

### **6.7.4. Tratamento e reuso dos efluentes mornos de resfriamento de equipamentos**

Segundo Anselmi (2009) os efluentes mornos vindos dos resfriamentos de equipamentos da alimentação preparam e extração do caldo, tratamento do caldo e da seção de energia, este efluente é límpido e de temperatura baixa. No momento em que há o excesso desse efluente deve-se incluir no circuito de água, torres de resfriamento.

### **6.7.5. Tratamento e reuso de condensados**

De acordo com ANA (2009) os condensados da fabricação de açúcar são provenientes do aquecimento, evaporação e cozimento, sendo caracterizados por vapor de escape ou vapor vegetal. Os condensados de menor qualidade são utilizados a embebição, diluição de cal, lavagem de torta, diluição de magma e méis, retardamento do cozimento, lavagem do açúcar, reposição de água em circuitos fechados para suprir perdas, lavagem de cana, lavagem dos gases das caldeiras, sistemas de resfriamentos, dentre outros.

As perdas de água que ocorrem por evaporação e purgas nos circuitos, e pelas águas incorporadas nos resíduos e produtos finais podem chegar a 0,9m<sup>3</sup>/t de cana moída, deste modo, expõe a importância da racionalização e aplicação de tecnologias de produção mais limpa neste setor (ANA, 2009).

#### **6.7.6. Blindagem mancais das moendas**

Tem por objetivo evitar a entrada de caldo, areia e bagacilho nos mancais, causa a ruptura da película de filme de óleo de lubrificação e aquecimento e desgaste.

O sistema de vedação atual utiliza anéis retentores e raspadores de borracha, que deslizam sobre anéis de vedação com revestimento em inox. Portanto, perde-se menos óleo e se contamina menos a água de lavagem dos equipamentos (ANA, 2009). Esta água possui baixa temperatura e reduzida concentração de sólidos suspensos e dissolvido, podendo ser reaproveitada em outros processos internos onde não exige uma qualidade tão elevada para tal.

#### **6.7.7. Evaporação com sangria nos demais efeitos**

Pode-se reduzir o consumo de água para resfriamento otimizando as sangrias nos demais efeitos. O vapor produzido é próximo da quantidade de vapor necessário (ANA, 2009).



## 7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 7.1. O consumo de água bruta/produção em comparação com os dados encontrados na literatura

O consumo de água está descrito no balanço hídrico da empresa, demonstrando os processos envolvidos e a classificação de cada água.

Existem diversas terminologias para os tipos de águas utilizados no setor sucroenergético. As definições abaixo foram obtidas junto à equipe operacional da Usina em estudo.

- **Água industrial:** água bruta, ou seja, captada do rio sem passar por tratamento;
- **Água filtrada:** água do rio que passou por um tratamento físico-químico e se tornou clarificada;
- **Água de resfriamento:** água filtrada, com a finalidade de resfriar os equipamentos da indústria. Na entrada das torres de resfriamento a água é quente devido a passagem nos equipamentos e na saída da torre de resfriamento a água é fria retornando aos equipamentos da indústria;
- **Água residuária:** água utilizada de processos que possui alguma das suas características alteradas, por exemplo, concentração de turbidez, sólidos suspensos, pH e temperatura, que para ser novamente utilizada deve ser submetida a tratamentos;
- **Condensado:** vapor resfriado e que condensou, tomando a forma líquida;
- **Vapor:** água na forma gasosa, ou seja, que atingiu seu ponto de ebulição;
- **Água com cinzas:** água proveniente da lavagem dos gases da caldeira que receberá tratamento, antes do seu lançamento.

O levantamento hídrico foi realizado através do balanço hídrico desenvolvido pela Usina e análise dos funcionários, onde foi identificado o consumo dos setores e a qualidade da água. O balanço hídrico pode ser representado integralmente pela Tabela 3.

**Tabela 3.** Balanço hídrico da Usina em estudo.

| Atividade   | Volume (m <sup>3</sup> /t) |
|---|----------------------------|
| Caixa de água industrial                            | 1,111                      |
| ETA   | 0,697                      |
| Embebição da moenda                                 | 0,300                      |
| Embebição do lodo                                   | 1,460                      |
| Lavagem de correntes                                | 0,005                      |
| Limpezas gerais                                     | 0,010                      |
| Lavagem de telas dos filtros                        | 0,090                      |
| Hidrojateamento dos evaporadores                    | 0,010                      |
| Caixa de água com fuligem                           | 0,545                      |
| DESMI   | 0,035                      |
| Diluição do Mosto                                   | 0,010                      |
| Diluição do leite da levedura                       | 0,065                      |
| Lavagem de CO <sub>2</sub>                          | 0,044                      |
| Diluição de soda caustica                           | 0,010                      |
| Preparo de polímeros                                | 0,010                      |
| Preparo de leite de cal                             | 0,010                      |
| Lavagem das centrifugas de açúcar                   | 0,004                      |
| Selagem de bombas a vácuo                           | 0,065                      |
| Torre de resfriamento de fermentação/destilaria     | 5,379                      |
| Resfriador de mosto                                 | 0,794                      |
| Resfriadores de vinho                               | 4,413                      |
| Condensadores da destilaria                         | 4,413                      |
| Torre de resfriamento da turbina de condensação     | 8,020                      |
| Condensador   | 7,828                      |
| Torre de resfriamento de sistema de ar condicionado | 0,205                      |
| Ar condicionado                                     | 0,200                      |
| Torre de resfriamento da fábrica de açúcar          | 3,353                      |
| Bombas a vácuo                                      | 0,036                      |
| Condensador barométrico Evaporação                  | 0,432                      |
| Condensador barométrico cozimento                   | 2,830                      |
| Consumo humano/administração                        | 0,011                      |
| Estação de tratamento de efluentes                  | 0,011                      |
| Torre de resfriamento de óleo e mancais             | 1,014                      |
| Mancais Picador e Desfibrador                       | 0,007                      |
| Redutores Planetários Picador e Desfibrador         | 0,011                      |
| Eletroímã   | 0,003                      |
| Mancais ternos de moenda                            | 0,057                      |

| <b>Atividade</b>                                   | <b>Volume (m<sup>3</sup>/t)</b> |
|--|---------------------------------|
| <b>Redutores planetários ternos da moenda</b>      | 0,045                           |
| <b>Resfriador de óleo turbo-bombas</b>             | 0,443                           |
| <b>Condensador de vapor de fuga</b>                | 0,091                           |
| <b>Resfriador de ar gerador</b>                    | 0,222                           |
| <b>Ventiladores tiragem induzida das caldeiras</b> | 0,040                           |
| <b>Turbo-bombas</b>                                | 0,001                           |
| <b>Resfriador de óleo turbo-bombas</b>             | 0,040                           |
| <b>Moto-bombas</b>                                 | 0,010                           |
| <b>Resfriadores de amostras</b>                    | 0,011                           |
| <b>ETALG</b>                                       | 0,519                           |
| <b>Torta (cinzas)</b>                              | 0,009                           |
| <b>Lavador de gases da caldeira</b>                | 0,510                           |
| <b>Tanque de condensado de VE</b>                  | 0,474                           |
| <b>Tanque de condensado de V1</b>                  | 0,209                           |
| <b>Tanque de condensado contaminado</b>            | 0,378                           |
| <b>Desaerador</b>                                  | 0,05                            |
| <b>Caldeira de alta pressão</b>                    | 0,512                           |
| <b>Produto final</b>                               | 0,002                           |
| <b>Bagaço</b>                                      | 0,157                           |
| <b>Torta (Lodo)</b>                                | 0,032                           |
| <b>Sangria de Leveduras</b>                        | 0,017                           |
| <b>Flash Decantadores tanque de condensado</b>     | 0,017                           |
| <b>Perdas indeterminadas</b>                       | 0,010                           |
| <b>Vinhaça</b>                                     | 0,460                           |
| <b>Evaporação</b>                                  | 0,515                           |
| <b>Flegmaça</b>                                    | 0,079                           |
| <b>Limpeza de dornas</b>                           | 0,006                           |
| <b>Limpeza de tanques</b>                          | 0,004                           |
| <b>Caixa de água residual</b>                      | 1,050                           |

A Tabela 3 apresenta os valores dos volumes de água usada pela indústria estudada nos diferentes setores. Vale ressaltar que os volumes de uso da água é diferente do volume do consumo real. O volume de uso da água é a quantidade total de água necessária para os processos e o volume do consumo real é a quantidade de água captada nos corpos hídricos, considerando a reutilização e a reciclagem desse recurso. As Tabelas 4, 5, 6,7 e 8 apresentam os volumes de uso nos setores da moenda, tratamento de caldo, fábrica de açúcar, fermentação/destilação e cogeração de energia respectivamente.

**Tabela 4.** Uso médio na Moenda

| Atividade                                     | Uso médio (m <sup>3</sup> /t) |
|---|-------------------------------|
| Embebição da moenda                           | 0,300                         |
| Embebição do lodo                             | 0,146                         |
| Lavagem de correntes                          | 0,005                         |
| Lavagem de telas de filtros                   | 0,090                         |
| Mancais - Picador e desfibrador               | 0,007                         |
| Redutores planetários – Picador e desfibrador | 0,011                         |
| Mancais - Ternos da moenda                    | 0,057                         |
| Eletroimã                                     | 0,003                         |
| Redutores planetários – Ternos da moenda      | 0,045                         |
| <b>Total</b>                                  | <b>0,665</b>                  |

**Tabela 5.** Uso médio no Tratamento de Caldo

| Atividade                               | Uso médio (m <sup>3</sup> /t) |
|---|-------------------------------|
| Hidrojateamento dos evaporadores        | 0,010                         |
| Preparo de polímeros                    | 0,010                         |
| Preparo de leite de cal                 | 0,010                         |
| Selagem de bombas a vácuo               | 0,065                         |
| Evaporação                              | 0,515                         |
| Flash decantadores tanque de condensado | 0,017                         |
| <b>Total</b>                            | <b>0,627</b>                  |

**Tabela 6.** Uso médio na Fábrica de Açúcar.

| Atividade                            | Uso médio (m <sup>3</sup> /t) |
|--------------------------------------|-------------------------------|
| Lavagem das centrífugas de açúcar    | 0,004                         |
| Bombas a vácuo                       | 0,036                         |
| Condensador Barométrico – Evaporação | 0,432                         |
| Condensador Barométrico – Cozimento  | 2,830                         |
| <b>Total</b>                         | <b>3,301</b>                  |

**Tabela 7.** Uso médio na Fermentação/Destilação.

| Atividade                     | Uso médio (m <sup>3</sup> /t) |
|-------------------------------|-------------------------------|
| Limpeza de dornas             | 0,006                         |
| Limpeza de tanques            | 0,004                         |
| Diluição de soda cáustica     | 0,010                         |
| Lavagem de CO <sub>2</sub>    | 0,044                         |
| Diluição do Mosto             | 0,010                         |
| Diluição de leite de levedura | 0,065                         |
| Resfriador de Mosto           | 0,794                         |
| Resfriadores de vinho         | 4,413                         |
| <b>Total</b>                  | <b>5,346</b>                  |

**Tabela 8.** Uso médio da Cogeração de energia.

| Atividade                                   | Uso médio (m <sup>3</sup> /t) |
|---|-------------------------------|
| Condensador                                 | 7,828                         |
| Ar condicionado                             | 0,200                         |
| Resfriador de óleo turbo-bombas             | 0,443                         |
| Condensador de vapor de fuga                | 0,091                         |
| Resfriador de ar gerador                    | 0,222                         |
| Ventiladores tiragem induzida das caldeiras | 0,040                         |
| Turbo-bombas                                | 0,001                         |
| Resfriador de óleo turbo-bombas             | 0,040                         |
| Moto-bombas                                 | 0,010                         |
| Caldeira de alta pressão                    | 0,512                         |
| <b>Total</b>                                | <b>9,386</b>                  |

A ANA (2009) recomenda o volume médio de 22,046 m<sup>3</sup>/t para uso de água em uma usina de cana de açúcar. O balanço hídrico de água industrial de projeto na usina estudada é de 19,325 m<sup>3</sup>/t cana, ou seja, no total está abaixo dos valores ideais recomendados, porém há dois setores (em vermelho) estão com o consumo acima do recomendado pela ANA (2009) (Tabela 9).

**Tabela 9.** Usos médios de água da Usina e do Manual de Conservação e Reuso de Água na Agroindústria Sucroenergética (ANA, 2009).

| Setor                  | ANA (2009)    | Usina em estudo |
|------------------------|---------------|-----------------|
| Moenda                 | 2,615         | 0,665           |
| Tratamento de caldo    | 0,573         | 0,627           |
| Fábrica de Açúcar      | 8,367         | 3,301           |
| Fermentação/Destilação | 8,226         | 5,346           |
| Geração de energia     | 2,265         | 9,386           |
| <b>Total</b>           | <b>22,046</b> | <b>19,325</b>   |

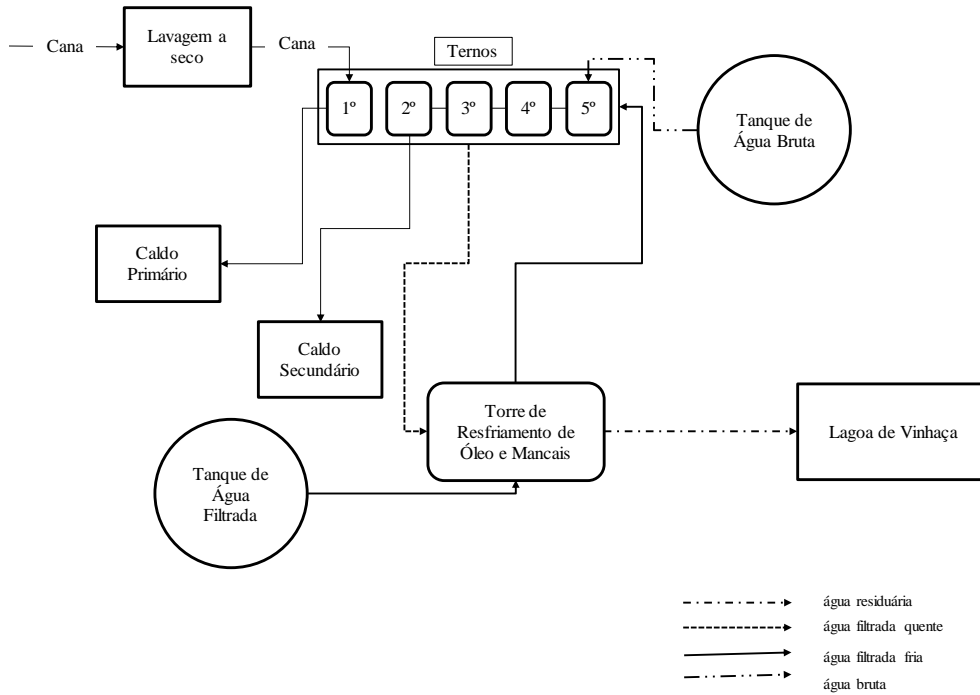
O uso da água não significa o consumo total da mesma, pois na indústria existem unidades unitárias que permitem realizar circuitos fechados da água possibilitando a sua recuperação. O consumo real da água na Usina em estudo é de 1,01 m<sup>3</sup>/t cana. Segundo a ANA (2009) o valor ideal é de 1,00 m<sup>3</sup>/t de cana. Este fato é interessante, mas nestas condições existem poucas oportunidades de fechamento de circuito com vista a redução do consumo de água.

No entanto, mesmo havendo pouca margem para redução do consumo de água, a alta administração da Usina tem como objetivo atingir o consumo de 0,6 m<sup>3</sup>/t cana, que é considerado um “*benchamarkings*” do setor.

## 7.2. Fluxogramas das águas industriais na usina

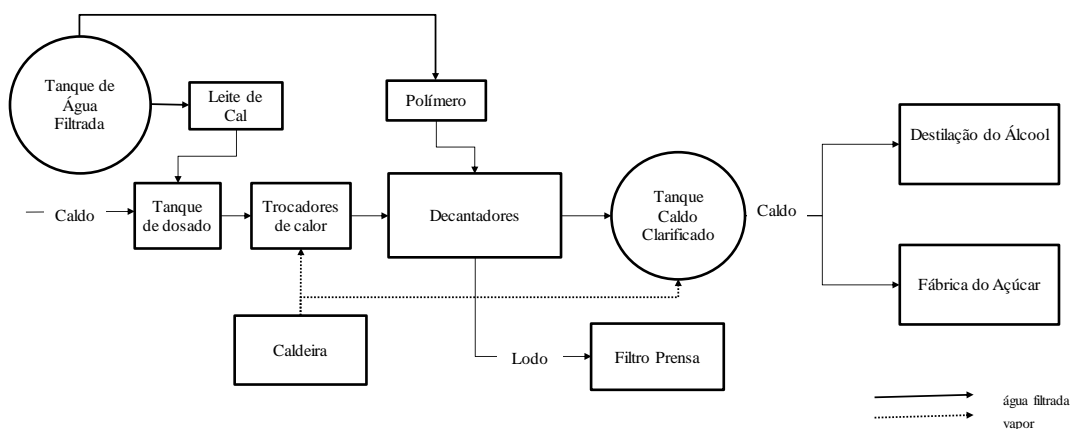
Os diversos usos das águas industriais existentes na usina são apresentados nas Figuras 27 a 38.

A Figura 27 apresenta o fluxograma geral da Moenda.



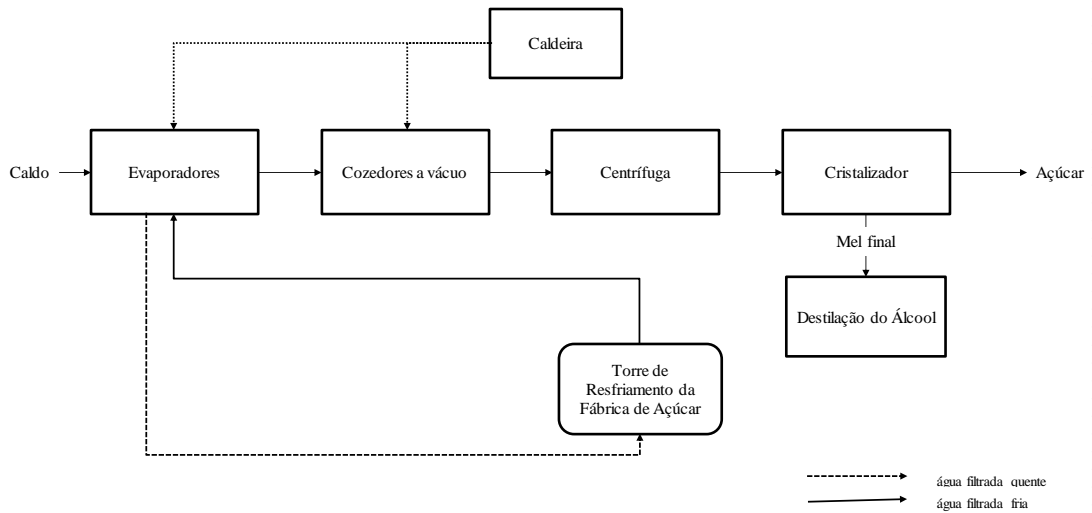
**Figura 27.** Fluxograma da Moenda.

A Figura 28 apresenta o fluxograma do Tratamento de caldo.



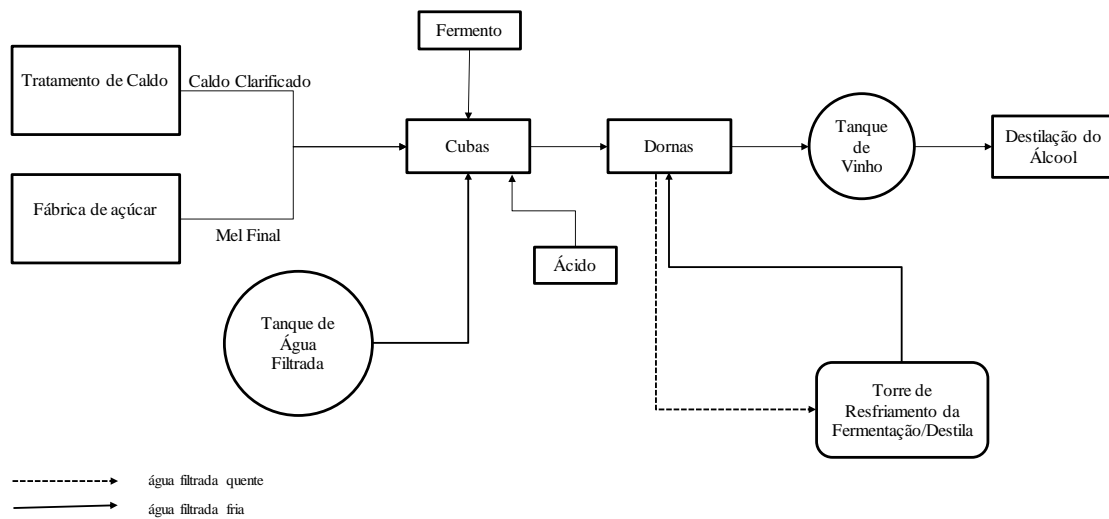
**Figura 28.** Fluxograma do Tratamento de caldo.

A Figura 29 apresenta o fluxograma da Fábrica de Açúcar.



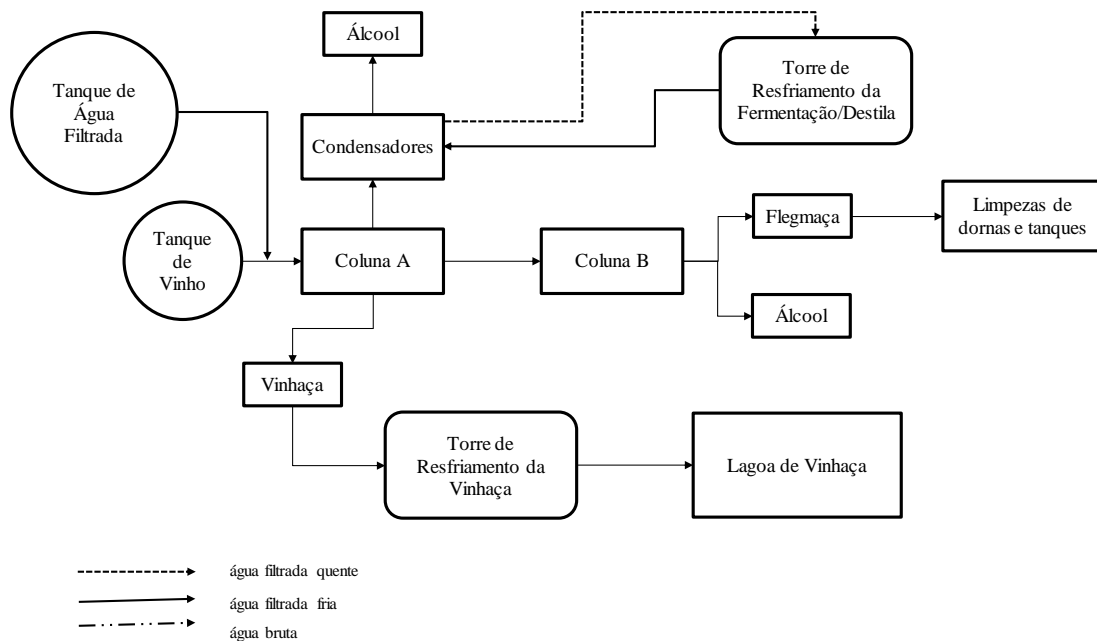
**Figura 29.** Fluxograma da Fábrica de Açúcar.

A Figura 30 exibe o fluxograma da Fermentação.



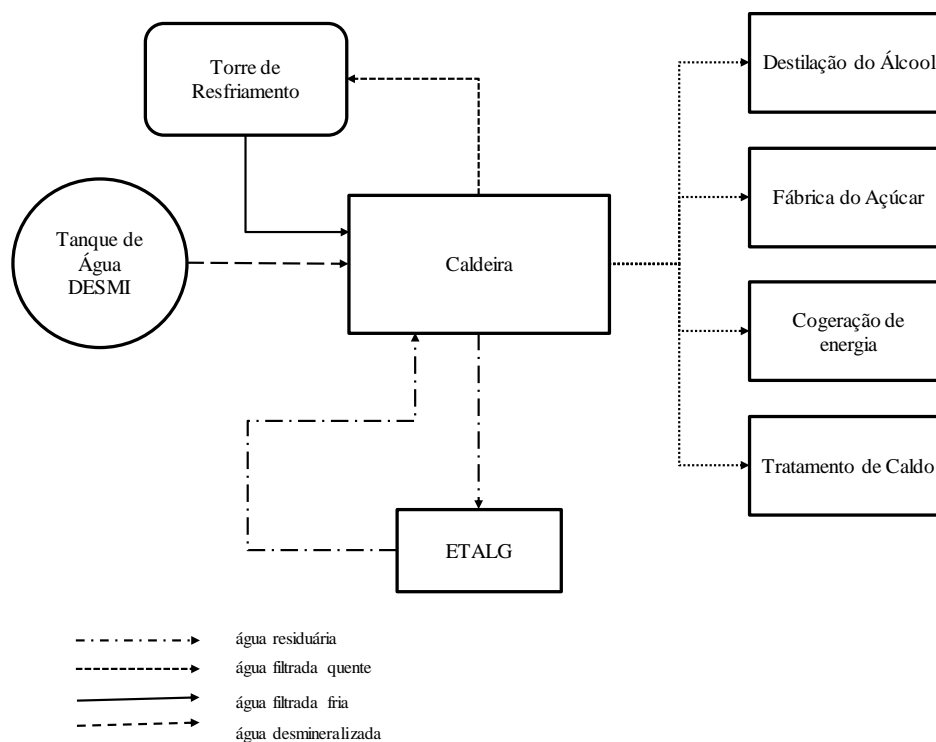
**Figura 30.** Fluxograma da Fermentação.

A Figura 31 apresenta o fluxograma da Destilaria.



**Figura 31.** Fluxograma da Destilaria.

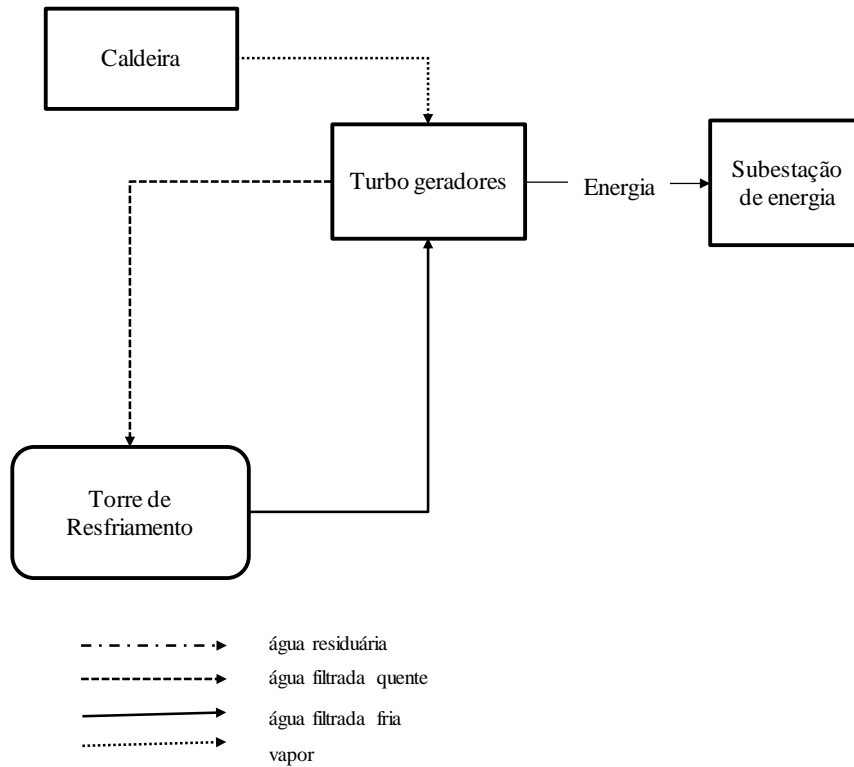
A Figura 32 expõe o fluxograma da Caldeira.



**Figura 32.** Fluxograma da Caldeira.

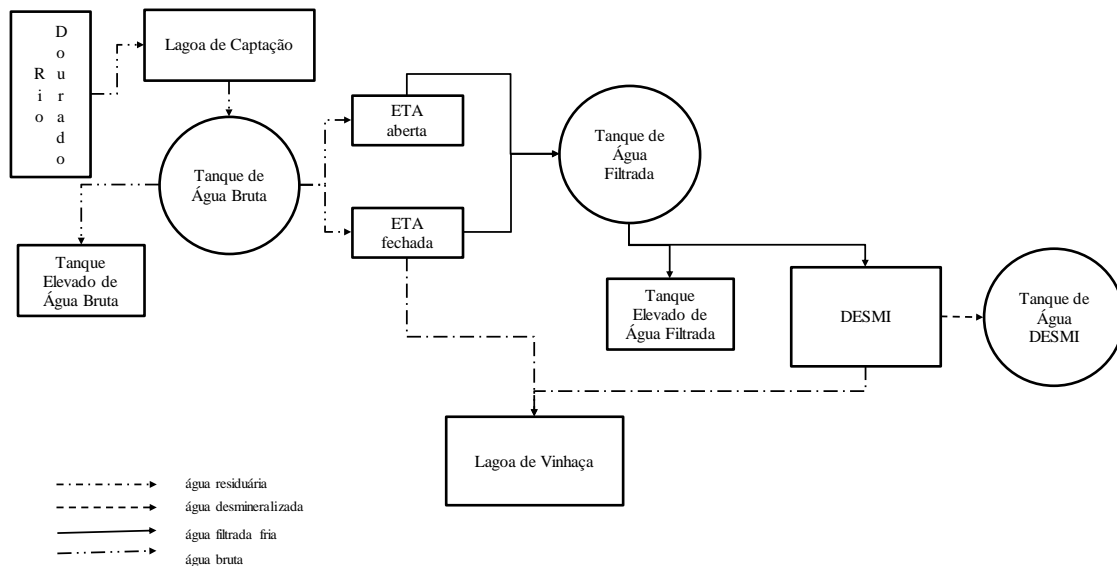
Na Figura 33 pode ser observado o fluxograma do Setor Industrial – Cogeração de energia.





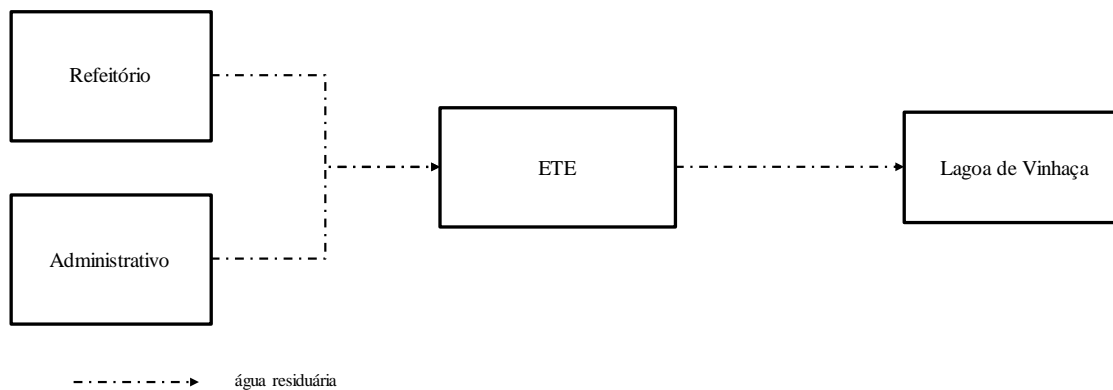
**Figura 33.** Fluxograma da Cogeração de energia.

A Figura 34 apresenta o fluxograma da Estação de Tratamento de Água (ETA).



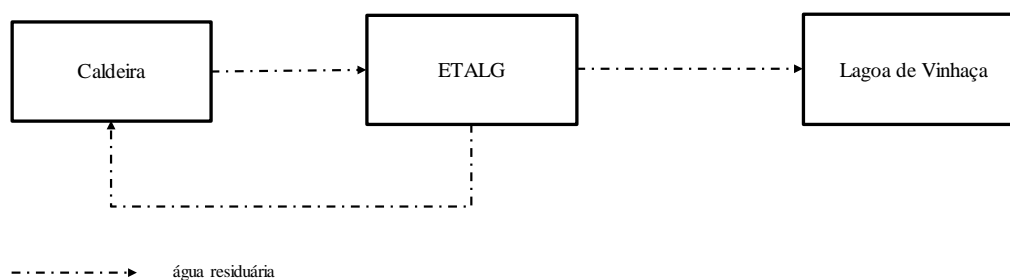
**Figura 34.** Fluxograma da Estação de Tratamento de Água (ETA).

A Figura 35 exibe o fluxograma da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE).



**Figura 35.** Fluxograma da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE).

A Figura 36 apresenta o fluxograma da Estação de Tratamento de Efluentes da Lavagem de Gases (ETALG).



**Figura 36.** Fluxograma da Estação de Tratamento de Efluentes da Lavagem de Gases (ETALG).

### 7.3. Processos e equipamentos praticados para redução do consumo de água

O tratamento da água residuária proveniente da lavagem de gases da chaminé da caldeira gera um efluente rico em matéria orgânica e sólidos suspensos, sendo tratado pela Estação de Tratamento de Água de Lavagem de Gases – ETALG. A água tratada retorna para a caldeira e o lodo é bombeado para a lagoa de vinhaça. A lavagem de gases retira as cinzas contidas na fumaça produzida pela fornalha da caldeira, deste modo, é um controle da qualidade atmosférica, que posteriormente necessita de um controle da qualidade do efluente lançado. Na ETALG a vazão é de aproximadamente 457 m<sup>3</sup>/h e a recuperação gira em torno aproximadamente de 449 m<sup>3</sup>/h segundo o balanço hídrico da Usina, mostrando a eficiência na recuperação da água.

Um dos grandes problemas encontrados na usina sucroenergética é o consumo de água para a lavagem da cana, nesta unidade este problema é sanado devido à adoção de uma medida de Produção Mais Limpa. Esta medida é a adoção da lavagem a seco não gerando excedentes de água nesta etapa. Outro fator encorajador para a lavagem a seco é que, devido à colheita da cana ser mecanizada, a lavagem com água, proporcionará a perda do açúcar (Figura 37).



**Figura 37.** A) Soprador do sistema de lavagem a seco da cana de açúcar. B) Lavador a seco da cana de açúcar.

Fonte: Autor.

Os condensados vegetais são reutilizados nas caldeiras, moenda e limpezas em geral. Os condensados em si não recebe tratamento, porém o vapor vegetal após a evaporação deve ter seu pH neutralizado.

O resfriamento dos efluentes mornos de equipamentos é realizado por cinco torres de resfriamento. Os efluentes resfriados por estas unidades são: de óleos e mancais, da fermentação/destilação, da turbina de condensação, da fábrica de açúcar e do sistema de ar condicionado. Esse resfriamento é um sistema fechado, com perdas somente por evaporação e água residuária que é reutilizada na lavoura, assim há uma pequena alimentação por água filtrada, suprimindo as perdas, que em relação o volume de água circulante são mínimas. A Figura 38 apresenta a torre de resfriamento da turbina de condensação.



**Figura 38.** Torre de resfriamento de água da cogeração de energia.  
Fonte: Autor.

Entre os condensadores barométricos e os cozedores a vácuo existem os separadores de arraste externos. O arraste é o açúcar que está sendo levado em forma de gota líquida e causa corrosão nos equipamentos, principalmente nas torres de resfriamento, assim o separador conterá este açúcar que está sendo levado (Figura 39) e envia para o cristalizador.



**Figura 39.** Separadores de arraste na tubulação dos condensadores barométricos.  
Fonte: Autor.

Na fábrica de açúcar há cozedores a vácuo, porém o cozimento é realizado continuamente pelo cozedor contínuo. Deste modo, há economia da água devido a estabilidade proporcionada pelo cozedor contínuo (Figura 40).



**Figura 40.** Cozedor contínuo.

Fonte: Autor.

#### **7.4. Possibilidades de fechamento de circuito e os ganhos (m<sup>3</sup>) em redução de água captada**

Como já discutido no item 7.1., o consumo de água é baixo, este baixo consumo pode ser explicado pelo fato desta Usina estudada ser relativamente nova, a sua partida ocorreu no ano de 2009, com poucas oportunidades de redução de água, ou seja, novas tecnologias com equipamentos modernos possibilitam o consumo reduzido de água.

Diante do estabelecimento de prioridades da Usina, uma das oportunidades identificadas para a redução do consumo de água através do fechamento de circuito na Estação de Tratamento de Água.

Na unidade estudada encontrou-se uma possibilidade de reaproveitamento no sistema de tratamento de água, devido o efluente (água da retrolavagem) apresentar características semelhantes à água bruta, captada do rio.

O sistema de tratamento de água da Usina é composto por três linhas de tratamento de fechadas e duas linhas abertas com capacidade total de 480 m<sup>3</sup>/h, onde as linhas abertas

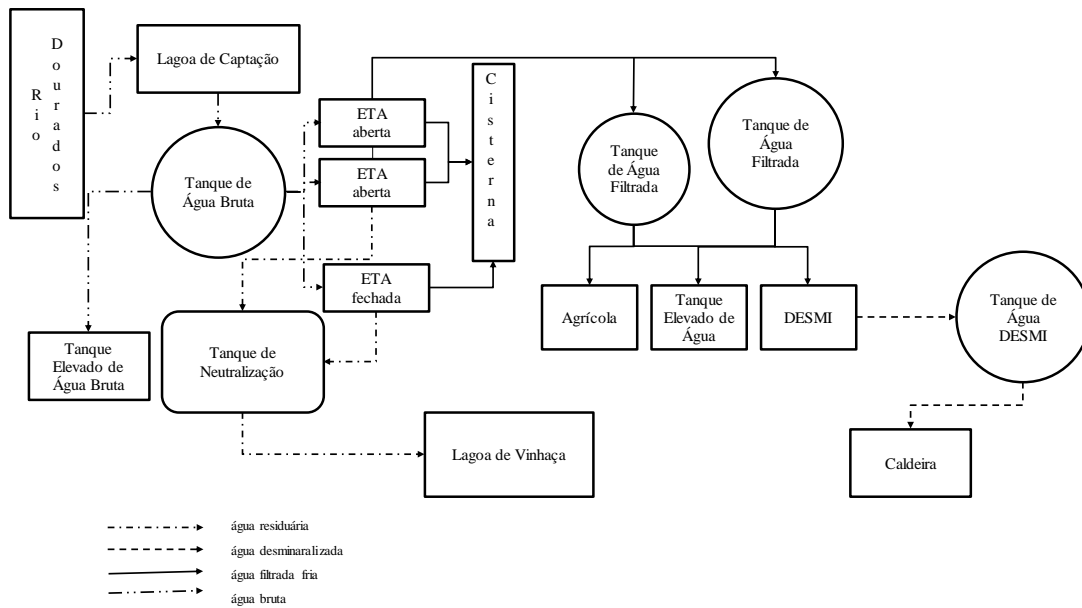
possuem capacidade 300 m<sup>3</sup>/h e as linhas fechadas com capacidade de 180 m<sup>3</sup>/h. A Figura 42 apresenta o sistema de tratamento de água bruta desta Usina (Figura 41).



**Figura 41.** Sistema de Tratamento de Água da Usina, à esquerda as três linhas fechadas e a direita as duas linhas abertas.

Fonte: Autor.

A limpeza dos filtros as linhas da ETA é realizada com água filtrada, através do fluxo reverso da mesma, ou seja, à água filtrada produzida pela ETA retorna aos filtros, deste modo se chama retrolavagem. A retrolavagem ocorre quando os parâmetros da água não estão sendo atingidos, principalmente à turbidez, porque a água filtrada será encaminhada ao sistema de desmineralização, para remoção de íons. O fluxo de água da estação de tratamento de água pode ser observado na Figura 42.



**Figura 42.** Fluxograma da captação e tratamento da água.

No início da operação da retrolavagem dos filtros, a água residuária contém elevada concentração de sólidos suspensos que reduz gradualmente com o decorrer da operação. No entanto, os parâmetros de controle da operação da retrolavagem são concentração de sílica e turbidez e dependendo das condições da água bruta, ocorrem grandes perdas de água tratada e produtos químicos neste processo.

A retrolavagem ocorre em intervalos de quatro horas, e considerando que são cinco linhas de tratamento de água (duas abertas e três fechadas) logo são trinta retrolavagens diárias. Não há medição desta perda com a retrolavagem, porém foi calculada pela vazão das bombas e o tempo de lavagem está demonstrado na Tabela 10.

**Tabela 10.** Gastos com a retrolavagem no Sistema de Tratamento de Água

| Processo               | Perda por turno (m <sup>3</sup> ) | Perdas (m <sup>3</sup> /h) | Capacidade (m <sup>3</sup> /h) | Percentual de Perda (%) |
|------------------------|-----------------------------------|----------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| <b>Linhas Abertas</b>  | 231                               | 29                         | 300                            | 9,67                    |
| <b>Linhas Fechadas</b> | 199                               | 25                         | 180                            | 13,89                   |
| <b>Total</b>           | <b>430</b>                        | <b>54</b>                  | <b>480</b>                     | <b>11,25</b>            |

Devido à perda pela retrolavagem a capacidade operacional da ETA reduz de 480 m<sup>3</sup>/h para a produção de 426 m<sup>3</sup>/h (Tabela 11).

**Tabela 11.** Produção das Estações de Tratamento

| Processo               | Capacidade (m <sup>3</sup> /h) | Porcentagem de Perda (%) | Produção (m <sup>3</sup> /h) |
|------------------------|--------------------------------|--------------------------|------------------------------|
| <b>Linhas Abertas</b>  | 300                            | 9,6                      | 271,2                        |
| <b>Linhas Fechadas</b> | 180                            | 13,8                     | 155,1                        |
| <b>Total</b>           | <b>480</b>                     | <b>11,2</b>              | <b>426,3</b>                 |

Com estes dados segue duas propostas que foram geradas para redução do volume de água bruta captada neste setor. A primeira proposta está baseada na redução do número de lavagens dos filtros, aumentando assim, a produção de água filtrada. A segunda proposta sugere um fechamento de circuito propriamente dito, retornando ao sistema uma água anteriormente considerada residuária.

#### 7.4.1. Proposta 1 – Redução do número de retrolavagens

Atualmente na ETA existe uma cisterna para o armazenamento de água filtrada que é recalçada para dois tanques, um de 1.000 m<sup>3</sup> e outro de 300 m<sup>3</sup> que abastece o setor agrícola (consumo humano), o sistema de desmineralização e o processo industrial para a diluição do mosto, preparo de polímeros e leite de cal, torres de resfriamento, entre outros setores.

Para a desmineralização da água, é necessário que a mesma apresente concentração de turbidez abaixo de 1,0 NTU. A proposta para redução das retrolavagens é a diferenciação das águas filtradas uma com turbidez menor que 1,0 NTU, para abastecer a desmineralização e o setor agrícola, outra para os processos industriais com a turbidez até 5,0 NTU (Tabela 12).

**Tabela 12.** Quantidade de água residuária produzida atualmente.

| Processo               | Turbidez (NTU) | Perda por turno (m <sup>3</sup> ) | Perdas (m <sup>3</sup> /h) | Capacidade (m <sup>3</sup> /h) | Porcentagem de Perda (%) |
|------------------------|----------------|-----------------------------------|----------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| <b>Linha Aberta 1</b>  | < 1,0          | 115,5                             | 14,4                       | 150                            | 9,6                      |
| <b>Linha Aberta 2</b>  | < 1,0          | 115,5                             | 14,4                       | 150                            | 9,6                      |
| <b>Linhas Fechadas</b> | < 1,0          | 199,2                             | 24,9                       | 180                            | 13,8                     |
| <b>Total</b>           | -              | <b>430,2</b>                      | <b>53,8</b>                | <b>480</b>                     | <b>11,2</b>              |

A proposta 1 propõe utilizar uma linha aberta da ETA para abastecer o tanque de água filtrada de 300 m<sup>3</sup> produzindo uma água com turbidez menor que 1,0 NTU, e as três linhas fechadas mais a outra linha aberta produzirá uma água tratada com turbidez até 5,0 NTU e abastecerá o tanque de 1.000 m<sup>3</sup>.

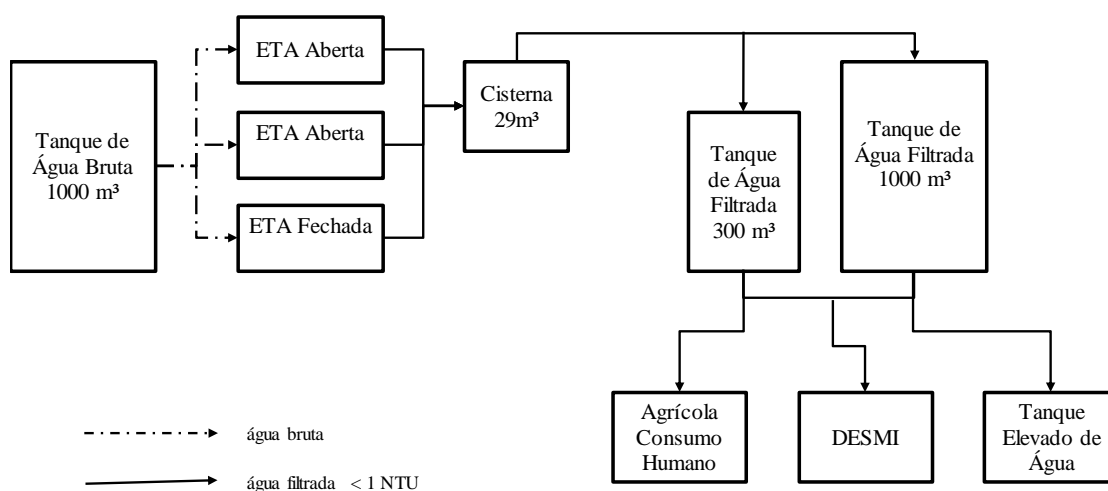


Esta alteração reduziria o número de retrolavagens dos filtros, assim o número de retrolavagens será reduzido de trinta para dezoito por dia (Tabela 13).

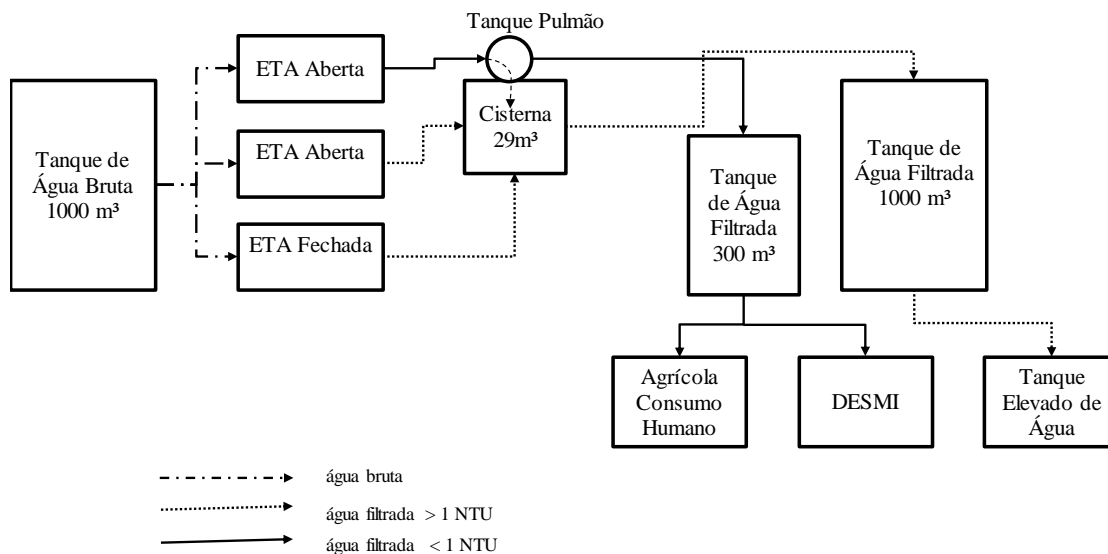
**Tabela 13.** Consumo de água com a retrolavagem do Sistema de Tratamento de Água, após a implementação da Proposta 1.

| Processo               | Turbidez (NTU) | Perda por turno (m <sup>3</sup> ) | Perdas (m <sup>3</sup> /h) | Capacidade (m <sup>3</sup> /h) | Porcentagem de Perda (%) |
|------------------------|----------------|-----------------------------------|----------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| <b>Linha Aberta 1</b>  | < 1,0          | 115,5                             | 14,4                       | 150                            | 9,6                      |
| <b>Linha Aberta 2</b>  | 1,0 a 5,0      | 57,75                             | 3,6                        | 150                            | 2,4                      |
| <b>Linhas Fechadas</b> | 1,0 a 5,0      | 99,6                              | 12,5                       | 180                            | 6,9                      |
| <b>Total</b>           | -              | <b>272,85</b>                     | <b>30,5</b>                | <b>480</b>                     | <b>6,4</b>               |

Atualmente, a cisterna recebe água com turbidez menor que 1,0 NTU das cinco linhas da ETA (Figura 43), a proposta 1 sugere que quatro das linhas de tratamento de água da ETA (1 aberta e 3 fechadas), produzirão água com turbidez até 5,0 NTU onde será lançada na cisterna e no tanque de 1.000 m<sup>3</sup>. A linha aberta que produzirá água com turbidez menor que 1,0 NTU lançará sua água num tanque pulmão, onde será instalado acima da cisterna e encaminhado ao tanque de água filtrada de 300 m<sup>3</sup> (Figura 44). Caso haja o preenchimento total do tanque de água filtrada de 300 m<sup>3</sup> a água transbordará do tanque pulmão para a cisterna, assim ajudando a alimentar o tanque de 1.000 m<sup>3</sup>.



**Figura 43.** Fluxograma da água no seu tratamento.



**Figura 44.** Fluxograma da água no seu tratamento, com a proposta.

O ganho de produção de água tratada ( $m^3$ ) obtido com a proposta 1 é apresentado na Tabela 14.

**Tabela 14.** Volume de água recuperada com a implantação do projeto.

| Processo               | Recuperação ( $m^3/h$ ) | Porcentagem (%) |
|------------------------|-------------------------|-----------------|
| <b>Linha Aberta 1</b>  | 0,0                     | 0,0             |
| <b>Linha Aberta 2</b>  | 10,8                    | 7,2             |
| <b>Linhas Fechadas</b> | 12,5                    | 6,9             |
| <b>Total</b>           | <b>23,3</b>             | <b>4,8</b>      |

Considerando uma safra de 240 dias com a recuperação média horária de  $23,3 m^3/h$ , a recuperação total de água tratada será de  $134.208 m^3$ , ou seja, 2,6% da captação na safra, considerando a captação de água bruta de  $900 m^3/h$ .

Com a redução dos números de retrolavagens o consumo de água tratada para as retrolavagens será reduzido, desse modo, além do ganho no volume de água tratada, há um ganho na redução de efluente gerado, pois o anteriormente era contabilizado como água residuária passa a ser contabilizado como água tratada, Tabela 15.

**Tabela 15.** Produção da ETA com a Proposta 1

| Processo               | Porcentagem (%) | Produção ( $m^3/h$ ) |
|------------------------|-----------------|----------------------|
| <b>Linhas Abertas</b>  | 7,2             | 273,8                |
| <b>Linhas Fechadas</b> | 6,9             | 159,5                |
| <b>Total</b>           | 4,8             | 443,3                |

Portanto, a produção atual que é de 426 m<sup>3</sup>/h passará para 443,3 m<sup>3</sup>/h devido a esta mudança no processo. Assim a produção em uma safra gira em torno de 2.453.760 m<sup>3</sup> e passará a ser 2.495.808 m<sup>3</sup>, aumentando em 42.048 m<sup>3</sup> a produção da ETA.

Atualmente, a ETA necessita de 480 m<sup>3</sup>/h de água bruta para produzir 426 m<sup>3</sup>/h de água filtrada, pois gera 54 m<sup>3</sup>/h de efluentes. Com a proposta 1 para a produção dos mesmos 426 m<sup>3</sup>/h de água filtrada será necessário de 456 m<sup>3</sup>/h de água bruta, pois o efluente gerado será de apenas 30 m<sup>3</sup>/h. A diminuição da geração de efluentes e o aumento da produção de água filtrada trará a diminuição de 5% da entrada na ETA de água bruta, diminuindo também a captação do rio Dourados.

Para a Usina a proposta 1 é interessante devido ao fato da demanda de água filtrada atualmente ser maior que a produção da mesma, por exemplo, nas torres de resfriamento é utilizado somente água filtrada devido ao contato com equipamentos, porém em uma das cinco torres utiliza-se água bruta, devido a falta de água filtrada, por priorizar outros setores da usina. A falta de água filtrada pode ser sanada com a adoção desta proposta.

Os recursos necessários para a execução da proposta 1 está apresentado na Tabela 16.

**Tabela 16.** Custos da proposta para recuperação de água na ETA.

| Recursos                           | Quantidade | Custo* (R\$) |
|------------------------------------|------------|--------------|
| <b>Tubulação – 8”</b>              | 50 metros  | -            |
| <b>Bomba – 250 m<sup>3</sup>/h</b> | 1          | -            |
| <b>Mão de obra</b>                 | -          | 20.000,00    |
| <b>Válvulas</b>                    | 2          | -            |
| <b>Curva de 90 – 8”</b>            | 2          | 230,00       |
| <b>Total</b>                       | -          | 20.230,00    |

\*Custo Estimado.

Considerando o custo para produzir um litro de água filtrada igual a R\$ 0,20 e considerando o total de água recuperada de 134.208 m<sup>3</sup>/safra a redução será de R\$ 26.841,60, superior aos custos para implantar as modificações do processo, sendo paga em somente uma safra.

A implantação desta proposta é viável tanto do ponto de vista técnico quanto do ponto de vista financeiro. O objetivo da proposta 1 é reduzir o volume de água captada, conseqüentemente, reduzir os custos com o tratamento, gerando ganhos para a Usina, tanto econômicos como produtivos e ambientais. Estes benefícios são observados na Tabela 17.

**Tabela 17.** Benefícios com o projeto em relação ao procedimento utilizado

|                               | Atual | Proposta 1 |
|-------------------------------|-------|------------|
| <b>Perda (m³/h)</b>           | 53,8  | 30,5       |
| <b>Recuperação (m³/h)</b>     | -     | 23,3       |
| <b>Produção (m³/h)</b>        | 426,0 | 443,3      |
| <b>Custo do projeto (R\$)</b> | -     | 20.230,00  |
| <b>Economia (R\$)</b>         | -     | 26.841,60  |

#### 7.4.2. Proposta 2 – Fechamento de circuito

Para as retrolavagens das duas linhas abertas da ETA são necessários 29 m³/h e para as três linhas fechadas são utilizados 25 m³/h, totalizando 54 m³/h, ou seja, 311.040 m³ em 240 dias que equivale ao tempo médio da safra.

Atualmente esta água é considerada água residuária, sendo bombeada juntamente com os demais efluentes industriais, para a lagoa de vinhaça para ser utilizado na fertirrigação da lavoura.

A proposta é aproveitar parte desta água residuária na própria ETA, o critério para aproveitamento será a concentração de turbidez. Os dados da concentração da turbidez versus tempo da água residuária da retrolavagem encontram-se na Tabela 18. Verifica-se que a turbidez reduz com o passar do tempo.

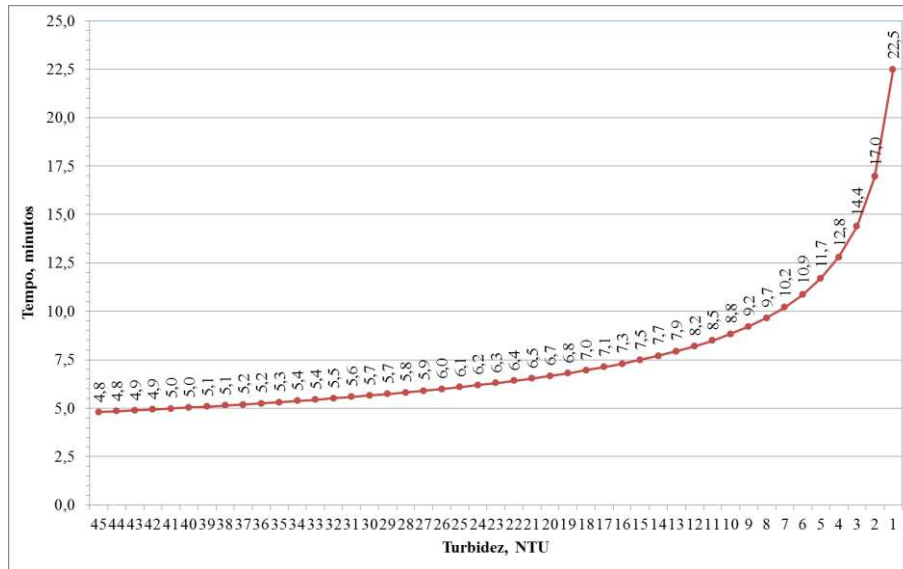
**Tabela 18.** Características da água residuária da retrolavagem das Estações de Tratamento de Água e a água bruta (coleta 06/02/2013).

| Linha Aberta                    | Turbidez (NTU) |
|---------------------------------|----------------|
| <b>Água Residuária - 5 min</b>  | 42,2           |
| <b>Água Residuária - 10 min</b> | 6,6            |
| <b>Água Residuária - 15 min</b> | 2,9            |
| -                               | -              |
| <b>Água Bruta</b>               | 16,6           |

Considerando a turbidez da água bruta igual a 16,6 NTU e aplicando um modelo matemático, apresentado na fórmula (1) chegou-se ao tempo de 7,19 minutos. Ou seja, a partir do momento que se inicia a retrolavagem, os efluentes até o tempo de 7,19 poderão ser descartados no tanque de neutralização e posteriormente para a lagoa de vinhaça e a partir daí os mesmos serão encaminhados para a entrada da ETA ou para o tanque de água bruta para serem reaproveitados.

$$Tempo = \frac{Turbidez^{-0,406}}{2136,163} \quad (1)$$

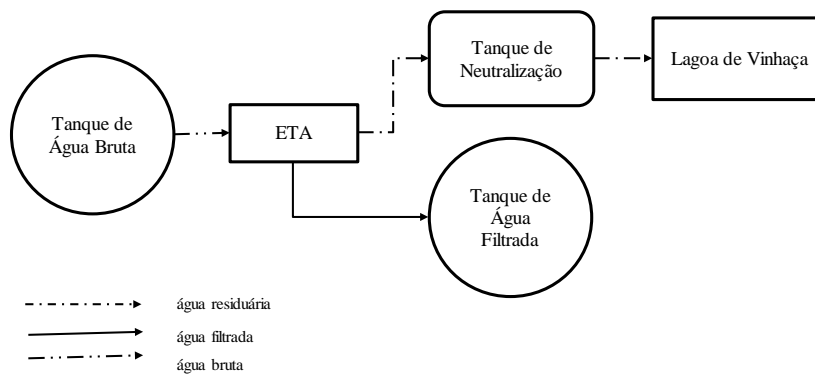
Os dados obtidos da equação (1) estão plotados na Figura 47.



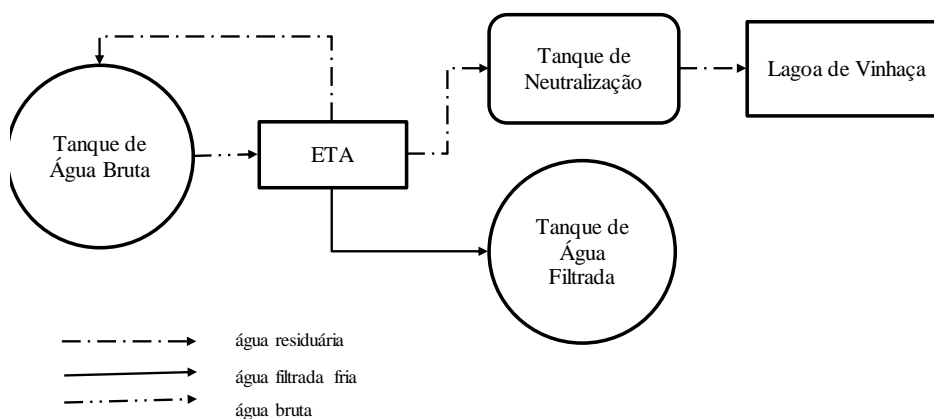
**Figura 45.** Gráfico da concentração de turbidez da água residuária em relação ao tempo.

Com esta fórmula o desvio para o tanque de água bruta estará ligado diretamente a turbidez da água bruta naquele dia, com a instalação de um turbidímetro de linha, na tubulação segue da lagoa de captação para o tanque de água bruta. Desta forma, a água residuária que será lançada no tanque de água bruta não alterará sua qualidade.

Na Figura 46 apresenta-se o fluxo da água no sistema de tratamento e na Figura 47 o fluxo da água no sistema de tratamento com a proposta 2.



**Figura 46.** Fluxo da água no sistema de tratamento.



**Figura 47.** Fluxo da água no sistema de tratamento com a proposta 2.

Uma lógica computacional poderá ser implantada com este modelo para permitir a reutilização desta água. No caso da ETA aberta a retrolavagem dura 15 minutos para cada filtro, ou seja, 30 minutos total para cada linha aberta da ETA. Dos 30 minutos totais os 14,6 primeiros minutos serão descartados, nos 15,4 minutos subsequentes a água será encaminhada ao tanque de água bruta por apresentar turbidez compatível com a água bruta. A água residuária da linha fechada da ETA sofrerá um descarte de 7,3 minutos restando 42,7 minutos para o abastecimento do tanque de água bruta. Os volumes de águas residuárias descartadas e recuperadas estão apresentadas nas Tabelas 18 e 19, respectivamente.

**Tabela 18.** Água residuária das linhas abertas.

| Tanque de destinação | Tempo de processo (min) | Volume (m <sup>3</sup> /h) |
|----------------------|-------------------------|----------------------------|
| Neutralização        | 14,6                    | 14                         |
| Água bruta           | 15,4                    | 15                         |
| <b>Total</b>         | <b>30</b>               | <b>29</b>                  |

**Tabela 19.** Água residuária das linhas fechadas.

| Tanque de destinação | Tempo de processo (min) | Volume (m <sup>3</sup> /h) |
|----------------------|-------------------------|----------------------------|
| Neutralização        | 7,3                     | 4                          |
| Água bruta           | 42,7                    | 21                         |
| <b>Total</b>         | <b>50</b>               | <b>25</b>                  |

A quantidade de água e sua destinação no sistema de tratamento de água estão apresentadas na Tabela 20.

**Tabela 20.** Água resultante da ETA.

|                         | Quantidade (m <sup>3</sup> /h) | Porcentagem (%) |
|-------------------------|--------------------------------|-----------------|
| Tanque de Água Bruta    | 36                             | 7,5             |
| Tanque de Água Filtrada | 426                            | 88,75           |
| Tanque de Neutralização | 18                             | 3,75            |
| <b>Total</b>            | <b>~480,0</b>                  | <b>100</b>      |

Considerando que a captação para a lagoa de captação seja de 900 m<sup>3</sup>/h, o tanque de água bruta recebe em média 600 m<sup>3</sup>/h e a água residuária que voltará ao tanque de água bruta será 36 m<sup>3</sup>/h, ou seja, esta água representará 6% do abastecimento do tanque. Com a água filtrada valendo R\$ 0,20 para esta Usina, a economia será de R\$ 41.472 em uma safra de 240 dias. Na Tabela 21 é apresentado o custo para implementação desta proposta.

**Tabela 21.** Custo da implementação da proposta 2.

| Recursos                           | Quantidade | Custo* (R\$)     |
|------------------------------------|------------|------------------|
| <b>Tubulação</b>                   | 300 metros | -                |
| <b>Bomba – 250 m<sup>3</sup>/h</b> | 1          | 18.000,00        |
| <b>Mão de obra</b>                 | -          | 10.000,00        |
| <b>Válvulas</b>                    | 2          | -                |
| <b>Curva de 90°</b>                | 2          | 230,00           |
| <b>Total</b>                       | -          | <b>28.230,00</b> |

\*Custo estimado

A proposta 2 custando R\$ 28.230,00 o mesmo será pago em menos de uma safra, considerando uma economia de R\$ 41.472,00 por safra.

O objetivo da proposta 2 é a redução do volume de captação de água bruta. Conseqüentemente redução dos custos financeiros e ganhos ambientais pela redução da captação do volume de água bruta. Estes valores podem ser observados na Tabela 22.

**Tabela 22.** Benefícios da proposta 2 em comparação ao procedimento que esta sendo utilizado.

|                               | Atual | Proposta 2 |
|-------------------------------|-------|------------|
| <b>Perda (m³/h)</b>           | 54    | 18         |
| <b>Recuperação (m³/h)</b>     | -     | 36         |
| <b>Custo do projeto (R\$)</b> | -     | 28.230,00  |
| <b>Economia (R\$)</b>         | -     | 41.472,00  |

Comparando a proposta 1 com a proposta 2, observa-se que ambas trazem benefícios tanto econômico, quanto ambientais e que ambas apresentam viabilidade técnica para serem implantadas na Usina, no entanto, a proposta 2 é mais atrativa devido o custo-benefício ser maior que a proposta 1 e haverá ainda uma diminuição na captação de água bruta e sem alterar a qualidade da água filtrada produzida hoje.



## 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

É inquestionável que a água é um recurso essencial para o pleno desenvolvimento de qualquer atividade. Sendo de interesse do setor industrial, da sociedade e do meio ambiente natural a preservação deste recurso, garantindo sua disponibilidade e qualidade.

O setor sucroenergético utiliza grande volume de água em seus processos, porém o grau de reutilização é alto em usinas modernas, como é o caso da Usina do estudo. O volume médio de uso da água na usina estudada é de aproximadamente 19,4 m<sup>3</sup>/t de cana moída e seu consumo está em torno de 1,01 m<sup>3</sup>/t cana moída, demonstrando o alto nível de reuso dentro da usina.

As propostas para a redução da captação de água bruta para o consumo industrial foram as que adotam o princípio de redução e reutilização da água na estação de tratamento de água. As propostas sugeridas caso sejam implantadas, reduzirão o volume de água bruta captada da ordem de 23 m<sup>3</sup>/h e 36 m<sup>3</sup>/h para as propostas 1 e 2 respectivamente. Para que a proposta 1 e 2 sejam implantadas, serão necessários investimentos aproximados de R\$ 20.000,00 e de R\$ 28.000,00 respectivamente. Sendo assim, a proposta 1 é mais atrativa a curto prazo (uma safra) enquanto que a proposta 2 é mais atrativa no longo prazo (acima de duas safras). Vale ressaltar que a implantação de uma proposta não inviabiliza a implantação da outra podendo as duas serem implantadas concomitantemente. A implantação das duas propostas proporcionará uma economia de 43 m<sup>3</sup>/h de água captada.

A Usina em estudo já vem apresentando um consumo de água ideal segundo as referências da Agência Nacional das Águas, porém seu objetivo é reduzir ainda mais este consumo e alcançar níveis inferiores aos valores atuais. Dessa forma, caso estas propostas sejam implantadas, as mesmas auxiliarão a empresa a alcançar esses índices, reduzindo, deste modo, a interação negativa que a captação de água causa no meio ambiente natural e aumentando a eficiência ambiental da empresa.

## 9. RECOMENDAÇÕES

Para implementação das propostas apresentadas nos itens 7.4.1. e 7.4.2. recomenda-se realizar novas amostragens das águas residuárias a fim de verificar a redução da turbidez ao longo do tempo garantindo maior confiabilidade no seu desvio para a lagoa de vinhaça;

Otimizar a dosagem de produtos químicos na estação de tratamento de água através de testes de jarros, “*Jartest*”, definindo a equipe que será responsável pelo mesmo;

Identificar outros pontos de fechamento de circuito de água, e desenvolver projetos para maximizar o reaproveitamento dentro da Usina, como foi identificado o possível reaproveitamento de água na selagem das bombas e no tanque de condensado contaminado;

Desenvolver um diagnóstico hídrico da Usina, gerando um plano de conservação da água industrial, sendo possível realizar estudos de viabilidade técnica e econômica dos projetos a serem implementados;

Propor metas de redução de água captada, desenvolvendo programas de educação ambiental para a redução do consumo de água.

## 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHON, Cali Laguna (2008). **Ecoeficiência de Sistemas de Tratamento de água à luz dos conceitos da ISO 14.001**. São Carlos. 248p. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

ANA, 2009. **Manual de Conservação e reuso de água na Agroindústria Sucroenergética**/Agência Nacional de Águas; Federação das Indústrias do Estado de São Paulo; União da Indústria da Cana de Açúcar; Centro de Tecnologia Canavieira – Brasília.

ANSELMINI, Renato. **Projeto do Grupo Colombo tornou-se referência no setor**. Jornal da Cana, p. 29 – 33. Entrevista realizada com Hélio Pavani. Edição Dezembro / 2009.

BRAILE, Pedro Marcio; CAVALCANTI, José Eduardo W.A. **Manual de Tratamento de Águas Residuárias**. In: São Paulo: CETESB,1993. 764p

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Coletânea de Legislação Ambiental**, 10ª edição, p. 305-315. Editora Revista dos Tribunais. São Paulo – SP, 2011.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Coletânea de Legislação Ambiental**, 10ª edição, p. 895-904. Editora Revista dos Tribunais. São Paulo – SP, 2011.

BRASIL. Resolução 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Coletânea de Legislação Ambiental**, 10ª edição, p. 355-376. Editora Revista dos Tribunais. São Paulo – SP, 2011.

BRASIL. Resolução 430, de 13 de maio de 2011, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Ministério do Meio Ambiente, 2011. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso: 22/02/2013.

BRASIL. Resolução 396, de 3 de abril de 2008, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Ministério do Meio Ambiente, 2008. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=562>. Acesso: 22/02/2013.

BRASIL. Resolução NBR 7.229 de 1997, da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. Disponível em: [http://www.deco.ind.br/roman\\_eng/NBR\\_7229.pdf](http://www.deco.ind.br/roman_eng/NBR_7229.pdf). Acesso: 22/02/2013.

BRASIL. Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH. Disponível em:

[http://www.aesa.pb.gov.br/legislacao/resolucoes/cnrh/54\\_2005\\_criterios\\_gerais\\_uso\\_agua.pdf](http://www.aesa.pb.gov.br/legislacao/resolucoes/cnrh/54_2005_criterios_gerais_uso_agua.pdf). Acesso: 22/02/2013.

CETESB. Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Básico e Controle de Poluição das Águas – SP. **A produção mais limpa (P+L) no Setor sucroalcooleiro.** Câmara Ambiental do Setor Sucroalcooleiro GT de P+L: Mudanças Tecnológicas – Procedimentos, 2002.

CETESB. Norma P4.231. Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Básico e Controle de Poluição das Águas – SP. 2006. Disponível em <[http://www.cetesb.sp.gov.br/Tecnologia/camaras/P4\\_231.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/Tecnologia/camaras/P4_231.pdf)>. Acesso em: 19/03/2013.

FIRJAN – FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO **Manual de conservação e reuso da água na indústria.** Rio de Janeiro: DIM, 2006.

FRANCO, Max Joel Mucha. **Aplicação da metodologia de APPCC – Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle – como ferramenta para reuso de água na indústria: Modelo para indústria de aromas e essências.** Dissertação (Mestrado em Engenharia). 118p. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

HESPANHOL, Ivanildo (Coord.) **Manual de Conservação e Reuso de Água Para a Indústria.** São Paulo, DIM 2004. Disponível em: <<http://www.fiesp.com.br/publicacoes/pdf/ambiente/reuso.pdf>> Acesso em: 03/07/2012.

MARTINS, M. V. L.; ASTORGA, O. A. M.; SIKLVEIRA, J. L. **Conservação de água na indústria.** Ciências exatas. N 1. Vol. 12. P. 107 – 113. 2006. Disponível em: <<http://periodicos.unitau.br/ojs-2/index.php/exatas/article/viewFile/378/471>>. Acesso em: 10/06/2012.

MATTOS, K.M.C.; MATTOS, A. **Valoração econômica do meio ambiente – uma abordagem teórica e prática.** São Carlos: RiMa, Fapesp, 2004.

MIERZWA, J.C; HESPANHOL, I. **Programa para o gerenciamento de água e efluentes nas indústrias visando o uso racional e o reuso.** Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 4, n. ½, p/11-15, Jan./Jun. 2002.

MUSTAFÁ, George. **Reutilização de efluentes líquidos em indústria petroquímica.** Salvador, Bahia – Brasil, 1998. Disponível em: <[http://www.teclim.ufba.br/site/material\\_online/dissertacoes/dis\\_george\\_de\\_s\\_mustafa.pdf](http://www.teclim.ufba.br/site/material_online/dissertacoes/dis_george_de_s_mustafa.pdf)> Acesso em: 10/06/ 2012.

OMETTO, A. R. **Avaliação do ciclo de vida do álcool etílico hidratado combustível pelos métodos EDIP, Exergia e Emergia**. São Carlos. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2005.

PARSEKIAN, M. P. S. (1998). **Análise e proposta de formar de gerenciamento de Estação de Tratamento de Águas de Abastecimento Completo em cidades de porte médio do Estado de São Paulo**. São Carlos. 183p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

PESCOD, M. B. **Wastewater treatment and use in agriculture**. Rome: FAO, 1992. 125p. (Irrigation and Drainage Paper, 47).

PILON, J. **Resfriamento das Águas da Fabricação de Açúcar da Usina Santa Maria**. Cerquilha, São Paulo, 2010. 5º Prêmio FIESP Conservação e uso de água. Disponível em: <[www.fiesp.com.br/arquivos/2010/premio\\_agua/jpilon.pdf](http://www.fiesp.com.br/arquivos/2010/premio_agua/jpilon.pdf)>. Acesso em: 10/02/2013.

RAIS - **Relação Anual de Informações Sociais**, 2012. Disponível em: <[www.rais.gov.br](http://www.rais.gov.br)>. Acesso em: 26/12/2012.

ROSSETO, R. A cana-de-açúcar e a questão Ambiental. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M. de; ANDRADE LANDELL, M. G. de. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008.

SOUZA, P. H. T. O. **Rede neural artificial para monitoramento em tempo real da concentração de potássio de vinhaça *in natura***. 2010. Dissertação (Mestrado em Sistemas Dinâmicos), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

UNICA – União da Indústria de Cana-de-açúcar. **Dados e Cotações**. 2012. Disponível em <[www.unica.com.br](http://www.unica.com.br)>. Acesso em: 26/12/2012.

União da Indústria de cana de açúcar (UNICA). **A Indústria de cana de açúcar: etanol – açúcar – bioeletricidade e responsabilidade social: a sustentabilidade da cana de açúcar brasileira**. Folheto informativo publicado em 2008.

União da Indústria de cana de açúcar (UNICA). **Etanol e bioeletricidade: a cana-de-açúcar no futuro da matriz energética** / [coordenação e organização Eduardo L. Leão de Souza e Isaias de Carvalho Macedo]. São Paulo: Luc Projetos de Comunicação, 2010.